فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای
سال دوازدهم، شماره ۱، زمستان ۱۴۰۰
صص: ۲۱۷-۱۹۹

طراحی زنجیره تامین چند دوره‌ای سرد مبتنی بر بارانداز متقاطع چند گانه در حمل ونقل منطقه‌ای و نقش آن در توسعه و آمایش سرزمین

فاطمه علیزاده

دانشجوی دکتری تخصصی گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

علی محتشمی[۱]

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

رضا احتشام راثی

استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۸/۵

چکیده

هدف از تحقیق حاضر طراحی زنجیره تامین چند دوره‌ای سرد مبتنی بر بارانداز متقاطع چند گانه می‌باشد. در مرحله اول ابتدا به شناسایی عوامل و متغیرهای مدل پرداختیم. در مرحله دوم با انتخاب دوره زمانی مورد بررسی با طراحی فرم‌های جمع آوری داده‌ها و با استفاده از روش‌های بررسی اسناد و مدارک داده‌های خام موردنیاز جهت اندازه‌گیری شاخص‌های نهایی گردآوری شده و در قالب مدل طرح، پردازش‌های لازم روی آن‌ها صورت گرفته است. سپس با توجه به موضوع تحقیق و با استفاده از دو تکنیک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات تجزیه و تحلیل می‌گردند در این تحقیق، مساله دارای سه تابع هدف مختلف و متضاد از یکدیگر بود. تابع هدف ابتدایی که با هدف کمینه کردن هزینه حمل و نقل و انبارداری در کل زنجیره تامین می‌باشد. تابع هدف دوم که هدف آن کمینه کردن زمان کل عملیات داخل زنجیره تامین و تعداد تردد ماشین‌ها می‌باشد و در آخر تابع هدف سوم که هدف آن بیشینه کردن زمان طراوت محصول می‌باشد. نشان داده شده است که صرفاً صرفه جویی در تابع هزینه و صرفنظر از زمان تحویل محصولات، در شرایط مطلوبی قرار دارد. سپس با استفاده از نمونه‌های شبیه سازی شده، نشان داده شده است که روش متریک L ۱ می‌تواند یک توافق مناسب بین هزینه و تابع هدف زمان ایجاد کند. در مرحله بعدی، از روش‌های بهینه سازی فراابتکاری (قابل تنظیم قوی) برای مواجهه با زمان سفر وسایل نقلیه برون شهری استفاده شد. در این تحقیق همچنین نمونه‌ای از عملکرد مدل‌های بهینه سازی (روش وزنی و برنامه‌ریزی آزمانی) را برای نمونه‌ای با ابعاد کوچک ارائه کردیم. نتایج محاسباتی نشان داد که هر چه زمان و مسافت سفر بیشتر گردد، الزاما تمامی هزینه‌ها اضافه نمی‌گردد، در واقع می‌توان در زمانی مناسب اقدام به توزیع مناسب محصولات با تعداد کامیون مناسب با هزینه‌ای بهینه گرفت. همچنین نشان داده‌ایم که ارزش هدف هزینه در مدلهای دارای زمان بیشتر، بدتر نشده است. نتایج همچنین نشان می‌دهند که که می‌توان ضایعات را با انتخاب مسیری مناسب کاهش دهد.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین، چند دوره‌ای سرد، بارانداز متقاطع چند گانه

۱- (نویسنده مسئول) Mohtashami@qiau.ac.ir

مقدمه

چالش‌های پیچیدهٔ جهانی مانند رقیبانی با تولیدات کم هزینه، نوسان قیمت کالاها، افزایش انتظارات مشتریان، اوضاع وخیم اقتصادی تولیدکنندگان و عدم اطمینان به این عوامل، از یک سو در محیط تجاری تغییرات جدی ایجاد کرده و فرصت‌ها و رشد چشمگیری برای بازارهای جدید به وجود آورده و از سوی دیگر، موجب افزایش مداوم و پیچیدهٔ چالش‌هایی شده است که عملیات و ابقای شرکت‌ها را تهدید می کنند. (آلومار و همکاران[1]، ۲۰۱٤). این فشارهای رقابتی، شرکتها را به ارزیابی دوباره و مستمر زنجیر ۀ تأمین برای بهبود عملکرد رقابتی و حضور طولانی مدت در بازار وادار کرده است (باورصاد و همکاران، ۱۳۹۵). زنجیره تامین را می‌توان شبکه‌ای پیچیده متشکل از مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، کارگران، زیرساخت‌های تکنولوژیکی و فیزیکی، و سیاست‌های دخیل در تهیه مواد اولیه، انتقال از این مواد خام به محصولات و لجستیک از محصولات تعریف نمود. درواقع این شبکه‌ی پیچیده در سازمان با توجه به فراگیری آن از بالاترین نرخ تا پایین‌ترین سطح به یک همکاری مشترک در سازمان با تاکید بر دستاوردهای بهره وری و رضایت مشتری نیازمند است که می‌تواند فرصت مناسبی را برای دستاوردهای مالی سازمان را فراهم آورد (سیلوریا فاریاس و همکاران [2]، ۲۰۱۷). بنابراین شرکت‌ها تلاش می‌کنند تا با همکاری‌های بیشتر در زنجیره تامین، نوآوری بیشتری را به دست آوردن منابع و دانش تامین کنندگان و مشتریان خود و دستیابی به یک موقعیت رقابتی قوی تر در زنجیره تامین خود کسب کنند (لیائو و همکاران (۲۰۱۷) [3]طراحی موفق شبکه زنجیره تامین نیازمند تصمیم‌های زیادی در مورد جریان اطلاعات، محصولات و منابع مالی است که در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی در سازمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. درواقع طراحی موفق شبکه زنجیره تامین استراتژیک به معنایی وسیع از انتخاب مناسب تامین کنندگان، محل و ظرفیت کارخانه‌ها و انبارها، اختصاص مشتریان، جریان‌های مواد اولیه و محصولات با رویکرد کم کردن هزینه‌ها یا به حداکثر رساندن سود اشاره دارد (فراهانی و همکاران[4]، ۲۰۱٤).

جدول ۱. لیست تصمیمات غالب در یک مدل برنامه‌ریزی زنجیره تامین

ردیف	نوع تصمیم در زنجیره تامین	سطوح برنامه‌ریزی		
		استراتژیک	تاکتیکی	عملیاتی
1	زمانبندی ماشین‌ها			✓
2	زمانبندی وسایل نقلیه			✓
3	مسیر یابی وسایل نقلیه		✓	
4	زمانبندی تحویل		✓	
5	زمان‌بندی توزیع		✓	
6	زمانبندی تولید		✓	✓
7	تعیین نقاط تامین	✓		
8	مکان یابی کارخانه	✓		
9	انتخاب تکنولوژی جدید	✓		
10	تعیین کانال‌های توزیع	✓	✓	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

[1] Alomar, M. & Pasek, Z. J. (2014)
[2] Silveira Farias, E. Li, J. Parra Galvez, J. Borenstein, D (2017)
[3] Liao, Sh. Hu, Da. Ding, L (2017)
[4] Farahani,Rezapour, Drezner, & Fallah, 2014

در جدول فوق لیستی از تصمیماتی که در غالب یک مدل برنامه‌ریزی زنجیره تامین می‌توان اتخاذ نمود را تهیه و نوع افق برنامه‌ریزی این تصمیمات مبتنی بر تعاریف ارایه شده را تعیین می‌کنیم (راس[1]، ۲۰۱۱).

بنابراین می‌توان عنوان نمود که مدیریت زنجیره تامین برای اکثر سازمان‌ها با چالش‌های جدیدی در راستای توسعه پایدار مواجه می‌باشد.علاوه بر چالش‌های مطرح شده در بالا یکی دیگر از این چالش‌ها، چالش زیست محیطی و نیز نگرانی‌های زیست محیطی مصرف کنندگان با توجه به افزایش آگاهی زیست محیطی جامعه می‌باشد. در یک نظرسنجی جهانی، بیش از ۸۰ درصد از مصاحبه شونده‌ها هنگام خرید محصولات به سبز بودن این محصولات توجه می‌کنند. همچنین علاوه بر چالش زیست محیطی از سوی مصرف کنندگان، امروزه مقررات دولتی نیز نقش تعیین کننده در این خصوص ایفا می‌کنند. در سال ۲۰۰۶ اتحادیه اروپا یک حد مجاز برای تجهیزات الکترونیکی و تجهیزات الکتریکی برای کنترل انتشارهای صنعتی خطرناک تعیین کرد (هنگ و همکاران[2]، ۲۰۱۸). از سویی دیگر مراکزی که در آن اقلام دریافتی از تامین کنندگان مختلف، ازهم جداشده و به صورت محموله‌های جدیدی از اقلام متنوع، دوباره با هم ترکیب می‌شوند تا برای مشتریان ارسال شوند را بارانداز متقاطع گویند. بارانداز متقاطع یک استراتژی ارتباطی در انبار داری نوین در سیستم لجستیک می‌باشد که محصولات از محموله‌های ورودی خارج و با توجه به مقاصدشان دوباره دسته بندی شده و به مقاصد مورد نظر ارسال می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مواردی که در بارانداز متقاطع باید مورد توجه قرار گیرد و تاثیر زیادی بر هزینه‌های بارانداز متقاطع دارد، تعیین مسیر حرکت خودروها در محیط بیرونی بارانداز متقاطع می‌باشد. بارانداز متقاطع، فرایند حرکت محصول از طریق مراکز توزیع، بدون انبارش می‌باشد. در یک انبار سنتی، محصول از محل دریافت به انبار و از آنجا به سمت محل حمل حرکت میکند. امادر بارانداز متقاطع محصول از محل دریافت به محل حمل بدون انبارش منتقل می‌گردد(الفت و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۸). درواقع بارانداز متقاطع یک مفهوم مدیریت تدارکاتی است که به بررسی لجستیک محصولات از یک تامین کننده یا کارخانه تولیدی به مشتری یا زنجیره خرده فروشی می‌پردازد که ویژگی اصلی این روش در کمینه کردن میزان ذخیره مواد در این فرآیند می‌باشد. بارانداز متقاطع، میزان جابجایی مواد و نیاز به ذخیره محصولات را در یک انبار کاهش می‌دهد. به طور کلی، بارانداز متقاطع شامل پنج وظیفه اصلی انبارداری است: جمع آوری از تأمین کنندگان، دریافت، تثبیت (یعنی فرایند ذخیره سازی و سفارش‌گیری)، حمل و نقل و تحویل به مشتریان. بارانداز متقاطع، ذخیره سازی و نظارت بر عملکرد را به حداقل می‌رساند در حالیکه مجوز انبار برای انجام وظایف دریافت و حمل و نقل را فراهم می‌کند (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۰۱). از سویی دیگر بایستی توجه داشت که در یک محیط تصمیم‌گیری، مسئله طراحی استراتژی‌ها براساس زنجیره تامین سرد وابسته به بسیاری از انواع عدم اطمینان‌ها می‌باشد که در واقع این عدم اطمینان را می‌توان به صورت فازی در تصمیم‌گیری‌ها دخیل نمود. بنابراین در حین تولید یک راه حل باید این عدم قطعیت را در نظر گرفته و در نظر داشته باشیم که ممکن است بیش از یک تحقق احتمالی در این مشکل رخ دهد. در مدل سازی مبتنی بر عدم اطمینان، مجموعه‌ای از مفاهیم محتمل را درنظر می‌گیریم (فرخ و همکاران[3]، ۲۰۱۷: ۲). حال با توجه به مطالب بیان شده در بالا، مساله اصلی در این تحقیق

