



افزایش قدرت رقابت در صنعت حمل و نقل ریلی از طریق کاهش هزینه های تخلیه و بارگیری

حمید رضا احدی^۱، اردشیر دولتی^۲، صدیقه اسکندری راد^۳

^۱ استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن؛ ahadi@iust.ac.ir

^۲ استادیار، دانشگاه شاهد، دانشکده علوم پایه، گروه ریاضی؛ dolati@shahed.ac.ir

^۳ کارشناس ارشد، دانشگاه شاهد، دانشکده علوم پایه، گروه ریاضی؛ eskandari@shahed.ac.ir

چکیده

هزینه های تخلیه و بارگیری یکی از اقلام مهم هزینه در صنعت حمل و نقل است. این نوع از هزینه ها در مواردی غیر قابل اجتناب و در مواردی قابل اجتناب هستند. هزینه های بارگیری در مبدا و هزینه های تخلیه در مقصد غیر قابل اجتناب هستند، در عین حال تکرار عملیات تخلیه و بارگیری در طول مسیر مبدا تا مقصد به دلیل تغییر وسیله حمل یا انتقال محموله به دیوهای واقع در طول مسیر منجر به افزایش قابل توجه این هزینه ها خواهد شد که در این موارد می توان با اتخاذ تدابیری از بروز هزینه های اضافی اجتناب نمود. هزینه های تخلیه و بارگیری متناسب با نوع محموله ها متفاوت هستند و معمولاً برای محموله های فله بیشتر از محموله های کانتینری محاسبه می گردند. هدف این مقاله بررسی عوامل موثر در این زمینه، حداقل کردن هزینه های تخلیه و بارگیری و ارائه توصیه هایی برای صنعت حمل و نقل ریلی کشور است. حداقل کردن این هزینه ها با استفاده از طراحی یک شبکه جریان و حل آن با روش های کلاسیک حل شبکه انجام می گیرد. بدین منظور کریدور ریلی شمال- جنوب کشور مورد بررسی قرار گرفته و در مسیر بندر عباس- تهران این هزینه ها بررسی و توصیه هایی برای کاهش این هزینه ها ارائه خواهد شد.

کلمات کلیدی: هزینه تخلیه و بارگیری، حداقل کردن هزینه، شبکه ریلی، محموله های کانتینری

مقدمه

یکی از اجزاء مهم هزینه های حمل و نقل، هزینه تخلیه و بارگیری است. این نوع هزینه ها به دلیل تغییر وسیله حمل و نقل در طول مسیر، بارگیری در مبدا و تخلیه در مقصد به وجود می آیند.

این نوع هزینه غالباً متأثر از تعداد دفعات تخلیه و بارگیری و کمتر متأثر از طول سفر است. همچنین افزایش دفعات تخلیه و بارگیری غالباً منجر به آسیب هایی به محموله می گردد و هزینه های مضاعفی را به صاحبان محموله یا شرکتهای حمل و نقل که مسولیت حمل محموله را به عهده دارند، وارد می کند.

در حال حاضر حمل زمینی محموله های وارداتی و صادراتی با استفاده از حمل و نقل جاده ای و ریلی صورت می گیرد. قیمت گذار خدمات حمل و نقل جاده ای غالباً بر اساس رقابت بین شرکتهای حمل و نقل جاده ای صورت می گیرد، در صنعت حمل و نقل ریلی نیز از سال ۱۳۸۴ با تشکیل ۲۹ شرکت ریلی خصوصی [۱] رقابت بیشتری در بین شرکت های فعال در عرصه حمل و نقل بار به وجود آمده است.

