

مسیرگزینی وسایل با بارگیری متقابل در زنجیره عرضه کالا

چکیده

بارگیری متقابل روشی موثر برای کنترل جریان کالاهاست، که در مدیریت زنجیره عرضه حیاتی می‌باشد. در این مقاله، مدلی را در نظر می‌گیریم که بارگیری متقابل را با مساله مسیرگزینی وسایل اجماع خواهد نمود. در این مدل، مجموعه‌ای از وسایل مشابه برای انتقال اجناس از عمده فروشان به خرده فروشان با بارگیری متقابل مورد استفاده قرار گرفته است و تمام فرایندها باید درون افق برنامه‌ریزی باشد. هر عمده فروش و خرده فروش فقط یکبار ملاقات می‌شود و مقدار کلی اجناس در یک وسیله باید از ظرفیت آن کمتر باشد. هدف مساله تعیین شمار وسایل و مجموعه‌ای از برنامه وسایل، با مجموع کمینه هزینه عملیاتی و انتقال است. یک الگوریتم جستجوی بازدارنده (TS) جدید به منظور دستیابی به یک راه حل امکان‌پذیر مناسب برای مساله پیشنهاد شده است. با آزمایشات محاسباتی گسترده، نشان داده شده است که الگوریتم TS پیشنهادی قابلیت دستیابی به بازدهی بهتری را نسبت به الگوریتم TS موجود دارد و زمان محاسباتی کمتری نیز دارد. برای اندازه مساله مختلف، بهبود میانگین بین 10-36٪ می‌باشد.

کلمات کلیدی: بارگیری متقابل، مدیریت زنجیره عرضه، مساله مسیرگزینی وسایل، برنامه ریزی، جستجوی بازدارنده.

1. معرفی

به طور کلی، فرایند تولید شامل خرید مواد خام از تولیدکنندگان، ساخت، انبارکردن و تحویل محصولات نهایی به مصرف کنندگان می‌باشد. سیستم شامل محصولات انتقالی یا خدمات تولیدکنندگان به مصرف کنندگان به زنجیره عرضه معروف است. به طور متداول، اعضای زنجیره عرضه نظیر عمده فروشان، سازندگان و مشتریان به دنبال بازدهی

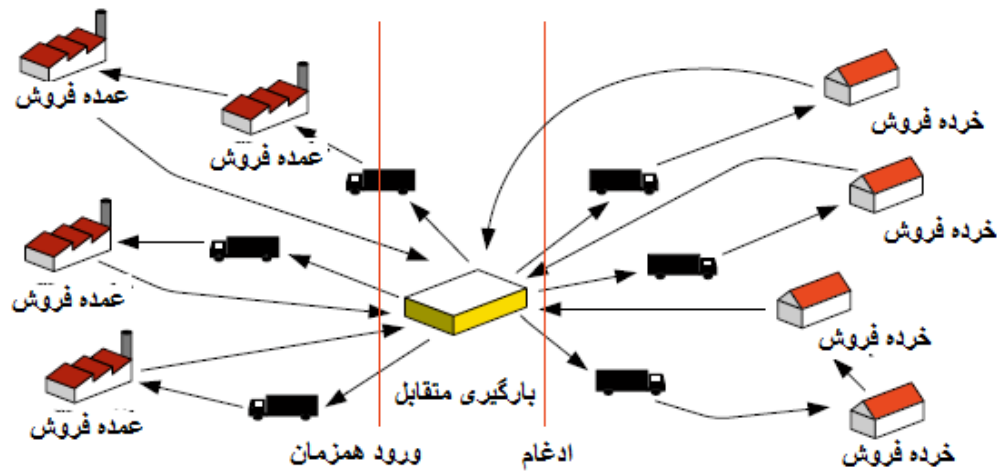
بالا و راحتی برای خود هستند، و معمولاً بهبود جهانی یا بازدهی کلی را با عاملیت اعضای دیگر زنجیره عرضه در نظر نمی‌گیرند. در نتیجه، وقتی اعضای بالادست و پایین دست نمی‌توانند در زنجیره عرضه با یکدیگر تعامل کنند، هزینه بیشتری برای سیستم به وجود خواهد آمد. به منظور کاهش هزینه کلی در زنجیره عرضه، در نظر گرفتن تمامی اعضای زنجیره عرضه و استفاده از روش‌های موثر برای دستیابی به هزینه سیستمی کمتر واجب است. این تلاش به عنوان یک وظیفه ضروری در مدیریت زنجیره عرضه شناخته می‌شود و به طور رسمی به عنوان مجموعه روش‌های به کار گرفته شده برای اجتماع موثر عمده فروشان، سازندگان، انبارها و فروشگاه‌ها تعریف می‌شود. در نتیجه، محصولات قابلیت تولید و توزیع با مقادیر صحیح، مکان صحیح و زمان صحیح را خواهند داشت که منتج به هزینه‌های سیستمی کمینه و ارضای نیازهای مشتریان خواهد شد (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2003).

بر اساس قواعد حسابداری، دفتر کالاها می‌تواند بسته به جایی که در مراحل مختلف چرخه تولید وجود دارد، اسامی مختلفی داشته باشد. دفتر کالاها در انبار عمده فروشان می‌تواند مواد خام گفته شود. در فرایند تولید می‌تواند کار-در-فرایند (WIP) یا فهرست اموال در-فرایند گفته شود. علاوه بر این، وقتی کامل و برای مشتری فرستاده می‌شود کالای نهایی گفته خواهد شد. مواد خام، کار-در-فرایند و کالای نهایی همگی فهرست اموال هستند. یکی از مفاهیم اصلی مدیریت زنجیره عرضه، کنترل جریان فهرست اموال می‌باشد.