[1] Ross, D.F., (2011), Introduction to Supply Chain Management Technologies (2nd ed.), Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis
[2] *Hong, Zh. Dai, W. Luh, H. Yang, Ch (2018)*
[3] ص 09:23

این است که "دوره عمر محصول، مقدارموجودی اقلام قابل استفاده محصولات و هزینه‌های زیست محیطی آن در فرآیندهای توزیع، برنامه ریزی تولید، حمل و نقل وکنترل موجودی در شرایط عدم قطعیت واحتمالی زمان حمل و نقل محصولات به گونه ای طراحی شودکه سیستم قادر به تامین سفارش داده شده با حداقل زمان تاخیر با پاسخگویی سریع به سفارشات رسیده مشتریان در محصولات متنوع با حداقل هزینه‌های خدماتی و هزینه‌های زیست محیطی باشد.

در مطالعه حاضر، با توجه به شکاف تحقیقاتی موجود در خصوص نوع مدلسازی و شیوه حل مدل، به دنبال مدلسازی وحل یک مدل جند هدفه، جند دوره‌ای و چند محصولی در زنجیره تامین سرد با استفاده از بارانداز چندگانه متقاطع هستیم که تاکنون تحقیق جامعی به صورت موازی در زمینه زنجیره تامین سرد با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع صورت نگرفته است. بدیهی است مطالعه حاضر بدنبال بهینه سازی(نزدیک به بهینه)چندین فرآیند متفاوت، با اهداف متفاوت از یکدیگر در زنجیره تامین کنندگان محصولات در حوزه‌های مختلف برای کاهش هزینه و زمان انجام فرآیندهای گوناگون، تحویل بموقع است.

زنجیره تامین

زنجیره تامین برای اولین بار بیش از سی سال پیش ظاهر شد، زمانی که اولیور و وبر[1] (۱۹۸۲) اولین تعریف برای مدیریت چنین سیستم‌هایی را پیشنهاد دادند. زنجیره تامین، زنجیره‌ای که ترکیبی از فرآیندها با هدف پاسخگویی به درخواستهای مشتری و شامل همه نهادهای شبکه‌ای نظیر تامین کنندگان، تولیدکنندگان، حمل و نقل، انبارها، خرده فروشان و مشتریان است که هدف اصلی آنها رضایت مشتری با حداقل هزینه است (باربوسا- پووآ و همکاران[2]، ۲۰۱۷: ۲). اهمیت هماهنگی در یک زنجیره تامین می‌تواند به طور موثر جریان مواد، اطلاعات و سرمایه که مرتبط با فعالیت‌های یک زنجیره تامین است و به منظور رفع نیازهای سهامداران و بهبود سودآوری، رقابت، و انعطاف‌پذیری سازمان استفاده می‌شود در کوتاه مدت و بلند مدت مدیریت کند (جواد و همکاران[3]، ۲۰۱۸: ۲۵۸). یک زنجیره تامین اغلب به عنوان یک شبکه از پیوندهای مهم شناخته شده است که سازمان‌ها (ذینفعان) را به هم متصل می‌کند و منابع ورودی هر سازمان را به خروجی‌های آن پیوند می‌دهد (حسین و همکاران[4]، ۲۰۱۶: ۱۳۰۲).

شبکه زنجیره تامین

طراحی شبکه زنجیره تامین(SCND[5]) نقش اساسی در نفوذ تاثیر محیط زیست بر زنجیره‌های تامین دارد. مدلهای طراحی شبکه زنجیره تامین عناصر بیشتری را شامل می‌شوند، مانند دوره‌های متعدد، فهرست تصمیم‌گیری‌ها، حالت‌های حمل و نقل و شیوه‌های مرتبط با عملیات برای بهتر نشان دادن واقعیت، که این موضوع باعث پیچیده تر شدن آنها می‌شود (والو و همکاران[6]، ۲۰۱۹: ۳). در طراحی یک زنجیره تأمین، تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در مورد

[1] Oliver & Webber (1982)
[2] Barbosa-Póvoa & et al. (2017)
[3] *H. Jawad et al. (2018)*
[4] *M. Hussain et al (2016)*
[5] Supply chain network design
[6] Waltho & et al. (2019)

محل امکانات (کارخانه‌ها، مراکز توزیع، انبارها و نقاط دسترسی مشتریان)، ظرفیت، ظرفیت تولید و ظرفیت موجودی و کانال‌های عرضه و تحویل صورت می‌گیرد (والو و همکاران، ۲۰۱۹: ۳).

زنجیره تامین سبز

زنجیره تامین سبز زنجیره‌ای است که در طی آن طرح‌های مربوط به محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۹). زنجیره تأمین سبز به مدیریت بین عملیات تسهیلاتی، حمل ونقل و تأثیرات محیطی در همه تسهیلات در یک زنجیره تأمین اشاره میکند، به عبارت دیگر محدودیت حفاظت محیطی به داخل موقعیتها و تخصیص تسهیلات آورده شده است. زنجیره تأمین سبز یک شبکه لجستیک است که رسیدن محصول از تولیدکننده به مشتری را در رفتاری دوستانه با محیط تضمین میکند. برای رسیدن به این هدف، شرکتها باید در طرح و نقشه‌هایی برای بهینه سازی شبکه لجستیک خود سرمایه‌گذاری کنند، درصورتیکه مبادله بین هزینه و تأثیرات محیطی را تضمین میکنند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۸).

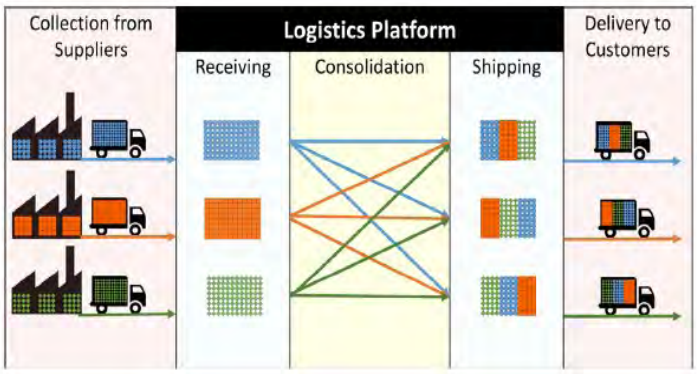
زنجیره تامین سرد

زنجیره تامین سرد به عنوان "حمل و نقل محصولات حساس به حرارت در طول زنجیره تامین توسط روش‌های بسته‌بندی حرارتی و یخچال و برنامه‌ریزی لجستیک برای محافظت از یکپارچگی این محصولات" تعریف می‌شود (لو و همکاران[1]، ۲۰۱۶: ۱).

بارانداز متقاطع

انبارها تحت یک فشارمستمر برای کاهش هزینه و کاهش زمان نگهداری محصولات هستند، یک انبار معمولی دارای چهار کاربرد است: دریافت، ذخیره سازی (انبارکردن)، انتخاب سفارش ازبین موجودیها و ارسال، که دو مورد، ذخیره سازی (به علت هزینه‌های نگهداری، ایجاد امنیت و فهرست اموال) و بارگیری سفارشات (به علت زحمت وکار زیاد و ریسک بالای آن) از همه پر هزینه تر می‌باشند (الفت و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۰). یک سیستم بارانداز متقاطع، انتقال مستقیم محصولات بازگشتی که از بازارهای اولیه به خودروهای خروجی به کانال‌های ثانویه منتقل می‌شود بدون ذخیره سازی محصولات مدیریت می‌کند (زولوگا و همکاران، ۲۰۱۶: ٤).