در همین راستا و به منظور حصول به موقعیت رقابتی بهتر، شرکتهای حمل و نقل ریلی تلاش گسترده ای را برای کاهش هزینه ها آغاز نموده اند و یکی از اقلام اصلی مورد توجه، هزینه های تخلیه و بارگیری است [۲ و ۳]

۱- سهم بازار حمل و نقل ریلی بار

امروزه سهم حمل و نقل ریلی از بازار حمل و نقل کشور حدود ۱۰ درصد و سهم حمل و نقل جاده ای حدود ۹۰ درصد است [۴]. این عدم تناسب به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم ترین آن گستردگی شبکه جاده ای و قیمت نازل هزینه انرژی در حمل و نقل جاده ای است.

با توجه به ویژگی های حمل و نقل ریلی از جمله مصرف بسیار کمتر انرژی به ازاء هر تن- کیلو متر ، سازگاری بیشتر با محیط ریست و ایمنی بیشتر لازم است تدابیری اتخاذ گردد تا سهم حمل و نقل ریلی از بازار حمل و نقل به میزان قابل توجهی افزایش یابد . مشکلات عمده ای که در حال حاضر در این زمینه وجود دارد عبارتند از :

۱-۱- قیمت غیر واقعی سوخت

در حال حاضر در کشور ما قیمت سوخت مشمول یارانه های دولتی است و اختلاف قابل توجه میزان مصرف در حمل و نقل جاده ای و ریلی از نظر هزینه ناچیز به نظر میرسد و به همین دلیل انگیزه کافی برای حمل بار توسط راه آهن و افزایش سهم بازار وجود ندارد.

در عین حال باید این مسله را مورد توجه قرارداد که در خواست ایران برای عضویت در سازمان تجارت جهانی مورد موافقت قرار گرفته است و در آینده نه چندان دور عضویت ایران در این سازمان قطعی خواهد شد. در چنین شرایطی یارانه های دولتی باید به تدریج حذف و قیمت ها واقعی اعمال گردند. در این شرایط اختلاف در میزان مصرف انرژی قطعاً مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۱-۲- محدودیت شبکه ریلی

بر اساس برآوردهای موجود در شرایط کنونی پاسخ به نیاز مشتریان حمل و نقل ریلی مستلزم برخورداری از حد اقل ۲۰۰۰۰ کیلومتر شبکه ریلی است ، در حالی که مجموع شبکه ریلی ایران در حال حاضر ۸۸۰۰ کیلومتر است. محدودیت شبکه موجود منجر به کاهش عرضه خدمات حمل و نقل ریلی ، طولانی شدن زمان سیر و محدودیت دسترسی به نقاط مختلف کشور شده است.

۱-۳- تعداد اندک قطارهای برنامه ایی :

یکی از مشکلاتی که در حال حاضر در راه استفاده از شبکه ریلی کشور وجود دارد تعداد اندک قطارهای برنامه ایی است. محدودیت ارائه خدمات ریلی برنامه ای ، منجر به عدم هماهنگی بین مد های مختلف حمل و نقل و بویژه بین راه آهن و حمل و نقل دریایی میگردد. تعداد اندک قطارهای برنامه ایی از یک سو و حجم زیاد محموله های وارده به بنادر کشور از سوی دیگر ، صاحبان محموله ها را به سمت استفاده از شبکه جاده ای هدایت میکند. در اغلب کشورهای توسعه یافته بنادر در قالب یکی از انواع قراردادهای زیر بار آهن همکاری می نمایند.

۱-۳-۱- قطارهای برنامه ای اختصاصی^۱

در این نوع قراردادها که بین شرکتهای حمل و نقل دریایی و راه آهن منعقد میگردد ، قطارهای برنامه ای متناسب با برنامه ورود و خروج کشتی های شرکت کریر اعزام میگرددند تا محموله های صادراتی یا وارداتی در کوتاه ترین زمان با راه آهن حمل شوند. در این نوع قراردادها کل ظرفیت قطار به محموله های شرکت حمل و نقل دریایی اختصاص می یابد.