یک روش انبارداری که بارگیری متقابل نامیده می‌شود، روشی مترقی برای کاهش فهرست اموال در کنار ارضای نیازهای مشتریان است. حین جهت دهی به جریان بین تغذیه کنندگان مواد خام و سازندگان، این روش می‌تواند به کاهش ذخیره اموال کمک کند. بارگیری متقابل مربوط به انتقال مستقیم کالاها از انبار اولیه تا انبار ارسال کالاهاست که کالاها برای مدت زمان کمی در حدود معمول 12 ساعت انبار می‌شوند یا مستقیماً برای مشتریان فرستاده می‌شوند (Apte & Viswanathan, 2000; Kreng & Chen, 2008). روش بارگیری متقابل، در حالی که طی یک فرایند مستحکم امکان دسته بندی و بارگیری کالاها برای وسایل تحویل را می‌دهد، باعث حذف سهم عاملیت فهرست اموال در یک انبار سنتی می‌شود (Wen, Larsen, Clausen, Cordeau, & Laporte, 2008).

مفهوم بارگیری متقابل در شکل 1 تشریح شده است که دو نقطه اساسی آن ورود و ادغام همزمان می‌باشد. اگر

وسایل ناوگان برداشتن کالا نتوانند به طور همزمان به محل بارگیری متقابل برسند، فرایند ادغام تا زمانی تمام کالاها مجتمع شوند به تاخیر خواهد افتاد، و در نتیجه باعث افزایش زمان انتظار و سطح بارگیری در بارگیری متقابل خواهد شد.



شکل 1. مفهوم بارگیری متقابل

اکثر مطالعات روی بارگیری متقابل، بر مفهوم بارگیری متقابل، طراحی فیزیکی آن یا تعیین مکانی آن تکیه دارد. آپت و ویسواناتان (2000) ساختاری را برای طراحی یک سیستم بارگیری متقابل پیشنهاد نموده اند و خاطرنشان کرده اند که بارگیری متقابل می تواند به طور موثر باعث کاهش اساسی در هزینه انتقال بدون افزایش فهرست کالاها شود. سونگ و سانگ (2003) یک الگوریتم جستجوی بازدارنده را برای شبکه سرویس مجتمع، به منظور یافتن مکان بارگیری متقابل و وسایل نقلیه پیشنهاد نموده اند. آنان خاطرنشان کرده اند که استراتژی بارگیری متقابل به دلیل داشتن پتانسیل بالا برای کاهش هزینه انتقال و زمان تحویل بدون افزایش فهرست کالاها، مفید است. گوموس و بوکبندر (2004) از یک نرم افزار تجاری شامل LINDO و CPLEX برای تعیین سیاست های انتقال در شبکه تدارکات و مکان های بهینه بارگیری متقابل استفاده کرده اند. بتازگی، کینگ و چن (2008) دو روش، یک مدل بارگیری متقابل و یک مدل انبارداری سنتی را، به منظور متناسب کردن تولید و توزیع برای کاهش هزینه های مربوطه در زنجیره عرضه توسعه داده اند.

از طرف دیگر، مساله کلاسیک مسیرگزینی وسایل (VRP)، شامل خدمت به مجموعه ای از مشتریان با تقاضاهای معلوم با ناوگان وسایل نقلیه از یک مرکز توزع واحد می باشد. هدف VRP کمینه کردن فاصله کلی و شمار وسایل نقلیه است که ماموریت خود را در انبار مرکزی آغاز و پایان می دهند. موشیوف (1998) گفته است که بسیاری از کاربردهای VRP، شامل سرویس های برداشتن و تحویل کالا، مساله برداشتن و تحویل کالا (PDP) نامیده می شوند. در یک VRP، ارضای نیازهای دو نوع خاص مشتریان الزامی است: مشتریان متقاضی و مشتریان عمده فروش. مشتریان متقاضی به یک محموله از یک انبار یا مشتریان عمده فروش دیگر نیاز دارند. مشتریان عمده فروش به حمل کالاها به بیرون نیاز دارند. هدف مساله یافتن ماموریت با کمترین طول مسافت برای یک وسیله بارگیری شده است که طول ماموریت از انباری با کالاهای کافی برای ارضای نیاز مشتریان شروع شده، در شبکه به منظور تحویل کالاها به مشتریان متقاضی حرکت کرده و کالاها را از مشتریان عمده فروش جمع آوری می کند (Tzoreff, Granot, Granot, & Sosic, 2002).

همانطور که در بالا بحث شد، اگرچه مطالعات زیادی روی بارگیری متقابل و VRP وجود دارد، مقالات کمی موجود است که هر دو مورد بارگیری متقابل و VRP را همزمان در نظر گرفته باشند. بکارگیری بارگیری متقابل در یک کار VRP با اهمیت است، زیرا این مساله در عمل خیلی متداول است. کار لی، ژونگ و لی (2006) احتمالاً اولین کاری است که هر دو مورد بارگیری متقابل و VRP را در نظر می گیرد. آنان یک جستجوی بازدارنده (TS) را برای تعیین شمار وسایل نقلیه و برنامه مسیرگزینی بهینه وسایل در بارگیری متقابل پیشنهاد نموده اند تا مجموع هزینه انتقال و هزینه ثابت وسایل نقلیه را کمینه نماید. در این مقاله، یک الگوریتم جستجوی بازدارنده (TS) جدید توسعه داده شده است و مقایسه بازدهی آن با کار لی و همکاران ارائه شده است.

بقیه این مقاله به صورت زیر سازمان یافته است. تشریح مساله ر بخش 2 ارائه شده است. الگوریتم جستجوی بازدارنده (TS) پیشنهادی در بخش 3 آمده است. بخش 4 شامل تمام آزمایشات محاسباتی و بخش 5 شامل نتایج و بحث است.