مدل ریاضی



شکل ۱: شیوه حمل و نقل در بارانداز متقاطع منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

[1] Luo et al. (2016)

همان گونه که پیش از این نیز عنوان گردید، یکی از استراتژی‌های ابتکاری انبارداری که توان زیادی در کنترل هزینه‌های توزیع و لجستیک داشته و همزمان سطح خدمت رسانی به مشتریان را حفظ می‌کند، بارانداز متقاطع می‌باشد. محموله‌ها معمولاً زمانی کمتر از بیست و چهار ساعت را در بارانداز متقاطع می‌گذرانند. بعضی وقت‌ها این زمان به کمتر از یک ساعت نیز می‌رسد، از این طریق بارانداز متقاطع نه تنها کالای مشتریان را تامین می‌کند بلکه مزایای زیادی را نسبت به انبارداری سنتی از قبیل کاهش سرمایه موجودی‌ها، کاهش فضای انبارش، کاهش هزینه‌های جابجایی و زمان سیکل کاری ایجاد می‌کند. بارانداز متقاطع همان طور که باعث افزایش سرعت جابجایی موجودی‌ها می‌گردد باعث تسریع جریان‌های مالی نیز می‌گردد.

در واقع در این مساله کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصولات از تامین کنندگان، مستقیما به سمت مشتریان حرکت می‌کنند و یا به سمت تامین کننده دیگری حرکت می‌کنند و یا به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی حرکت می‌کنند و محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌شوند و سپس در کامیون‌های خروجی محصولات بارگیری می‌شوند و به مشتریان انتقال پیدا می‌کند. در ضمن لازم به ذکر است که یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تامین کننده را بارگیری کند و همین طور یک کامیون می‌تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن‌ها تخلیه کند. برای حمل و نقل محصولات از چندکامیون با ظرفیت‌های متفاوت می‌توان استفاده نمود. در این تحقیق، مساله دارای دو تابع هدف مختلف و متضاد از یکدیگر و تعدادی محدودیت می‌باشد به همین جهت سه تابع هدف را به طور همزمان با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات مورد ارزیابی قرار می‌دهیم تا بهترین جواب کل بدست آید.

- تابع هدف ابتدایی کمینه کردن هزینه حمل و نقل و انبارداری در کل زنجیره تامین می‌باشد.
- تابع هدف دوم کمینه کردن زمان کل عملیات داخل زنجیره تامین و تعداد تردد ماشین‌ها می‌باشد.
- تابع هدف سوم حداکثر نمودن طراوت محصول می‌باشد.

جدول ۲. پارامترها و متغیرهای مدل

ردیف		توضیح
۱	C_{ijh}	هزینه حمل و نقل از تامین کننده i به تامین کننده j توسط کامیون h
	$Dist_{ijh}$	مسافت گره i تا j از تامین کننده i به تامین کننده j توسط کامیون h
۲	$x_{ijhtt'}$	اگر کامیون h از تامین کننده i به تامین کننده j در زمان t و در دوره 't برود = ۱ در غیر اینصورت = ۰
۳	$x'^{i}_{pktt'}$	اگر محصول p در فرآیند برداشت از گره 'i در زمان t و دوره زمانی 't به بارانداز متقاطع k برود = ۱ در غیر اینصورت = ۰
٤	$Dist_{i'k}$	مسافت گره 'i (در فرآیند برداشت) از بارانداز متقاطع k در زمان t و در دوره 't
٥	$C_{i'k}$	هزینه حمل و نقل از گره 'i (فرآیند برداشت) تا برانداز متقاطع k
٦	$x''^{u}_{ptt'h'}$	اگر محصول p در فرآیند تحویل از گره "i (در بارانداز متقاطع) در زمان t و دوره زمانی 't به سمت مشتری L برود =۱ در غیر اینصورت = ۰
۷	$Dist_{i''k}$	مسافت گره "i در فرآیند تحویل تا برانداز متقاطع
۸	$C_{i''k}$	هزینه حمل و نقل از گره "i (فرآیند تحویل) تا بارانداز متقاطع k
۹	α	جریمه زود رسیدن (ریال برای هر پالت در دقیقه)
10	β	جریمه دیر رسیدن (ریال برای هر پالت در دقیقه)
11	e_l	زمان زود رسیدن به مشتری L
12	ta_L	زمان دیر رسیدن به مشتری L

13	D_L	مقدار تقاضای محصول p که توسط مشتری L (در پالت‌ها) سفارش داده شده است
14	$FC_{h'}$	هزینه ثابت استفاده کردن از وسیله نقلیه h'
15	FC_h	هزینه ثابت استفاده کردن از وسیله نقلیه h
16	$\in_{h'}$	اگر وسیله نقلیه h' مورد استفاده قرار گیرد
17	$\in_h$	اگر وسیله نقلیه h مورد استفاده قرار گیرد
18	$HC_{kpt'}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول p براساس زمان در بارانداز متقاطع k در دوره زمانی t'
19	$S_{pktt'}$	مقدار محصول p در بارانداز متقاطع k در دوره زمانی t' در زمان t
20	$\rho^p_{L'gk}$	هزینه تنظیم فعالیت g، محصول p در صورت اختصاص فعالیت به نماینده L' در بارانداز متقاطع k
21	$\rho_{L'gk}$	هزینه پردازش فعالیت g از محصول p در صورت اختصاص فعالیت به نماینده L' در بارانداز متقاطع k
22	scs_g	هزینه تنظیمات ناشی از ادغام فعالیت‌ها در مجموعه g در بارانداز متقاطع k
23	$y^p_{L'g}$	اگر فعالیت g محصول p توسط عامل L' انجام شود = ۱ در غیر اینصورت = ۰
24	Z_g	اگر محصولی با فعالیت‌های متوالی در مجموعه g ادغام شده توسط یک عامل خاص ادغام شود.
25	q''_{iph}	مقدار محصولی که تامین کننده i بارگیری می‌کند.
26	$\mathbf{F_k}$	هزینه بازگشایی بارانداز‌های متقاطع K
27	$\mathbf{OC_{kt'}}$	هزینه عملیاتی در بار انداز متقاطع K در دوره زمانی t'
28	$d_{i'i''}$	فاصله بین (تامین کننده / مشتری) i' و (تامین کننده / مشتری) i''
29	th_{ijh}	زمان حمل و نقل از تامین کننده i به تامین کننده j توسط کامیون h
30	$th_{i'k}$	زمان حمل و نقل از تامین کننده i' به بارانداز متقاطع k
31	A_{ijhp}	زمان بارگیری هر واحد محصول p از تامین کننده i در کامیون h
32	$e_{i'k}$	زمان زود رسیدن کامیون h به بارانداز متقاطع k
33	$ta_{i'k}$	زمان دیر رسیدن کامیون h به بارانداز متقاطع k
34	$V_{i'j'hk}$	اگر گره i' مقدم بر j' توسط کامیون h در فرآیند برداشت باشد = ۱ در غیر اینصورت = ۰
35	$V_{i'',j'',h'k}$	اگر گره i'' مقدم بر j'' توسط کامیون' h در فرآیند تحویلباشد = ۱ در غیر اینصورت = ۰
36	W_p	اولویت تازه بودن نوع محصول (p) که در واقع اهمیت وزنی نسبی طراوت نوع محصول (f)
37	fr_{iip}	طراوت نوع محصول (p) سفارش داده شده توسط مشتری I هنگام تحویل به مشتری (هر چه محصول تازه تر =۱، در غیر این صورت =۰ $\mathbf{0 \le fr_{iip} \le 1}$
38	D_{iip}	مقدار نوع محصول (p) سفارش داده شده توسط مشتری I به صورت پالت
39	frs_{iip}	متغیر نامحدود در علامت؛ این یک متغیر کمکی است که برای مدل سازی عملکرد خطی جزئی از طراوت استفاده می‌شود
40	δ_{iip}	متغیر باینری، $\boldsymbol{\delta_{iip} = 1}$ اگر $\boldsymbol{frs_{iip} < 1}$ در غیر این صورت =۰
41	fl_p	طراوت و ماندگاری نوع محصول p (بر حسب دقیقه)
42	M	عددی بزرگ (جریمه)
43	s_{ii}	زمان تحویل سفارش مشتری ii
44	r_{ii}	زمان انتشار سفارش مشتری ii
	اندیس‌ها	توضیح
1	K	مجموعه بارانداز‌های متقاطع (k=1,2,3,…., c)
2	P	مجموعه محصولات (p=1,2,3,…,g')
3	T	مجموعه زمان (t = tmin , …. , tmax)
4	T'	مجموعه زمان دوره‌ها (t'=1,2,3,…, T)
5	H	مجموعه کامیون‌ها در فرآیند برداشت (h=1,2,3,…,H)
6	H'	مجموعه کامیون‌ها در فرآیند تحویل (h'=1,2,3,…,H')
7	R	مجموعه گره‌های برداشت (i' = 1,2,3,…,n')
8	γ	مجموعه گره‌های تحویل (i'' =1,2,3,…,m)
9	B	مجموعه گره‌های تامین کنندگان (i=1,2,3,…,n)
10	L'	مجموعه عامل‌های فروش (l'=1,2,3,…,L') (agent')
11	G	مجموعه فعالیت‌ها (g=1,2,3,…,G)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

مدل الف: حداقل کردن هزینه

$$\textbf{Min} \quad TC = \sum_{t'=1}^{T} \sum_{k=1}^{C} (F_k + oc_{kt'}) + \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{h}^{H} C_{ijh} x_{ij} Dist_{ij} + \sum_{t'=1}^{T} \sum_{P=1}^{q'} \sum_{i'=1}^{n'} \sum_{k=1}^{c} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} X_{pktt'}^{i'} Dist_{i'k} C_{i'k} + \sum_{t'=1}^{T} \sum_{P=1}^{q'} \sum_{i''=1}^{m} \sum_{k=1}^{c} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} X_{pkt't}^{i'} Dist_{i''k} C_{i''k} + \sum_{l=1}^{L} \alpha D_l e_l + \sum_{l=1}^{L} \beta D_l ta_l + \sum_{h=1}^{H} Fc_h \rho_h + \sum_{h'=1}^{H'} Fc_{h'} \rho_{h'} + \sum_{t'}^{T} \sum_{h}^{c} \sum_{p}^{q'} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} HC_{hpt'} S_{pktt'} + \sum_{l'=1}^{L'} \sum_{g=1}^{G'} \sum_{p=1}^{q'} (r_{l'g}^{p} + P_{l'g}^{P}) * Y_{l'g}^{P} - \sum_{q} scsq Z_q$$