^۱ - Dedicated Liner Train

۲-۳-۱- واگن های برنامه ای اختصاصی^۱

در مواقعی که ظرفیت محموله های وارده یا صادره کمتر از یک قطار کامل باشد، تعدادی از واگنهای قطار برنامه ای طی قراردادی به شرکت حمل و نقل دریایی اختصاص داده میشود.

۳-۳-۱- قطارهای برنامه ای عمومی^۲

قطارهای برنامه ای عمومی بر اساس برآوردی از حجم محموله های وارده و صادره از بنادر تنظیم می شوند و استفاده از ظرفیت این قطارها برای تمام صاحبان محموله آزاد است.

۴-۱- دسترسی محدود بنادر به راه آهن :

دسترسی محدود بنادر مهم کشور به راه آهن یکی دیگر از عوامل محدود کننده سهم باز حمل و نقل ریلی است. در موارد متعددی شرکتهای حمل و نقل دریایی از اعزام کشتی به بنداری که به شبکه راه آهن متصل نیستند خودداری مینمایند. در مواردی نیز محموله های وارده پس از ورود به بنداری که به راه آهن متصل نیستند با استفاده از جاده به ایستگاه های راه آهن منتقل میشوند و پس از تخلیه و بارگیری مجدد با استفاده از حمل و نقل ریلی حمل میشوند.

۲- فرآیند تخلیه و بارگیری در بنادر

روش های انتقال بار از دریا به خشکی:

انتقال بار از دریا به خشکی غالباً به یکی از دو روش زیر انجام می شود:

۱- روش مستقیم: در این روش، بار توسط جرثقیل های بندری مستقیماً از داخل کشتی تخلیه و به داخل قطار یا کامیون بارگیری می شود. این روش کم هزینه ترین روش از نظر هزینه های تخلیه و بارگیری است، زیرا با حذف تخلیه و بارگیری مجدد در دپو های واسطه در هزینه های تخلیه و بارگیری صرفه جویی میشود.

۲- روش غیر مستقیم: در این روش، بار توسط جرثقیل های بندری از داخل کشتی تخلیه و بر روی کامیون های بندری (فیدر) منتقل و تا محل دپو موقت که در محدوده یا خارج از محدوده بندر قرار دارد حمل و در آنجا تخلیه می شوند. در صورتی که دپو به راه آهن متصل باشد ادامه حمل ترجیحاً با راه آهن انجام میشود، در غیر اینصورت از حمل و نقل جاده ای استفاده میشود.

۳- طبقه بندی محموله ها

در انواع روشهای حمل و نقل محموله ها را می توان به دو نوع کلی طبقه بندی نمود.

۱-۳- محموله های کانتینری:

می توان یکی از مهمترین تغییرات تکنولوژیکی در صنعت حمل و نقل طی چهار دهه اخیر را پیدایش کانتینر و گسترش کاربرد آن در جابجایی کالا دانست.

به دلیل سهولت استفاده، قابلیت انتقال با روشهای مختلف حمل، ایمنی و سرعت تخلیه و بارگیری استفاده از کانتینر امروزه به سرعت در حال توسعه است.

برآوردها حاکی از آن است که تقریباً ۷۰٪ محموله های جهان از نظر ارزش با استفاده از کانتینر جابجا میشوند.

¹ - Dedicated Liner Cars

² - Common User Liner Train

در حمل و نقل بین‌المللی از کانتینرهای با ابعاد مختلف استفاده می‌شود که متداول‌ترین آنها کانتینرهای ۲۰ و ۴۰ فوت است. از آنجائیکه کانتینرهای با ابعاد دیگری نیز در حمل و نقل بین‌المللی استفاده می‌شود برای اندازه‌گیری حجم عملیات کانتینری و تبدیل ابعاد آنها به یک واحد استاندارد، کانتینر ۲۰ فوت یا اصطلاحاً TEU^۱ به عنوان واحد شمارش کانتینر در نظر گرفته می‌شود. بنابر این یک کانتینر ۲۰ فوت برابر یک تی‌ای‌یو، یک کانتینر ۴۰ فوت برابر ۲ تی‌ای‌یو و یک کانتینر ۱۰ فوت برابر با نیم تی‌ای‌یو محاسبه می‌شود. حجم عملیات کانتینری ایران در سال ۱۳۸۷ بیش از دو میلیون TEU بوده است.