2. تشریح مساله

براساس بارباروسوگلو و ازگور (1999)، طرح حمل و نقل بهینه می تواند با زیربهرینه سازی های چندگانه در مدیریت زنجیره عرضه جایگزین شود، زیرا مسایل نقلیه اختصاص یافته به یک مرکز توزیع مشخص، ناحیه گسترده ای را پوشش می دهند. بنابراین، یک شبکه توزیع با تنها یک محل بارگیری متقابل، در این مقاله در نظر گرفته شده است. مساله موردنظر در شکل 2 تشریح شده است که فرض بر این است که تمام وسایل در محل بارگیری متقابل قرار دارند و تحویل جداگانه مجاز نیست. در شکل، یک مثلث مربوط به عمده فروش و چرخه منتهی به خرده فروش است. وسایل نقلیه برداشت کننده کالا از محل بارگیری متقابل شروع نموده و به طور همزمان به محل بارگیری متقابل می رسند. سپس وسایل تحویلی به سمت خرده فروشان می روند و پس از تکمیل ماموریت به محل بارگیری متقابل بازمی گردند. هدف مساله تعیین شمار وسایل نقلیه و بهترین مسیرگزینی، به گونه ای است که زمان حضور هر وسیله باعث کمینه کردن مجموع هزینه عملیاتی و انتقال شود.

در این مقاله نمادهای زیر استفاده شده است:

n : تعداد گره ها (عمده فروش ها یا خرده فروش ها) در شبکه نمادین.

m : تعداد وسایل در دسترس که همگی یکسان هستند.

Q : ظرفیت وسیله که برای تمام وسایل یکسان است.

pi : ظرفیت بارگیری در گره برداشت i .

di : ظرفیت تخلیه بار در گره تحویل i .

cij : هزینه انتقال از گره i به گره j .

tij : زمان انتقال بین گره i و گره j .

ok : هزینه عملیاتی وسیله k .

T : مدت برنامه ریزی.

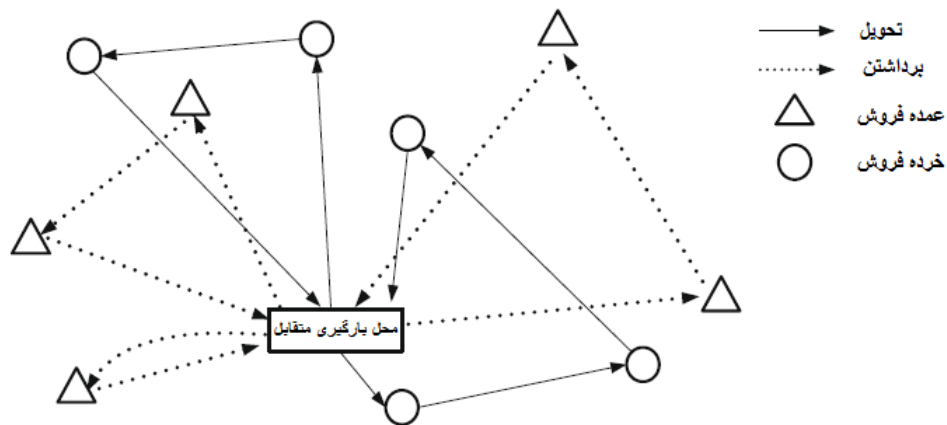
محدودیت های مساله به صورت زیر است:

1. زمان انتقال برای فرایند برداشت و تحویل باید کمتر T دقیقه باشد.

2. هر عمده فروش یا خرده فروش فقط می تواند یک بار برداشت یا تحویل کالا داشته باشد.
3. وسایل برداشت کالا باید به طور همزمان به مکان بارگیری متقابل برسند.
4. تعداد وسایل بهره گیری شده باید کمتر یا مساوی با m باشد.
5. مقدار کلی برداشت کالا باید با مقدار تحویل کلی برابر باشد.
6. برای هر وسیله، بار موجود در مسیر برداشت و تحویل نباید بیش از ظرفیت وسیله باشد.

3. روش جستجوی بازدارنده

چون مساله موردنظر NP-hard است (Lee et al., 2006)، روش های ابتکاری برای جستجوی راه حل امکانپذیرتر استفاده شده است. با استفاده از رویکرد مشابه لی و همکاران (2006)، جستجوی بازدارنده (TS) به عنوان روش حل استفاده شده است زیرا یکی از بهترین روش های ابداعی در دسترس برای حل VRPهاست (Cordeau, Gendreau, Laporte, Potvin, & Semet, 2002; Wen et al., 2008). به طور کلی، TS شامل حداقل پنج عنصر است: یک حل اولیه، یک ساختار همسایگی، مقیاس توقف، لیست بازدارنده و مقیاس انتظار. با شروع از یک حل اولیه، TS از حل X به حل دیگر X' در همسایگی X حرکت می کند تا زمانی که یک مقیاس توقف مشخص ارضا شود. لیست بازدارنده شامل حل هایی است که اخیراً مشاهده شده است. در حرکت TS، از حل های مشاهدات اخیر صرف نظر می شود تا از بهینه محلی و جستجوی چرخه ای اجتناب شود. علاوه بر این، مقیاس انتظار برای ابطال یک لیست بازدارنده حین حرکت بازدارنده فریبنده استفاده می شود. در زیر طرحی را برای تولید یک حل اولیه برای مساله موردنظر پیشنهاد کرده ایم. در طرح حل اولیه، فقط کامیون با بار کامل به منظور بهره گیری کامل از ظرفیت وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است.



شکل 2. شبکه پیشنهادی برای یک بارگیری متقابل واحد.

1.3. طرح حل اولیه

1. فرایند برداشتن کالا

1.1. محاسبه تعداد کمینه وسایل $\underline{v} = \lceil \sum p_i / Q \rceil$

1.2. دنباله وسایل نقلیه به ترتیب نزولی فضای باقیمانده. فرض کنید $v, \dots, 2; 1; j$ وسیله S_j زام در دنباله باشد.

1.3. اگر تمام گره ها تعیین شود، به گام 1.8 بروید؛ در غیراینصورت ادامه دهید.

1.4. فرض کنید i نزدیکترین گره نامشخص به وسیله S_j باشد.

1.5. اگر زمان اتمام کار وسیله S_j کمتر یا برابر با r باشد ظرفیت باقیمانده وجود دارد، پس گره i را به وسیله S_j اختصاص داده و به گام 1.2 بروید. در غیراینصورت، $j = j + 1$ انتخاب کنید.

1.6. اگر $j < \bar{v} + 1$ باشد به گام 1.4 بروید؛ در غیراینصورت ادامه دهید.