حداقل کردن هزینه = هزینه مکان یابی باراندازهای متقاطع k + هزینه حمل و نقل از تامین کننده به تامین کننده + (هزینه برداشت * مسافت * هزینه انتقال) + (هزینه تحویل * مسافت * هزینه انتقال) + (هزینه ثابت مشاین استفاده شده) + (مقدار تقاضا * زودرسیدن * هزینه زودرسیدن) + (هزینه دیر رسیدن * مقدار تقاضا * دیررسیدن) + (هزینه نگهداری براساس زمان * مقدار تقاضا) +ذ (هزینه تنظیم + هزینه پردازش) عامل – هزینه ادغام

مدل ب: حداق کردن زمان

$$minT = \sum_{h}^{H} \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} th_{ijh} x_{ijh} + \sum_{t'=1}^{T} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} \sum_{i'}^{n'} \sum_{h}^{c} th_{i'k} x_{pktt'}^{i'} + \sum_{k}^{c} \sum_{h}^{H} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} \sum_{t'=1}^{T} ul_{kph} D_L x_{pktt'}^{i'} + \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{h}^{H} A_{ijhp} x_{ijh} q''_{iph} + \sum_{t'=1}^{T} \sum_{h}^{c} \sum_{h'}^{H'} \sum_{tmin}^{tmax} u_{kph'} D_L x_{pktt'}^{i'} + \sum_{t'=1}^{T} \sum_{k}^{c} \sum_{l}^{L} \sum_{h'}^{H'} \sum_{tmin}^{tmax} th_{klph'} x_{phtt'}^{i''} + \sum_{i'}^{m} \sum_{k}^{c} \sum_{i'}^{n'} \sum_{h}^{H} \sum_{j'}^{m'} (e_{i'kh} + ta_{i'}) V_{i'j'hk} + \sum_{i''}^{n'} \sum_{j''}^{m'} \sum_{h'}^{H'} \sum_{k}^{c} \sum_{l}^{L} (e_l + ta_l) V_{i''j''h'k}$$

حداقل کردن زمان = زمان حمل از تامین کننده i به تامین کننده j + زمان حمل از تامین کننده به بارانداز متقاطع + زمان تخلیه (مقدار) + زمان بارگیری اولیه + زمان بارگیری مجدد + زمان حمل از بارانداز متقاطع به مشتری + (زمان دیر رسیدن + زمان زود رسیدن) (اگر حمل....).

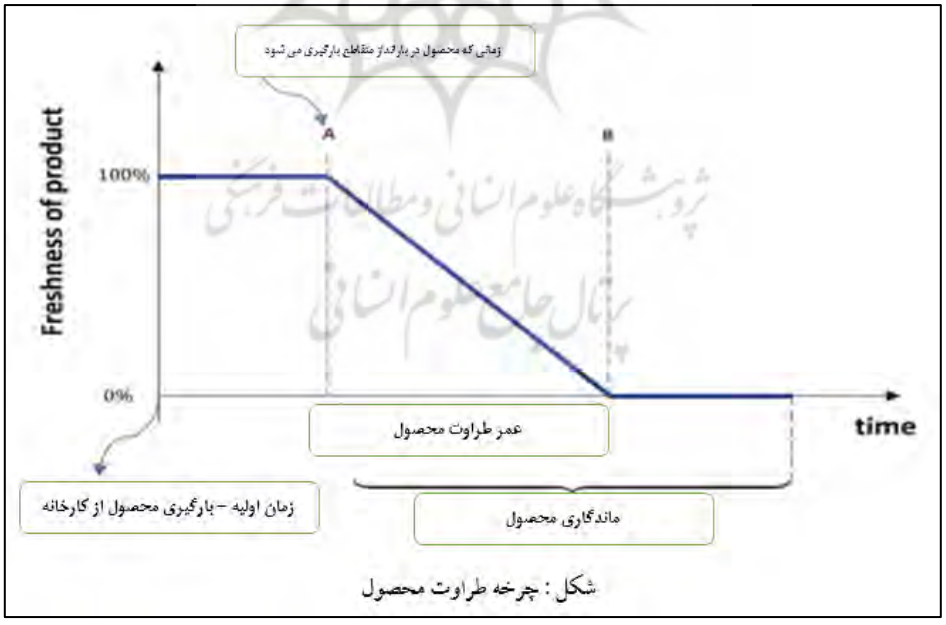
مدل ج:

اسلوف و همکاران[1] (۱۹۹۶) سه عامل، یعنی (۱) محصول، (۲) کاربر و (۳) وضعیت بازار را به عنوان اصلی‌ترین عامل برای سنجش کیفیت محصولات فرسوده در نظر گرفت. آنها با استفاده از روش تجزیه اثر، دو مفهوم متمایز کیفیت اختصاص داده شده و قابل قبول بودن محصول را معرفی کرده‌اند و نشان دادند که کیفیت اختصاص داده شده را می‌توان با تحقیقات محصول و نیز مصرف و نیاز مصرف کننده تخمین زد، در حالی که می‌توان از تحقیقات بازار برای مقبولیت محصول استفاده کرد. اما در این تحقیق از یک مدل خطی ساده قابل مقایسه با مدل پیشنهادی اوزوالد و اشترن[2] (۲۰۰۸) برای تخمین کاهش میزان تازه بودن محصولات استفاده شده است. فرض بر این است که

[1] *Sloof, et al.*

[2] A. Osvald , L.Z. Stirn , A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food, J. Food Eng. 85 (2008) 285–295 .

هر فرآورده قابل فساد دارای شرایط تازه‌ای در شرایط خاص است که می‌تواند به سه مرحله تقسیم شود. تازه‌ترین وضعیت محصول در نقطه t=۰ می‌باشد که به طور کلی در لحظه تولید یا برداشت محصول می‌باشد. در مرحله نخست، هنگامی‌که طراوت ثابت در نظر گرفته می‌شود (از ۰ تا A در شکل ۱)، هیچ تغییر قابل توجهی در طراوت محصول مشاهده نمی‌شود. در اینجا، ما فرض می‌کنیم که این مرحله از زمان ورود محصول تا آن زمان، محصول دارای طراوت اولیه می‌باشد. درادامه، هنگامی که محصولات تازه برداشت می‌شود یا از کشورهای خارجی وارد می‌شود، ابتدا به مراکز توزیع مانند اسکله کراس تحویل داده می‌شود و سپس به مصرف کنندگان نهایی ارسال می‌شود. لازم به توضیح می‌باشد که معمولا وسایل نقلیه عایق دار مانند کامیون‌های یخچال معمولاً برای حمل و نقل جاده‌ای و بین‌المللی استفاده می‌شود و وسایل نقلیه غیر عایق برای توزیع نهایی (یعنی از اسکله‌های متقاطع تا مشتریان) که بیشتر حمل و نقل شهری است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، فرض می‌کنیم هنگامی که محصولات در بارانداز بارگیری نمی‌شوند، به همان اندازه در زمان برداشت محصول خود تازه هستند زیرا با استفاده از کامیون‌های یخچالی به داخل کراس داک آورده می‌شوند که می‌توانند با استفاده از تجهیزات خنک کننده، دمای داخلی آنها را کنترل کنند. البته برخی از شرکت‌های حمل و نقل نیز برای توزیع نهایی محصولات خود با کامیون‌های یخچال دار فعالیت می‌کنند، با این حال کامیون‌های یخچال دار گران تر هستند و در مقایسه با کامیون‌های غیر یخچال دار مصرف سوخت بیشتری دارند. در واقع، مدل پیشنهادی را می‌توان به راحتی گسترش داد تا کامیون‌های یخچال را نیز برای توزیع محصولات پس از عملیات متقاطع شامل شود(رهبری و همکاران [1]، ۲۰۱۹).



شکل ۲: چرخه طراوت محصول

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

[1] Rahbari, M.M. Nasiri and F. Werner et al. (2019)

مرحله اول هنگامی که محصول در بارانداز متوقف می‌شود، خاتمه می‌یابد (نقطه A) و سپس طراوت محصول در نقطه A تغییر محسوسی را آغاز می‌کند. در مرحله دوم (از A تا B) که با برداشت محصول در بارانداز متقاطع و فرآیند تحویل مشتری همراه است، طراوت به مرور زمان کاهش می‌یابد و در نقطه B برابر با صفر خواهد بود. پس از اینکه طراوت برابر با صفر است، بر خلاف اوزوالد و اشترن[1](۲۰۰۸) در اینجا فرض می‌کنیم که این محصول حتی اگر تازه نباشد، برای مشتری قابل قبول است. دلیل آن این است که ماندگاری محصول بسیار طولانی تر از زمان توزیع مورد نیاز می‌باشد. علاوه بر این، می‌توان شرایط آب و هوایی را برای یک فصل خاص مشخص و تقریباً پایدار دانست (رهبری و همکاران [2]، ۲۰۱۹). حال براساس مطالب بیان شده در بالا، مدل طراوت به صورت زیر می‌باشد:

$$F = \sum_{p=1}^{P} \sum_{ii=1}^{n} W_p fr_{iip} D_{iip}$$

حداکثر طراوت = اولویت تازه بودن نوع محصول (p) که در واقع اهمیت وزنی نسبی طراوت نوع محصول (p) * طراوت نوع محصول (p) سفارش داده شده توسط مشتری ii هنگام تحویل به مشتری * مقدار نوع محصول (p) سفارش داده شده توسط مشتری ii) به صورت پالت)

محدودیت‌های تحقیق

محدودیت‌های این تحقیق عبارتند از:

$$\sum_{t'=1}^{T} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} \sum_{i}^{n} \sum_{h}^{c} x_{ijhtt'} = 1 \; \forall i.j \in B$$

۱- هر گره در فرآیند برداشت فقط از یک وسیله نقلیه سرویس دریافت می‌کند.

$$\sum_{p}^{q'} \sum_{t=Tmin}^{Tmax} \sum_{k}^{K} \sum_{t}^{T} x_{pktt'}^{i'} = 1 \; \forall i \in B$$

۲- هر مسیر در فرآیند برداشت بوسیله یک وسیله نقلیه طی می‌شود.

$$\sum_{k=1}^{c} \sum_{tmin}^{T-1} x_{pktt'}^{i''} = 0 \; \forall i''.p.t'$$

$$\sum_{k=1}^{c} \sum_{t=T}^{T+1} x_{pktt'}^{i''} = 1 \; \forall i''.p.t'$$

$$\sum_{k=1}^{c} \sum_{T+1}^{Tmax} x_{pktt'}^{i''} = 0 \; \forall i''.p.t'$$

۳، ٤ و ٥ – تضمین می‌کند که هر نوع تحویل، در صورت لزوم، در پنجره زمانی مشخص انجام می‌گیرد و خارج از آن محدوده، مقدار صفر را در هر دوره زمانی می‌گیرد.