1.7. $\underline{v} = \bar{v} + 1$ انتخاب کنید و به گام 1.2 بروید.

1.8. متوقف کنید.

2. فرایند تحویل.

2. 1. فرض کنید ۲ برابر T منهای زمان اتمام کار فرایند برداشتن کالا باشد.

2. 2. رویه مشابه فرایند برداشتن کالا را برای اختصاص خرده فروشان به وسایل نقلیه باقیمانده تکرار نمایید.

همانطور که در بالا نشان داده شد، طرح حل اولیه شامل دو گام است. گام 1 عمده فروشان را به وسایل اختصاص داده و گام 2 خرده فروشان را به وسایل در دسترس اختصاص می دهد. در گام 1. 1، تعداد کمینه وسایل نقلیه با مقدار کلی برداشت کالا تقسیم بر ظرفیت وسیله محاسبه شده است. گام های 1. 1 - 2. 1. 4 بدیهی هستند. زمان اتمام کار در گام 1. 5 زمانی را نشان می دهد که وسیله J از محل بارگیری متقابل شروع کرده و در همانجا ماموریتش را تمام می کند. گام 1. 5 برای تعیین نزدیکترین گره A به وسیله J ام است. اگر تعیین شود، سپس وسیله J در گره A متوقف خواهد شد؛ در غیر اینصورت وسیله بعدی در گام 1. 6 در نظر گرفته می شود. اگر هیچ وسیله ای با موفقیت اختصاص نباید، سپس همانطور که در گام 1. 7 توضیح داده شده، یک وسیله خالی اضافه می شود. گام های 1. 1 - 2. 1 تا زمانی تکرار می شوند که گره ها تخصیص یابند. پس از اتمام فرایند برداشت کالا، فرایند تحویل در گام 2 ادامه می یابد، که محدودیت زمانی بروزرسانی می شود و رویه مشابه فرایند برداشت کالا برای اختصاص خرده فروشان به وسایل باقیمانده تکرار می شود.

پس از دستیابی به حل اولیه، الگوریتم TS برای تنظیم درست حل توسعه می یابد. ایده اساسی الگوریتم TS پیشنهادی، دستیابی به هزینه کلی حداقل با آرایش مداوم گره ها از وسیله ای به وسیله دیگر است. دو اختلاف اصلی بین الگوریتم TS پیشنهادی و الگوریتم لی و همکاران (2006) وجود دارد. اولاً، ما هر دفعه یک گره واحد را به هر وسیله اختصاص می دهیم، در حالی که لی و همکاران تلاش دارند تا گره ها بین دو وسیله مبادله کنند. دوماً، امکان حذف وسیله خالی در الگوریتم TS پیشنهادی فراهم شده است، در حالی که این امکان در کار لی و همکاران وجود ندارد.

جزئیات گام های الگوریتم TS پیشنهادی به صورت زیر است، که اندازه بازدارنده برابر با 3 است.

3. 2. الگوریتم TS پیشنهادی

1. حل اولیه را با استفاده از طرح حل اولیه گفته شده پیشین تولید نمایید.

فرض کنید r برابر با T منهای زمان اتمام کار ناوگان برداشت کالا باشد و $Z = 0$.

2. اگر Z بیشتر از 200 باشد، به گام 10 بروید؛ در غیراینصورت ادامه دهید.

اگر ناوگان تحویل فقط شامل یک وسیله نقلیه باشد $x = 0, y = 0$ ، بگیریید و به گام 3 بروید؛ در غیراینصورت به گام 4 بروید.

3. گام های زیر را تا جایی که $y > 20$ تکرار نمایید.

3. 1. اگر $x > 20$ باشد به گام 3. 3 بروید.

به صورت تصادفی دو موقعیت 11 و 12 را در ماموریت وسیله انتخاب کنید. گره ها را در 11 و 12 تعویض نمایید.

3. 2. اگر زمان تکمیل جدید بیشتر یا مساوی r باشد، $x = x + 1$ انتخاب کنید و گام 3. 1 بروید.

هر وقت که گره i به موقعیت j تخصیص یابد، هر ورودی f_{ij} در ماتریس فراوانی را به اندازه 1 افزایش دهید.

اگر هزینه حمل و نقل جدید کمتر است، سپس حل لازم را بروزرسانی نمایید، 11 را به لیست بازدارنده اضافه نموده و $x = x + 1$ را انتخاب کنید. به گام 3. 1 بروید.

3. 3. f_{ij} بیشینه را از ماتریس فراوانی انتخاب کنید و گره i را به موقعیت j اختصاص دهید. سطر i و ستون j را حذف

نموده و f_{ij} بیشینه باقیمانده را انتخاب کنید. رویه را تا جایی که تمام گره ها مشخص شوند ادامه دهید.

ماموریت جدید وسیله نقلیه را همانند گام 3. 1 انتخاب نمایید. $x = 0$ و $y = y + 1$ انتخاب کنید.

4. اگر ناوگان تحویل کالا فقط شامل یک وسیله باشد، سپس $Z = Z + 1$ انتخاب نموده و به گام 2 بروید.

به صورت تصادفی دو وسیله $k1$ و $k2$ را در ناوگان تحویل انتخاب نمایید. به صورت تصادفی یک گره i از $k1$ را انتخاب کنید.

5. اگر فضای کافی در $k2$ وجود دارد، گره i را به موقعیت بعداز آخرین گره در $k2$ اختصاص داده و وسیله خالی را

حذف نمایید؛ در غیراینصورت، $Z = Z + 1$ انتخاب کنید و ناوگان تحویل را احیا نموده و به گام 2 بروید.

6. v - را تعداد وسایل در ناوگان تحویل بگیریید.

$v, \dots; 2; 1; j, S_j$ را وسیله j ام در ناوگان تحویل بگیریید.

گام های زیر را تا زمانی که $S_j > \bar{v} + 1$ تکرار نمایید.

6.1. اگر زمان اتمام کار S_j کمتر یا برابر با r باشد، به گام 4.6 بروید؛ در غیر این صورت $X = 0$ بگیرید و ادامه دهید.

6.2. اگر $X = 70$ باشد، به گام 4.6 بروید.

به طور تصادفی دو موقعیت I_1 و I_2 را در S_j انتخاب نمایید.

گره ها را در I_1 و I_2 تعویض نمایید.

6.3. اگر زمان اتمام S_j بیشتر از r باشد، $X = X + 1$ انتخاب نمایید؛ در غیر این صورت حل لازم (S_j) را بروزرسانی

نمایید، I_1 را به لیست بازدارنده اضافه نموده و $X = 0$ بگیرید.

به گام 3.6 بروید.

6.4. $Z = Z + 1$ انتخاب کنید.

7. اگر زمان اتمام کار یک وسیله در ناوگان تحویل بیشتر یا برابر با r باشد، ناوگان تحویل را همانند گام 4 احیا نموده،

$Z = Z + 1$ انتخاب نمایید و به گام 4 بروید.

8. هزینه کلی ناوگان تحویل را با استفاده از رویه مشابه گام 3 کاهش دهید.

9. اگر هزینه کلی ناوگان تحویل کمتر است، حل لازم را بروز نمایید. در غیر این صورت ناوگان تحویل را همانند گام 4

احیا نموده و $Z = Z + 1$ انتخاب کنید.

به گام 2 بروید.

10. r را برابر با T منهای زمان اتمام کار ناوگان تحویل گرفته و $Z = 0$ انتخاب نمایید.

هزینه کلی ناوگان برداشت کالا را با استفاده از رویه مشابه گام های 2-9 کاهش دهید.

الگوریتم **TS** پیشنهادی در پارگراف های زیر بیشتر تشریح شده است. اولاً، Z و X بترتیب نشان دهنده تعداد

تکرارهای گره های تبدالی در یک ناوگان و در یک ماموریت انتقال کالا می باشد، درحالی که Y تعداد تکرارهای

تولیدکننده یک ماموریت جدید است. با بروزرسانی r و انتخاب $Z = 0$ ، گام 1 باعث تولید یک حل امکانپذیر می

شود. پارامتر r به عنوان محدودیت زمانی و Z به عنوان تعداد تکرارها در **TS** استفاده می شود. سپس گام 3 برای

کاهش هزینه حمل و نقل وسیله اجرا می شود. دو وظیفه در گام 3. 2 اجرا می شود: اولین وظیفه ثبت ماموریت یک وسیله در ماتریس فراوانی می باشد که یک ماتریس $n \times n$ برای یک ماموریت وسیله نقلیه با n گره است؛ وظیفه دوم تصمیم برای بروزرسانی یا عدم بروزرسانی حل لازم و لیست بازدارنده است. گام 3. 3 تشریح می کند که چگونه می توان از ماتریس فراوانی یک ماموریت وسیله را تولید کرد (Ben-Daya & Al-Fawzan, 1998). گام های 4 و 5 وظایف آرایش گره برای سایر وسایل را انجام می دهند. اگر آرایش جدید زمان تکمیل کار بیشتر از ۲ را نشان دهد، در گام 6 آن را کوتاه می کنیم. در گام 6. 3 دو موقعیت در یک ماموریت وسیله نقلیه مشخص، به طور تصادفی انتخاب شده است و گره ها در دو موقعیت تعویض شده است. اگر زمان اتمام کار کمتر باشد، حل لازم و لیست بازدارنده بروز شده و X بازنشانی می شود. در گام 7، اگر زمان اتمام کار وسیله بیشتر از ۲ باشد، ناوگان تحویل همانند گام 4 بازنشانی خواهد شد؛ در غیر این صورت، هزینه کلی در گام 8 کاهش خواهد یافت. گام 9 به دنبال آن تعیین می کند که آرایش جدید پذیرفته است یا خیر. گام های 2-9 تا زمانی که Z بیشتر از 200 باشد تکرار خواهند شد. پس از اتمام کار ناوگان تحویل، رویه مشابهی برای کاهش هزینه کلی ناوگان برداشت کالا در گام 11 اعمال می شود.

4. آزمایشات محاسباتی

در این بخش، بازدهی الگوریتم TS پیشنهادی در مقایسه با TS مربوط به لی و همکاران (2006) ارزیابی شده است. برای داشتن مقایسه مناسب، هردو الگوریتم TS در جاوا کد زده شده و در یک پردازنده Pentium IV Intel at 3.2 GHz تحت Windows XP با 512 MB RAM اجرا شده است.

جدول 1: مقادیر پارامترها

	مسئله 1	مسئله 2	مسئله 3
n	10	30	50
m	10	20	30
T	960	960	960
Q	70	150	150
o_k	1000	1000	1000
t_{ij}	U(20,200)	U(20,200)	U(20,200)
c_{ij}	U(48,560)	U(48,480)	U(48,560)
p_i, d_i	U(5,50)	U(5,20)	U(5,30)
تعداد عمده فروشان	4	7	12
تعداد خرده فروشان	6	23	38

جدول 2: مقایسه هزینه کلی طرح حل اولیه و الگوریتم TS.