[1] *A. Osvald , L.Z. Stirn , A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food, J. Food Eng. 85 (2008) 285–295 .*

[2] *Rahbari, M.M. Nasiri and F. Werner et al. (2019)*

$$\sum_{p=1}^{q'} \sum_{k=1}^{K} \sum_{t=tmin}^{tmax} \sum_{t'=1}^{T} s_{pktt'} = D_L$$

۶- مقدار محصولی که از بارانداز متقاطع به سمت مشتری می‌رود برابر با تقاضای مشتری می‌باشد.

$$s_{pkt't min} = 0$$

۷- موجودی اولیه هر محصول در بارانداز متقاطع را نشان می‌دهد.

$$\sum_{p=1}^{q'} \sum_{k=1}^{K} \sum_{t=tmin}^{tmax} \sum_{t'=1}^{T} \sum_{h'}^{H'} x_{ptt'h'}^{i''} = 1 \; \forall i.j \in B$$

۸- نشان می‌دهد که هر گره در فرآیند تحویل تنها بوسیله یک وسیله نقلیه خدمت دریافت می‌کند.

$$x_{phtt'}^{i} . x_{phtt'}^{i'} . x_{phtt'}^{i''} \leq x_h$$

۹- حرکت محصول p از تامین کننده به بارانداز متقاطع و از بارانداز متقاطع به خرده فروش در فرآیندهای تحویل و برداشت تنها زمانی که بارانداز متقاطع k استقرار یابد در هر دوره زمانی t' انجام می‌شود.

$$V_{i'.j'.h.k} . V_{i''.j''.h.k} \in \{0 . 1\}$$

$$N_{i'.h} . N_{i''.h} \geq 0$$

۱۰ و ۱۱ – باینری بودن و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

$$C_{ijh} \geq FC_h \left(Dist_{ijh}\right), C_{i'k} \geq FC_{h'}(Dist_{i'k})$$

$$C_{i''k} \geq FC_h(Dist_{i''k})$$

12-13-14هزینه حمل و نقل ضریبی از مسافت بین گره‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۱۵- محدودیت (۱۵) اولین قطعه تابع طراوت را در شکل نشان می‌دهد (از A تا B) و طراوت را به عنوان یک تابع کاهش خطی از زمان شروع بارگیری محصولات در بارانداز متقاطع، بیان می‌کند.

$$frs_{iip} fl_p \leq fl_p - (s_i - r_i)$$

۱۶- محدودیت (۱۶) تعیین می‌کند که آیا نوع محصول سفارش داده شده توسط مشتری در بازه تازه بودن آن تحویل داده می‌شود یا خیر

$$frs_{iip} + M\delta_{iip} \geq 0$$

۱۷ و ۱۸ و ۱۹- عملکرد تازگی را که در (بعد از B) نشان می‌دهد و اطمینان حاصل می‌کنند که طراوت محصولات تحویل شده به مشتریان ممکن است برابر با صفر باشد.

$$fr_{iip} \geq frs_{iip}$$

$$fr_{iip} \leq frs_{iip} + M\delta_{iip}$$

$$fr_{iip} \leq 1 - \delta_{iip}$$

نتایج محاسباتی

در ابتدا، برای حل مدل، مدل قطعی در نظر گرفته می‌شود و نتایج آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با توجه به موضوع تحقیق و با استفاده از دو تکنیک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات تجزیه و تحلیل می‌گردند. این پژوهش از دو تکنیک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات جهت ارزیابی، استفاده می‌شود. در این تحقیق، مدل با استفاده از نرم افزار متلب ۲۰۱۵ و کامپیوتر Core i۷ با ۸ گیگ رم حل می‌گردد.

در این تحقیق ابتدا جهت اعتبارسنجی مدل از دو روش مجموع وزنی و برنامه‌ریزی آرمانی در سه حالت استفاده شده است و جواب‌ها مقایسه شده است. اما قبل از آن بایستی عنوان نمود که پارامترهای مدل به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۳: مقدار پارامترهای مدل

K	**3**	R	5	
P	**5**	γ	12	
T	**(30 , 180) min**	B	3	
T’	**(1, 5)**	L’	12	
H	**(5, 10)**	G	4	
H’	**(5, 10)**	α	0.1	
D_L	**(1 , 10)**	β	0.33	
$Dist_{ijh}$	**50**تا ۳۵۰ کیلومتری	$Dist_{i'k}$	50تا ۳۵۰ کیلومتری	
$Dist_{ii'k}$	**50**تا ۳۵۰ کیلومتری	$FC_{h'}$	4$	
FC_h	**$ 4**	$HC_{kpt'}$	$ 10	
q''_{iph}	**10**تن / ۲۰۰۰ محصول	$\rho^{p}_{L'gk}$	$ 1	
scs_g	$ 1	$\rho_{L'gk}$	$ 1	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

قبل از حل با روش‌های فراابتکاری با پیش فرض‌های بالا می‌توان به مجوعه جوابی با استفاده از از دو روش مجموع وزنی و برنامه‌ریزی آرمانی دست یافت. مجموعه جواب‌های بهینه به صورت زیر می‌باشد:

جدول ٤: مجموعه جواب‌های بهینه

ردیف	Weighted Sum		Goal Programming			RunTime	
	F_1	**F_2**	**F_3**	**F_1**	**F_2**	**W**	**G**
1	8.061**35616e+10**	0.980082e+2	1.926E+5	7.0112075e+10	1. 213E+5	3.1	**4.82**
2	8. 0634**751e+10**	1.02010418e+2	1.398E+5	8.0428679e+10	1.292E+5	3.8	**4.16**
3	8**. 06357e+10**	1.030215e+2	1.987E+5	8.0670167e+10	1.718E+5	4.9	**4.93**
4	8**. 0645647e+10**	1.04023298e+2	2.275E+5	8.0688404e+10	2.091E+5	3.81	**5.83**
5	8**. 065573e+10**	1.04027012e+2	2.466E+5	8.0976844e+10	2.234E+5	4.15	**4.96**
6	8**. 467563e+10**	1.0503593e+2	2.554E+5	9.3198390e+10	2.404E+5	5.27	**6.72**
7	8**. 717324e+10**	1.0511343e+2	2.582E+5	9.3513344e+10	2.489E+5	4.93	**5.36**
8	8**. 924353e+10**	1.0553567e+2	2.634E+5	9.3799209e+10	2.587E+5	5.16	**6.03**
9	9**.013453 e+10**	1.0590129e+2	2.723E+5	9.3975429e+10	2.639E+5	5.71	**6.88**

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

حال با توجه به مفروضات بالا در مقیاس کوچک و جهت تولید جمعیت اولیه اقدام به حل مسئله می‌نماییم. برای حل ابتدا از روش تاگوچی، جهت تنظیم پارامترها استفاده می‌کنیم. در این تحقیق، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی L_9 به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. آرایه‌ی L_9، طرح آزمایشی با ۹ اجرا (آزمایش) است.

پس هر پارامتر در هر سطحی که بیشتر باشد، آن سطح انتخاب میشود. لازم به ذکر است که در انتخاب فرمول برای روش تاگوچی، از فرمول بالا که "هرچه کمتر، بهتر" استفاده کردیم که نتیجه به دست آمده با این روش، **S/N**میباشد که مقدار **S/N**هرچه بیشتر باشد بهتر است. مقادیر پارامترهای الگوریتم NSGA II در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵: مقادیر پارامترهای الگوریتم NSGA II

Population size	*Number of generation*	*Fraction*	*Cross over rate*	*Mutation Percentage*	*Mutation rate*	*Cross over Fraction*
250	150	0.310	0.85	0.3	0. 03	0.856

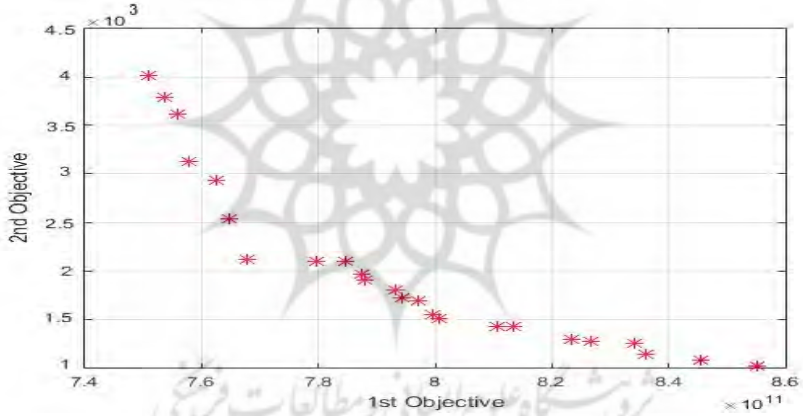
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

از آنجا که مدل ارائه شده در این تحقیق، مدلی دو هدفه می‌باشد، از روش متریک Lp و به طور خاص روش متریک L ۱، برای تبدیل مدل به یک مدل تک هدفه واحد استفاده می‌شود. با توجه به روش متریک L ۱، در مرحله اول، مسئله با در نظر گرفتن هر یک از دو هدف به طور جداگانه به منظور دستیابی به راه حل‌های بهینه، از F ۱ و F۲ حل می‌شود. در مرحله بعدی، از یک رابطه خطی برای به حداقل رساندن فاصله از مقادیر بدست آمده استفاده گردد.