Inst.	Initial solution			TS			PI		
	10	30	50	10	30	50	10	30	50
1	8436.0	11726.0	22964.0	6847.6	7692.9	20704.6	18.8	34.4	9.8
2	9540.0	11752.0	25946.0	6816.8	7787.2	20816.8	28.5	33.7	19.8
3	12114.0	12147.0	22496.0	9615.6	7893.6	19612.2	20.6	35.0	12.8
4	9024.0	11481.0	23967.0	7289.7	7792.2	19549.0	19.2	32.1	18.4
5	9827.0	11811.0	24330.0	6599.0	7224.8	20448.0	32.8	38.8	16.0
6	11105.0	11176.0	24458.0	9324.6	7245.9	21212.0	16.0	35.2	13.3
7	13357.0	12125.0	25996.0	12083.0	8206.9	20640.2	9.5	32.3	20.6
8	9498.0	11374.0	23936.0	8719.6	7880.9	20664.1	8.2	30.7	13.7
9	8947.0	10957.0	23638.0	7362.2	8157.3	18920.0	17.7	25.6	20.0
10	7731.0	12808.0	24204.0	6204.5	7924.7	20384.2	19.7	38.1	15.8
11	8722.0	11441.0	23623.0	7635.3	7452.6	19941.6	12.5	34.9	15.6
12	9770.0	10867.0	20581.0	7867.2	8320.0	17258.4	19.5	23.4	16.1
13	8384.0	12024.0	20857.0	7097.9	8222.7	17829.9	15.3	31.6	14.5
14	5546.0	11710.0	24615.0	5208.0	8211.7	19845.2	6.1	29.9	19.4
15	8085.0	12172.0	25405.0	7103.2	8144.6	21863.0	12.1	33.1	13.9
16	9689.0	10268.0	22843.0	8768.7	7451.7	20144.2	9.5	27.4	11.8
17	9424.0	13422.0	24639.0	9003.0	8086.2	20093.3	4.5	39.8	18.4
18	8393.0	11546.0	24129.0	6887.5	7576.0	20244.8	17.9	34.4	16.1
19	8557.0	11758.0	22777.0	7123.0	7871.2	19955.0	16.8	33.1	12.4
20	12586.0	11898.0	22363.0	10471.0	7883.7	19267.7	16.8	33.7	13.8
21	7258.0	12515.0	23879.0	5431.4	7914.1	19533.4	25.2	36.8	18.2
22	8796.0	12916.0	23667.0	6908.0	8005.3	19032.1	21.5	38.0	19.6
23	10212.0	10973.0	24663.0	9224.1	7883.5	20562.5	9.7	28.2	16.6
24	11976.0	11507.0	19877.0	11976.0	7731.2	19288.2	0.0	32.8	3.0
25	8899.0	11514.0	21819.0	6638.0	7884.8	19695.9	25.4	31.5	9.7
26	9943.0	12458.0	22176.0	7216.9	8001.6	20610.5	27.4	35.8	7.1
27	11749.0	12641.0	22679.0	9709.8	8899.4	18942.8	17.4	29.6	16.5
28	9267.0	10131.0	22814.0	7408.0	10131.0	20097.3	20.1	0.0	11.9
29	7583.0	12952.0	24034.0	6748.5	8276.9	22248.1	11.0	36.1	7.4
30	9170.0	11433.0	24007.0	7304.4	8251.6	19321.9	20.3	27.8	19.5
Avg.	9452.9	11783.4	23446.1	7886.4	8000.2	19957.6	16.7	31.8	14.7

برای کار لی و همکاران (2006)، مقادیر پارامترها در جدول 1 ارائه شده است، که مدت برنامه ریزی برای تمام مسائل 960 دقیقه فرض شده است و هزینه عملیاتی هر وسیله نقلیه 1000 بوده است. تعداد وسایل موجود برای سه مساله بترتیب 10، 20 و 30 بوده است. هزینه انتقال و زمان انتقال بین دو عمده فروش یا دو خرده فروش به صورت نامتقارن تولید شده است. مقادیر بارگزاری و باگیری با توزیع های یکنواخت گسسته تولید شده است. قبل از اجرای یک آزمایش رسمی، تعیین مقادیر پارامترهای مناسب برای الگوریتم پیشنهادی ضروری است. برای تعیین مقادیر ۲، با شروع از 380 تا 600 دقیقه، با نمو 10 دقیقه آزمایش شده است. براساس نتایج آزمایش، بهترین مقادیر پارامتر ۲ بترتیب برای سه مساله 390، 560 و 410 بوده است. سپس درصد بهبود () به عنوان معیار بازدهی استفاده شده و با معادله زیر محاسبه شده است:

$$PI = 100 \times (\text{هزینه کلی روش لی} / \text{هزینه کلی روش پیشنهادی} - \text{هزینه کلی روش لی})$$

آزمایش اول برای ارزیابی الگوریتم TS پیشنهادی همراه با طرح حل اولیه جایگذاری شده اجرا شده است که 30 مورد برای هر کدام از سه مساله اجرا شده است. برای هر مورد، 10 تکرار انجام شده و میانگین ثبت شده است. جداول 2 و 3 حل ها و زمان های محاسبه را برای هر دو مورد طرح حل اولیه و الگوریتم TS نشان می دهد. طرح حل اولیه با نتایج قابل ملاحظه می تواند یک حل امکانپذیر خوب را در زمانی کوتاه پیدا کند، و الگوریتم TS می تواند

بترتیب با بهبود میانگین $16/7\%$ ، $31/8\%$ و $14/7\%$ برای سه مساله، باعث بهبود بیشتر حل شود. دلیل اصلی اینکه TS پیشنهادی عملکرد بهتری از TS لی و همکاران دارد این است که اولی با تلاش برای کاهش تعداد وسایل موردنیاز به کار خود ادامه می دهد، درحالی که در روش دوم تعداد وسایل ثابت و برابر با مقدار حل اولیه است.

جدول 3. مقایسه زمان محاسبه طرح حل اولیه و الگوریتم TS.

Inst.	Initial solution			TS		
	10	30	50	10	30	50
1	0.00	0.00	0.00	0.22	0.37	0.49
2	0.00	0.00	0.00	0.23	0.16	0.64
3	0.00	0.00	0.00	0.19	0.43	0.30
4	0.00	0.00	0.00	0.27	0.23	0.44
5	0.00	0.00	0.00	0.21	0.39	0.61
6	0.00	0.00	0.00	0.03	0.22	0.56
7	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.55
8	0.00	0.00	0.00	0.04	0.16	0.42
9	0.00	0.00	0.00	0.25	0.16	0.38
10	0.00	0.00	0.00	0.36	0.20	0.52
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.37
12	0.00	0.00	0.00	0.24	0.16	0.17
13	0.00	0.00	0.00	0.24	0.15	0.16
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.53
15	0.00	0.00	0.00	0.41	0.38	0.55
16	0.00	0.00	0.00	0.03	0.28	0.30
17	0.00	0.00	0.00	0.06	0.34	0.44
18	0.00	0.00	0.00	0.19	0.28	0.53
19	0.00	0.00	0.00	0.03	0.36	0.28
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.36
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.61
22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.35	0.37
23	0.00	0.00	0.00	0.11	0.38	0.51
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.05
25	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.33
26	0.00	0.00	0.00	0.03	0.16	0.14
27	0.00	0.00	0.00	0.06	0.17	0.31
28	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.39
29	0.00	0.00	0.00	0.18	0.38	0.20
30	0.00	0.00	0.00	0.09	0.28	0.65
Avg.	0.00	0.00	0.00	0.12	0.26	0.41

جدول 4. مقایسه هزینه کلی الگوریتم TS پیشنهادی و لی و همکاران (2006)

Inst.	Lee et al.'s TS			Proposed TS			PI		
	10	30	50	10	30	50	10	30	50
1	7571.4	12366.7	24284.6	6847.6	7692.9	20704.6	9.6	37.8	14.7
2	7103.7	14173.0	23435.6	6816.8	7787.2	20816.8	4.0	45.1	11.2
3	9993.5	13836.8	23449.4	9615.6	7893.6	19612.2	3.8	43.0	16.4
4	8338.0	10995.4	23471.1	7289.7	7792.2	19549.0	12.6	29.1	16.7
5	8709.9	11757.8	23406.2	6599.0	7224.8	20448.0	24.2	38.6	12.6
6	9143.5	11027.7	24026.6	9324.6	7245.9	21212.0	-2.0	34.3	11.7
7	12721.2	11899.2	24190.0	12083.0	8206.9	20640.2	5.0	31.0	14.7
8	9275.7	12825.5	23158.9	8719.6	7880.9	20664.1	6.0	38.6	10.8
9	8096.5	12718.6	23594.7	7362.2	8157.3	18920.0	9.1	35.9	19.8
10	7044.8	11794.7	23530.5	6204.5	7924.7	20384.2	11.9	32.8	13.4
11	8051.8	12094.9	23371.7	7635.3	7452.6	19941.6	5.2	38.4	14.7
12	8661.0	12132.5	21082.8	7867.2	8320.0	17258.4	9.2	31.4	18.1
13	7370.2	13223.4	21610.7	7097.9	8222.7	17829.9	3.7	37.8	17.5
14	7132.3	12413.9	23397.9	5208.0	8211.7	19845.2	27.0	33.9	15.2
15	7563.4	12521.4	24041.9	7103.2	8144.6	21863.0	6.1	35.0	9.1
16	9983.6	12044.4	22893.4	8768.7	7451.7	20144.2	12.2	38.1	12.0
17	9538.1	12699.4	22950.4	9003.0	8086.2	20093.3	5.6	36.3	12.4
18	8057.4	11001.4	24358.2	6887.5	7576.0	20244.8	14.5	31.1	16.9
19	9042.6	12724.4	25068.7	7123.0	7871.2	19955.0	21.2	38.1	20.4
20	10478.0	12357.7	23232.1	10471.0	7883.7	19267.7	0.1	36.2	17.1
21	8380.5	13177.0	22564.8	5431.4	7914.1	19533.4	35.2	39.9	13.4
22	9016.9	11545.0	24360.7	6908.0	8005.3	19032.1	23.4	30.7	21.9
23	9489.2	12308.1	24377.8	9224.1	7883.5	20562.5	2.8	35.9	15.7
24	12513.6	12722.7	22008.7	11976.0	7731.2	19288.2	4.3	39.2	12.4
25	7114.3	12844.9	24256.6	6638.0	7884.8	19695.9	6.7	38.6	18.8
26	8421.3	13297.5	23424.9	7216.9	8001.6	20610.5	14.3	39.8	12.0
27	10666.8	13415.2	22961.4	9709.8	8899.4	18942.8	9.0	33.7	17.5
28	10123.3	12613.0	23822.3	7408.0	10131.0	20097.3	26.8	19.7	15.6
29	7503.2	12840.8	23678.3	6748.5	8276.9	22248.1	10.1	35.5	6.0
30	7642.6	13796.2	23149.8	7304.4	8251.6	19321.9	4.4	40.2	16.5
Avg.	8824.9	12505.6	23438.7	7886.4	8000.2	19957.6	10.6	36.0	14.9

جدول 5. مقایسه زمان محاسبه الگوریتم TS پیشنهادی و لی و همکاران (2006).

Inst.	Lee et al.'s TS			Proposed TS			PI		
	10	30	50	10	30	50	10	30	50
1	1.52	3.00	5.69	0.22	0.37	0.49	85.5	87.7	91.4
2	1.74	3.55	5.73	0.23	0.16	0.64	86.8	95.5	88.8
3	2.37	4.32	5.80	0.19	0.43	0.30	92.0	90.0	94.8
4	1.60	2.09	5.87	0.27	0.23	0.44	83.1	89.0	92.5
5	2.28	2.26	7.28	0.21	0.39	0.61	90.8	82.7	91.6
6	1.82	2.10	5.38	0.03	0.22	0.56	98.4	89.5	89.6
7	2.80	2.61	7.65	0.01	0.11	0.55	99.6	95.8	92.8
8	1.85	3.00	9.88	0.04	0.16	0.42	97.8	94.7	95.7
9	2.04	3.10	5.54	0.25	0.16	0.38	87.7	94.8	93.1
10	1.82	2.38	5.77	0.36	0.20	0.52	80.2	91.6	91.0
11	1.80	3.03	5.37	0.00	0.29	0.37	100.0	90.4	93.1
12	1.72	2.64	4.46	0.24	0.16	0.17	86.0	93.9	96.2
13	1.54	2.92	4.62	0.24	0.15	0.16	84.4	94.9	96.5
14	1.53	2.76	5.44	0.00	0.18	0.53	100.0	93.5	90.3
15	1.61	3.06	6.31	0.41	0.38	0.55	74.5	87.6	91.3
16	2.05	3.15	5.18	0.03	0.28	0.30	98.5	91.1	94.2
17	2.29	2.14	6.93	0.06	0.34	0.44	97.4	84.1	93.7
18	1.74	1.70	6.25	0.19	0.28	0.53	89.1	83.5	91.5
19	2.21	2.77	5.68	0.03	0.36	0.28	98.6	87.0	95.1
20	2.55	2.72	4.79	0.00	0.24	0.36	100.0	91.2	92.5
21	2.06	3.39	5.43	0.00	0.26	0.61	100.0	92.3	88.8
22	2.42	2.43	6.04	0.01	0.35	0.37	99.6	85.6	93.9
23	2.31	2.93	5.88	0.11	0.38	0.51	95.2	87.0	91.3
24	2.64	2.87	5.36	0.00	0.48	0.05	100.0	83.3	99.1
25	1.68	2.67	5.76	0.10	0.20	0.33	94.0	92.5	94.3
26	2.04	3.31	5.05	0.03	0.16	0.14	98.5	95.2	97.2
27	2.47	3.25	5.17	0.06	0.17	0.31	97.6	94.8	94.0
28	2.69	2.60	5.56	0.01	0.00	0.39	99.6	100.0	93.0
29	1.73	3.28	64.84	0.18	0.38	0.20	89.6	88.4	99.7
30	1.83	3.78	5.91	0.09	0.28	0.65	95.1	92.6	89.0
Avg.	2.02	2.86	7.82	0.12	0.26	0.41	94.1	90.9	94.8