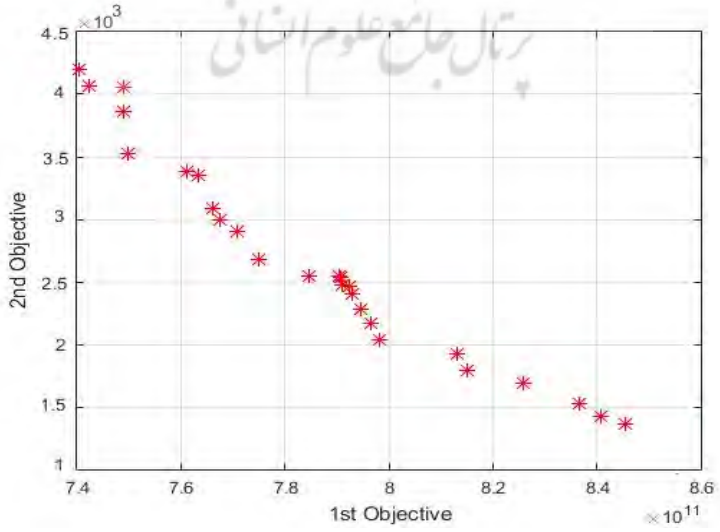
جدول ٦. نتایج بدست آمده هنگامی‌که توابع تا رسیدن به دستور توقف در الگوریتم اجرا می‌گردند

ردیف	NSGA II		MOPSO			
	F_1	F_2	$TF = (\frac{F1 - F1*}{F1*} + \frac{F2 - F2*}{F2*})$	F_1	F_2	$TF = (\frac{F1 - F1*}{F1*} + \frac{F2 - F2*}{F2*})$
1	8.55196E+11	2.98487E+3	0.292343	7.35121E+11	1.29E+14	0.299249
2	7.50867E+11	1.42542E+3	0.319295	7.61382E+11	1.21E+15	0.284612
3	7.64743E+11	1.46115E+3	0.326223	7.56432E+11	1.18E+15	0.257143
4	7.67883E+11	1.88447E+3	0.290781	7.37473E+11	1.97E+14	0.246355
5	7.57786E+11	4.08614E+3	0.290541	7.43715E+11	1.08E+15	0.242624
6	7.62431E+11	1.06282E+3	0.26426	7.53309E+11	1.16E+15	0.239415
7	7.55848E+11	3.80682E+3	0.256723	7.49554E+11	1.15E+15	0.200639
8	8.45596E+11	2.92336E+3	0.225139	8.59183E+11	1.20E+15	0.195087
9	8.23331E+11	2.71207E+3	0.180747	8.53799E+11	1.17E+15	0.194922
10	7.53818E+11	2.12731E+3	0.179429	7.46169E+11	1.10E+15	0.190841
11	8.1332E+11	2.57736E+3	0.169146	8.3724E+11	1.61E+14	0.179713
12	8.36032E+11	2.86054E+3	0.167286	8.40302E+11	1.01E+15	0.166666
13	7.79751E+11	1.90181E+3	0.166301	7.42697E+11	1.06E+15	0.150709
14	8.10541E+11	2.57247E+3	0.149108	8.41555E+11	1.04E+15	0.142651
15	8.00688E+11	2.49329E+3	0.143527	8.40819E+11	1.02E+15	0.138164
16	8.34226E+11	2.7485E+3	0.131375	7.60184E+11	1.21E+15	0.131326
17	7.84618E+11	1.90214E+3	0.120331	7.37231E+11	1.43E+14	0.119959
18	7.9312E+11	2.20378E+3	0.119828	7.35557E+11	1.44E+14	0.118043
19	8.26766E+11	2.73291E+3	0.116575	8.49155E+11	1.13E+15	0.10943
20	7.9696E+11	2.30888E+3	0.110334	8.18642E+11	1.12E+15	0.086381

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



نمودار ۱: حل به روش NSGA II منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

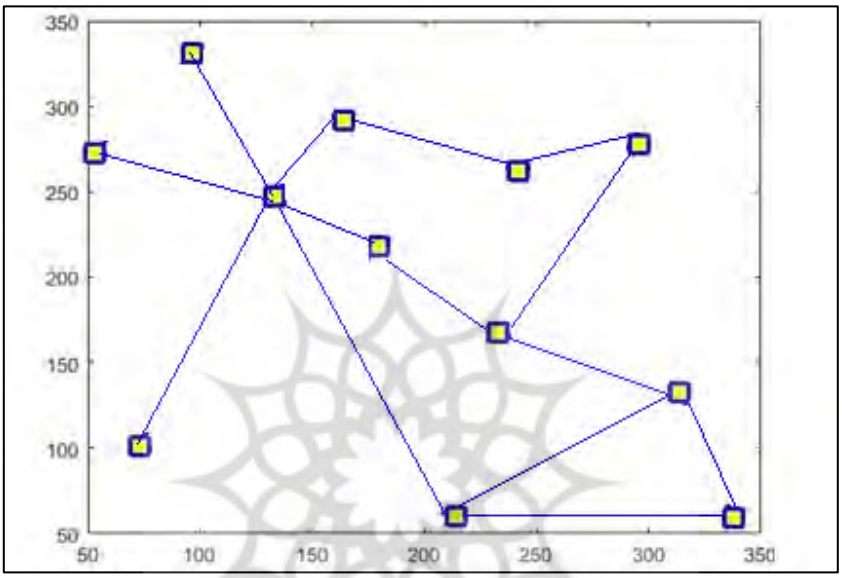


نمودار ۲: حل به روش MOPSO منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

جدول ۷: مجموع جواب‌های حرکت کامیونت‌ها

ردیف	Parameters	Best Cost	توالی بهینه	زمان
1	MaxIt = 100	7.7323E+11	best solution = 8 4 10 5 7 12 11 1 9 6 3 2	Time = 5.2225
2	MaxIt = 150	7.8928E+11	best solution = 8 4 10 5 7 12 11 1 9 6 3 2	Time = 7.3829
3	MaxIt = 200	8.02431E+11	best solution = 8 4 10 5 7 12 11 1 9 6 3 2	Time = 10.174

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۳: مجموع جواب‌های حرکت کامیونت‌ها

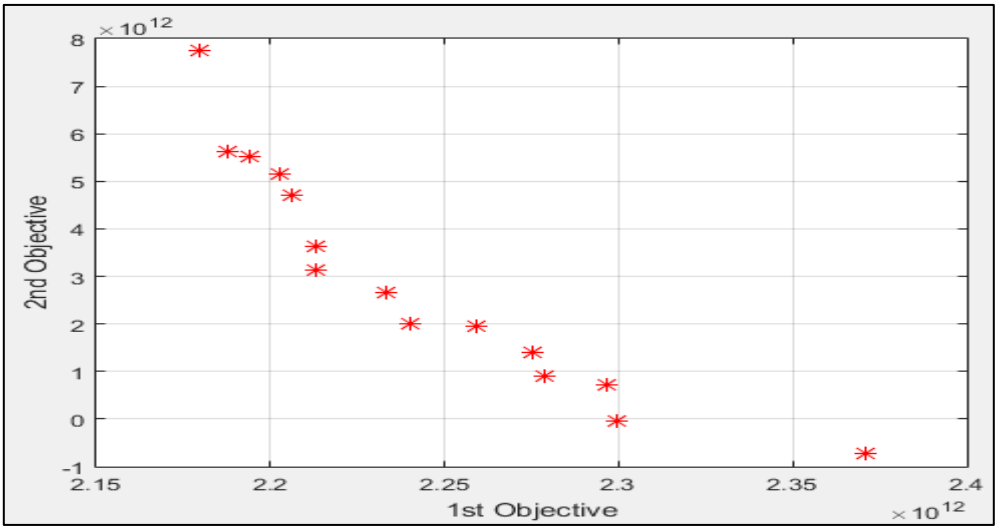
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

حال با درنظر گرفتن دو تابع اول به عنوان تابع TF، این تابع را با تابع ۳F مورد بررسی قرار می‌دهیم.

جدول ۸ نتایج بدست آمده هنگامی‌که توابع تا رسیدن به دستور توقف در الگوریتم اجرا می‌گردند:

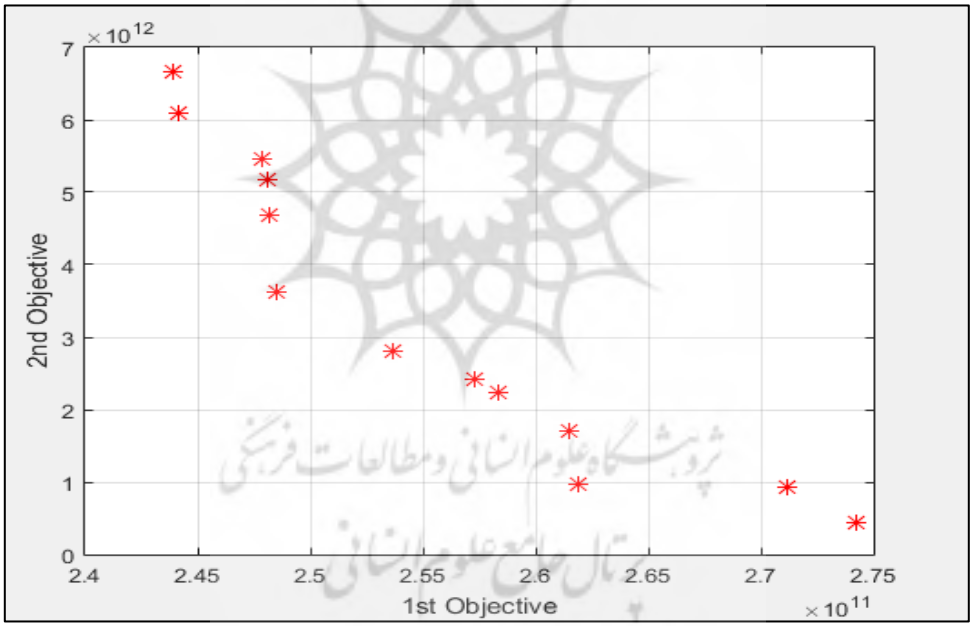
ردیف	NSGA II		MOPSO	
	F_3	TF	F_3	TF
1	2.17956E+12	7.74665E+12	2.43918E+11	6.66745E+12
2	2.37118E+12	7.22427E+11	2.74261E+11	4.41541E+11
3	2.29925E+12	44544242669	2.71165E+11	9.28881E+11
4	2.18746E+12	5.62447E+12	2.5366E+11	2.80088E+12
5	2.23312E+12	2.65161E+12	2.48512E+11	3.62196E+12
6	2.25916E+12	1.94035E+12	2.61878E+11	9.70224E+11
7	2.20598E+12	4.69411E+12	2.44149E+11	6.09684E+12
8	2.27519E+12	1.39659E+12	2.61521E+11	1.69875E+12
9	2.21304E+12	3.63254E+12	2.47853E+11	5.45518E+12
10	2.21334E+12	3.1257E+12	2.48223E+11	4.68287E+12
11	2.24012E+12	2.00343E+12	2.58326E+11	2.24325E+12
12	2.29644E+12	7.29118E+11	2.57259E+11	2.41738E+12
13	2.27881E+12	8.90599E+11	2.48142E+11	5.17071E+12
14	2.20265E+12	5.14121E+12	2.43918E+11	6.66745E+12
15	2.19401E+12	5.51686E+12	2.74261E+11	4.41541E+11
16	2.17956E+12	7.74665E+12	2.71165E+11	9.28881E+11
17	2.37118E+12	7.22427E+11	2.5366E+11	2.80088E+12
18	2.29925E+12	44544242669	2.48512E+11	3.62196E+12
19	2.18746E+12	5.62447E+12	2.61878E+11	9.70224E+11
20	2.23312E+12	2.65161E+12	2.44149E+11	6.09684E+12

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



نمودار ۳: حل به روش NSGA II

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



نمودار٤: حل به روش MOPSO

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

هدف از تحقیق حاضر طراحی زنجیره تامین چند دوره‌ای سرد مبتنی بر بارانداز متقاطع چند گانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت می‌باشد. در مرحله اول ابتدا به شناسایی عوامل و متغیرهای مدل پرداختیم. در مرحله دوم با انتخاب دوره زمانی مورد بررسی با طراحی فرم‌های جمع‌آوری داده‌ها و با استفاده از روش‌های بررسی اسناد و مدارک داده‌های خام موردنیاز جهت اندازه‌گیری شاخص‌های نهایی گردآوری شده و در قالب مدل طرح، پردازش‌های لازم روی آن ها صورت گرفته است. سپس با توجه به موضوع تحقیق و با استفاده از دو تکنیک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات تجزیه و تحلیل می‌گردند. این پژوهش از دو تکنیک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام

ذرات جهت ارزیابی، استفاده می‌شود. همان گونه که پیش از این نیز عنوان گردید، یکی از استراتژی‌های ابتکاری انبارداری که توان زیادی در کنترل هزینه‌های توزیع و لجستیک داشته و همزمان سطح خدمت رسانی به مشتریان را حفظ می‌کند، بارانداز متقاطع می‌باشد. نگهداری محوله‌ها در بارانداز متقاطع معمولاً زمانی بین یک ساعت تا ۵ ساعت نیز می‌رسد، از این طریق بارانداز متقاطع نه تنها کالای مشتریان را تامین می‌کند بلکه مزایای زیادی را نسبت به انبارداری سنتی از قبیل کاهش سرمایه موجودی‌ها، کاهش فضای انبارش، کاهش هزینه‌های جابجایی و زمان سیکل کاری ایجاد می‌کند. در این مساله کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصولات از تامین کنندگان، مستقیما به سمت مشتریان حرکت می‌کنند و یا به سمت تامین کننده دیگری حرکت می‌کنند و یا به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی حرکت می‌کنند و محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌شوند و سپس در کامیون‌های خروجی محصولات بارگیری می‌شوند و به مشتریان انتقال پیدا می‌کند. در ضمن لازم به ذکر است که یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تامین کننده را بارگیری کند و همین طور یک کامیون می‌تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن‌ها تخلیه کند. برای حمل و نقل محصولات از چندکامیون با ظرفیت‌های متفاوت می‌توان استفاده نمود. در این تحقیق، مساله دارای دو تابع هدف مختلف و متضاد از یکدیگر بود. تابع هدف ابتدایی که با هدف کمینه کردن هزینه حمل و نقل و انبارداری در کل زنجیره تامین می‌باشد. و تابع هدف دوم که هدف آن کمینه کردن زمان کل عملیات داخل زنجیره تامین و تعداد تردد ماشین‌ها می‌باشد. نشان داده شده است که صرفاً صرفه جویی در تابع هزینه و صرفنظر از زمان تحویل محصولات ت، در شرایط مطلوبی قرار دارد. سپس با استفاده از نمونه‌های شبیه سازی شده، نشان داده شده است که روش متریک L ۱ می‌تواند یک توافق مناسب بین هزینه و تابع هدف زمان ایجاد کند. در مرحله بعدی، از روش‌های بهینه سازی فراابتکاری (قابل تنظیم قوی) برای مواجهه با زمان سفر وسایل نقلیه برون شهری استفاده شد. در این تحقیق همچنین نمونه‌ای از عملکرد مدل‌های بهینه سازی (روش وزنی و برنامه‌ریزی آزمانی) را برای نمونه‌ای با ابعادکوچک ارائه کردیم. نتایج محاسباتی نشان داد که هر چه زمان و مسافت سفر بیشتر گردد، الزاما تمامی هزینه‌ها اضافه نمی‌گردد، در واقع می‌توان در زمانی مناسب اقدام به توزیع مناسب محصولات با تعداد کامیون مناسب با هزینه‌ای بهینه گرفت. همچنین نشان داده ایم که ارزش هدف هزینه در مدلهای دارای زمان بیشتر، بدتر نشده است. نتایج همچنین نشان می‌دهندکه که می‌توان ضایعات را با انتخاب مسیری مناسب کاهش دهد.

منابع

آقایی، اصغر؛حاجی ملامیرزایی، حمید؛رمضانزاده، سعید؛رضاپور، محمد (۱۳۹۷) " ارائه مدلی چندهدفه در مدیریت زنجیره تامین سبز با الگوریتم ژنتیک" فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی بهار ۱۳۹۷ – شماره ٤۷، صفحات ۵۷ – ۷٦

الفت، لعیا؛ امیری، مقصود ؛ جعفریان، احمد (۱۳۹٦) "تعیین مسیر حرکت خودروها در بارانداز متقاطع با استفاده از الگوریتم ژنتیک:مورد مطالعه شرکت ایران خودرو" فصلنامه علمی– پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال پانزدهم، شماره ٤۵، تابستان ۱۳۹٦، صفحات ۱۲۰ – ۹۷

امیدوار، رضا؛سرداری، احمد؛یزدانی، ناصر (۱۳۹٤) " رتبه‌بندی موانع مدیریت زنجیره تأمین سبز با استفاده از روش دیمتل مطالعه موردی: شرکت پارس خودرو" تحقیقات بازاریابی نوین، سال پنجم، شماره ۲، صفحات ۱ – ۱٤

امیرخان، محمد؛نورنگ، احمد؛توکلی مقدم، رضا (۱۳۹٤) "یک رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چند سطحی، چند کالایی و چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن هزینه و زمان" مدیریت تولید و عملیات، شماره ۱۰، صفحات ۱۲۷ – ۱٤۸

خدادادیان، داود؛رادفر، رضا؛طلوعی، عباس (۱۳۹۷) "طراحی مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین سبز چند محصولی صنعت خودرو در شرایط عدم اطمینان" آینده پژوهی مدیریت، شماره ۱۱۵، صفحات ۸۳– ۱۰۰

رحیمی، مجتبی؛مهدوی، ایرج؛سیداصفهانی، میرمهدی؛فضل الله تبار، حامد؛نیری، سینا (۱۳۹۵) " طراحی شبکه زنجیره تامین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن قیمت‌گذاری و چرخه عمر محصول" مطالعات مهندسی صنایع و مدیریت تولید، سال دوم، شماره دو، صفحات ٤٦ – ۱٦

رضایی، سعید؛خیرخواه، امیرسامان (۱۳۹٤) "به کارگیری عملیات بارانداز در طراحی شبکه‌های لجستیک: دسته‌بندی و مرور ادبیات" فصلنامه علمی – ترویجی مدیریت زنجیره تامین، شماره ٤۹، صفحات ۱۸ – ۳۵

سلطانی تهرانی، مهدی؛مصدق خواه، مسعود؛حسن پور، حسینعلی (۱۳۹۵) "بهینه سازی زنجیره تامین حلقه بسته چند سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای با هدف کاهش هزینه‌های زنجیره تامین (مطالعه موردی: شرکت آمادبهینه ساز)" فصلنامه مدیریت زنجیره تامین، شماره ۵۳، صفحات ۲۷ – ۳٦