سپس آزمایش دوم برای مقایسه TS پیشنهادی با TS لی و همکاران (2006) با 30 مورد برای هر مساله انجام شده است. مقدار هر مورد از میانگین 10 تکرار گزارش شده است. نتایج مقایسه حل و زمان محاسبه در جداول 4 و 5 خلاصه شده است، که نشان می دهد الگوریتم TS پیشنهادی نتایج بهتری را در کنار زمان محاسبه کمتر دارد. بهبودهای میانگین برای سه مساله بترتیب 10/6٪، 36٪ و 14/9٪ است. برای زمان محاسبه، الگوریتم لی و همکاران به ترتیب به 2/02، 2/86 و 7/82 ثانیه نیاز داشته است و الگوریتم پیشنهادی به ترتیب به 0/12، 0/26 و 0/41 ثانیه نیاز داشته است. در نتیجه، الگوریتم TS پیشنهادی ما کارکرد بهتری از الگوریتم TS لی و همکاران دارد.

5. نتیجه و بحث

اگرچه بارگیری متقابل به طور گسترده بین سازندگان و کمپانی ها خرده فروش انجام شده و مفید واقع شده است، مطالعات خیلی کمی روی مساله اجتماع وسایل نقلیه و بارگیری متقابل وجود دارد. لی و همکاران (2006) اولین کسانی هستند که یک مدل جامع برای این مساله ارائه داده اند. استراتژی آنان ادغام تمام کالاهای دریافتی از عمده فروشان در محل بارگیری متقابل و ارسال آنها به مشتریان است، که نیاز به گسترش الگوریتم با ادغام همزمان فریندهای برداشتن و تحویل کالا را نشان داده است. در این مطالعه، ما یک الگوریتم TS جدید را پیشنهاد کرده ایم که یک روش کاملا متفاوت را پیش می گیرد. نتایج محسبات نشان می دهد که الگوریتم TS پیشنهادی حلی بهتر با زمان محسبات کمتر دارد. بهبود میانگین برای اندازه های مختلف مساله بین 10-36٪ است. دلیل اصلی اینکه TS پیشنهادی عملکرد بهتری از TS لی و همکاران دارد، این است که اولی با تلاش برای کاهش تعداد وسایل موردنیاز به کار خود ادامه می دهد، درحالی که در روش دوم تعداد وسایل ثابت و برابر با مقدار حل اولیه است. به عنوان فعالیت تحقیق پیش رو، الگوریتم پیشنهادی می تواند گسترش بیشتری برای مواردی داشته باشد که محدودیت های زمانی دریافت برای هر عمده فروش یا خرده فروش وجود داشته باشد. همچنین برای استفاده عملی در کاربردهای تجاری واقعی، تحقیق گسترده دیگر مربوط به توسعه مدلی است که قابلیت تحویل مجزا داشته باشد. اگر تحویل ها مجزا شوند، می توانیم به بهره وری بیشتری از وسایل نقلیه دست یابیم. تحقیق عمده بیشتر شامل ترکیب مساله مسیرگزینی وسایل و بارگیری متقابل در یک سیستم لجیستیک معکوس برای استفاده دوباره از محصولات و مواد است.

References

- Apte, U. M., & Viswanathan, S. (2000). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *International Journal of Logistics*, 3, 291–302.
- Barbarosoglu, G., & Ozgur, D. (1999). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 26, 255–270.
- Ben-Daya, M., & Al-Fawzan, M. (1998). A tabu search approach for the flow shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 109, 88–95.
- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512–522.
- Dobos, I. (2003). Optimal production-inventory strategies for HMMS-type reverse logistics system. *International Journal of Production Economics*, 81–82, 351–360.
- Gumus, M., & Bookbinder, J. H. (2004). Cross-docking and its implications in location-distribution systems. *Journal of Business Logistics*, 25, 199–299.
- Kreng, V. B., & Chen, F. T. (2008). The benefits of a cross-docking delivery strategy: A supply chain collaboration approach. *Production Planning and Control*, 19, 229–241.
- Lee, Y. H., Jung, W. J., & Lee, K. M. (2006). Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain. *Computer and Industrial Engineering*, 51, 247–256.
- Mosheiov, G. (1998). Vehicle routing with pick-up and delivery: Tour-partitioning heuristics. *Computers and Industrial Engineering*, 34, 669–684.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and managing the supply chain*. New York: McGraw-Hill.
- Sung, C. S., & Song, S. H. (2003). Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 1283–1295.
- Tzoreff, T. E., Granot, D., Granot, F., & Sosic, G. (2002). The vehicle routing problem with pickups and deliveries on some special graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 119, 193–229.
- Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2008). Vehicle routing with cross-docking. *Journal of the Operational Research Society*. doi:10.1057/jors.2008.108 [advance online publication].