فلاح لاجیمی، حمید رضا؛ جعفرنژاد، احمد؛ مهرگان، محمدرضا؛ الفت، لعیا (۱۳۹٤) " پیکره‌بندی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین یکپارچهٔ راهبردی تصادفی" مجله مدیریت صنعتی (دانشگاه تهران)، دوره هفتم، شماره ۱، صفحات ۸۳– ۱۰٦

قربان پور، احمد؛ پویا، علیرضا؛ ناظمی، شمس الدین؛ ناجی عظیمی، زهرا (۱۳۹۵) "طراحی مدل ساختاری اقدامات مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از رهیافت مدل سازی ساختاری تفسیری فازی" مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال سیزدهم، شماره چهارم، صفحات ۱ – ۲۰

محتشمی، علی؛ فلاحیان نجف آبادی، علی (۱۳۹۲) "زمانبندی حملونقل کامیون‌ها در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن بارانداز تقاطعی و با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری"فصلنامه علمی– پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال یازدهم، شماره ۳۱، زمستان ۹۲، صفحات ۵۵ – ۸٤

محمدی، امیرسالار؛عالم تبریز، اکبر؛پیشوایی، میرسامان (۱۳۹۷) " طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته همراه با تصمیمهای مالی در شرایط عدم قطعیت" فصلنامه مدیریت صنعتی، دوره دهم، شماره ۱، صفحات ٦۱– ۸٤

وکیلی، پریزاد؛حسینی مطلق، سید مهدی؛غلامیان، محمدرضا؛جوکار، عباس (۱۳۹٦) "ارائهٔ مدل ریاضی مسیریابی موجودی چندمحصوله برای اقلام دارویی در زنجیرهٔ تأمین سرد و روش حل ابتکاری مبتنی بر جستوجوی همسایگی انطباقی" مدیریت صنعتی (دانشگاه تهران)، دوره نهم، شماره ۲، صفحات ۳۸۳– ٤۰۷

یاریان تل زالی، زینب، شمس الدینی، اسماعیل (۱۳۹۵) "یکپارچگی زنجیره تامین" چهارمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری

Amini, Alireza; Tavakkoli-Moghaddam, Reza; Omidvar, Aschkan (2014) “Cross-docking truck scheduling with the arrival times for inbound trucks and the learning effect for unloading/loading processes” Production & Manufacturing Research, 2: 1, 784- 804

Andic, E., Yurt, O., Baltacıoğlu, T., (2012) “Green supply chains: efforts and potential applications for the Turkish market. Resour”. Conserv. Recycl. 58, 50–68.

Baniamerian, Ali; Bashiri, Mahdi; Tavakkoli-Moghaddam, Reza (2018) "Modified variable neighborhood search and genetic algorithm for profitable heterogeneous vehicle routing problem with cross-docking" Applied Soft Computing Journal, 1- 42

Barbosa-Povoa, Ana Paula, da Silva, Catia, Carvalho, Ana (2017) "Opportunities and Challenges in Sustainable Supply Chain: An Operations Research Perspective"

Beltrami, E.J.; Bodin, L.D. (1974) "Networks and vehicle routing for municipal waste collection", Networks, 4 (1974) 65-94.

Chatzikontidou, Anastasia; Longinidis, Pantelis; Tsiakis, Panagiotis; Georgiadis, Michael C. (2017) "Flexible supply chain network design underuncertainty" chemical engineering research and design 1 2 8 (2 0 1 7) 290–305

Cheng, R. ; Gen, M.; Tozawa, T. (1995) "Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithms", Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, 7 (1995) 1050-1061.

Christopher, M.L., (1994) "Logistics and supply chain management", Irwin Professional, Burr Ridge, Illionoise.

Cooke, K.L.; Halsey, E. (1966) " The shortest route through a network with time-dependent internodal transit times" Journal of mathematical analysis and applications, 14 (1966) 493-498.

Dantzig, G.B. ; Ramser, J.H. (1959) "The truck dispatching problem, Management science", 6 , 80-91.

Dror, M.; Trudeau, P. (1989) "Savings by split delivery routing", Transportation Science, 23 (1989) 141-145.

Govindan, K.; Khodaverdi, R.; Vafadarnikjoo, A. (2015) "Intuitionistic fuzzy based dematel method for developing green practices and performances in a green supply chain, Expert Systems With Application, 42 (20), 7207- 7220

Govindan, Kannan; Cheng, T. C.E. (2018) "ADVANCES IN STOCHASTIC PROGRAMMING AND ROBUST OPTIMIZATION FOR SUPPLY CHAIN PLANNING" Computers and Operations Research, 1- 20

Handfield, R.B., Walton, S.V., Seegers, L.K., Melnyk, S.A., (1997) "'Green'value chain practices in the furniture industry" J. Oper. Manag. 15 (4), 293–315.

Hax, A. C. (1974). A comment on the distribution system simulator. Management Science, 21(2): 233-236.

Jawad, H., Jaber, M.Y., Nuwayhid, R.Y. (2018) "Improving supply chain sustainability using exergy analysis" European Journal of Operational Research, V.269, pp.258–271

Kazazi, A., Azar, A. and Zanguie Nejad, A. (2012) "The competitiveness measuring of supply chains" Journal of Commercial Strategies, 2: 55-72.

Khalili-Damghani, Kaveh; Tavana, Madjid; J. Santos-Arteaga, Francisco; Ghanbarzad-Dashti, Mahdokht (2017) "A customized genetic algorithm for solving multi-period cross-dock truck scheduling problems" Measurement 108 (2017) 101–118

Kim, J.H., Youn, S., Roh, J.J., (2011) "Green supply chain management orientation and firm performance: evidence from South Korea" Int. J. Serv. Oper. Manag. 8 (3), 283–304.

Luo, H., Zhu, M. J., Ye, S. G., Hou, H. P., Chen, Y., & Bulysheva, L. (2016). "An intelligent tracking system based on internet of things for the cold chain" Internet Research, 26(2), 435-445. doi:10.1108/IntR-11-2014-0294

Macchion, L., Moretto, A., Caniato, F., Caridi, M., Danese, P., Vinelli, A., 2015." Production and supply network strategies within the fashion industry." Int. J. Prod. Econ. 163, 173–188.

Megahed, Aly; Goetschalckx, Marc (2017) "Tactical Supply Chain Planning under Uncertainty with an Application in the Wind Turbines Industry" Computers and Operations Research, 1- 43

Molavi, Danyar; Shahmardan, Amin; Sajadieh, Mohsen S. (2018) "Truck scheduling in a cross docking systems with fixed due dates and shipment sorting" Computers & Industrial Engineering 117 (2018) 29–40

Óskarsdóttir, Kristín; Oddsson, Guðmundur Valur (2018) "Towards a Decision Support Framework for Technologies used in Cold Supply Chain Traceability" Journal of Food Engineering, 1- 19

Qi, Y; Huo, B. Wang, Z. Yan Jeff Yeung, H. (2017) "The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance" International Journal of Production Economics 185 (2017) 162–174.

Rahbari, Ali; Nasiri, Mohammad Mahdi; Werner, Frank; Musavi, MirMohammad; Jolai , Fariborz (2019) "The vehicle routing and scheduling problem with cross- docking for perishable products under uncertainty: Two robust bi-objective models" Applied Mathe- matical Modelling

Russell, R.A. (1977) "Technical Note—An Effective Heuristic for the M-Tour Traveling Salesman Problem with Some Side Conditions", Operations Research, 25 (1977) 517-524.

Shapiro. (2000). Modeling supply chain, Duxbury Press.

Soleimani H, Govindan K, Saghafi H, Jafari H. (2017) "Computers & Industrial Engineering", Volume 109, July 2017, Pages 191-203

Speidel, V. (1976) "EDP-assisted fleet scheduling in tramp and coastal shipping", in: Proceedings of the 2nd International Ship Operation Automation Symposium, Washington, DC, August 30-September 2, 1976.

Tillman, F.A. (1969) "The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands", Transportation Science, 3 (1969) 192-204

Tiwari A, Chang P.C, Tiwari M.K., Kandhway R. (2016) "A Hybrid Territory Defined evolutionary algorithm approach for closed loop green supply chain network design" Computers & Industrial Engineering, Volume 99, September 2016, Pages 432-447

Tseng, M. (2013) "Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences, Journal of cleaner production. 40, 46- 56

Tseng, Ming-Lang; Islam, Md Shamimul; Karia, Noorliza; Fauzi, Firdaus Ahmad; Afrin, Samina (2019) "A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges" Resources, Conservation & Recycling 141 (2019) 145–162

Waltho, Cynthia; Elhedhli, Samir; Gzara, Fatma (2019) "Green supply chain network design: A review focused on policy adoption and emission quantification" International Journal of Production Economics, 1- 45

Wu, K.; Lio, C.; Tseng, M.; Chiu, A. (2015) "Exploring decisive factorsin green supply chain practices under uncertainty, Production Economics, 159, 147- 157

Yang, Haoxiong; Miao, Liye; Zhao, Chuan (2019) "The credit strategy of a green supply chain based on capital constraints" Journal of Cleaner Production, 1- 34

Yeh, W.-C., Chuang, M.-C., (2011) "Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems" Expert Syst. Appl. 38 (4), 4244–4253.

Yousefi Nejad Attari, Mahdi; Ebadi Torkayesh, Ali (2018) "Developing benders decomposition algorithm for a green supply chain network of mine industry: Case of Iranian mine industry" Operations Research Perspectives 5 (2018) 371–382

Zilberman, David; Lu, Liang; Reardon, Thomas (2017) "Innovation-induced food supply chain design" Food Policy, 1- 9

Zuluaga, Juan Pablo Soto; Thiell, Marcus; Perales, Rosa Colomé (2016) "Reverse Cross-Docking" Omega, 1- 20