۲-۳- محموله‌های غیر کانتینری :

محموله‌های فله مانند محصولات کشاورزی، مواد معدنی، مایعات، محصولات جنگلی و ... که به دلیل ویژگیهای خاص و ابعاد آنها با کانتینر حمل نمی‌شوند.

در این مقاله به دلیل اهمیت بیشتر محموله‌های کانتینری از نظر ارزش این محموله‌ها در مطالعه موردی بررسی می‌شوند (تک‌کالایی).

۴- مدل‌بندی و حل مساله برای حداقل کردن هزینه‌ها

به منظور مدل‌سازی مساله، پارامترها، متغیرهای تصمیم، و همچنین تابع هدف و محدودیت‌های مساله در این مرحله توضیح داده می‌شوند :

۴-۱- پارامترها

۴-۱-۱- هزینه‌ها

اولین و مهمترین پارامتر موجود در این مساله، هزینه‌ها هستند. در شبکه حمل و نقل ریلی که از کانتینر برای جابجایی کالا استفاده می‌شود، هزینه‌های موثر شامل موارد زیر است:

الف) هزینه حمل و نقل

ب) هزینه‌های ثابت دپو

ج) هزینه نگهداری کانتینر

د) هزینه موجودی کانتینر

ر) هزینه تخلیه و بارگیری

در این قسمت به تعریف هر یک از هزینه‌های بالا می‌پردازیم:

الف) هزینه حمل و نقل:

هزینه حمل و نقل بر حسب نوع کانتینر و به ازای معادل هر کانتینر ۲۰ فوت (TEU) در طول مسیر محاسبه می‌شود.

ب) هزینه‌های ثابت دپو

بخشی از هزینه‌های هر دپو مستقل از حجم ترافیک کانتینری است و غالباً به عنوان ورودی ثابت دپو دریافت می‌شود. این هزینه، در ایستگاه‌هایی که تخلیه و بارگیری در آن صورت می‌گیرد محاسبه می‌شود.

^۱ - Twenty Foot Equivalent Unit

ج) هزینه نگهداری کانتینر

هزینه نگهداری متناسب با مدت توقف کانتینر در دپو محاسبه میشود. اگر کانتینری در یک ایستگاه توقف داشته باشد، هزینه نگهداری به ازای توقف هر کانتینر ۲۰ فوت (یا معادل آن) در هر روز محاسبه می گردد.

د) هزینه موجودی کانتینر

هر کانتینر در واقع بخشی از سرمایه یک شرکت حمل و نقل تلقی میگردد. در حال حاضر متداول کانتینرهای که در حمل و نقل بین المللی مورد استفاده قرار میگیرند کانتینرهای ۲۰ فوت و ۴۰ فوت فلزی هستند که قیمت هر یک از آنها به ترتیب در حدود ۱۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ دلار برآورد میگردد. بنا بر این در صورتی که تعداد بیشتری از کانتینرهای شرکتهای حمل و نقل در دپو متوقف باشد، صاحب محموله باید هزینه بیشتری به شرکت حمل و نقل بپردازد. هزینه موجودی به ازای توقف هر کانتینر ۲۰ فوت (یا معادل آن) در هر روز محاسبه میگردد.

ر) هزینه تخلیه و بارگیری

این هزینه در ایستگاه هایی محاسبه میشود که در آن ها عملیات تخلیه و بارگیری اتفاق می افتد. تخلیه و بارگیری کا نتینر از یک مد حمل و نقل به مد دیگر (ریل به جاده یا برعکس) در ایستگاه های تشکیلاتی و ایستگاه های باز امکان پذیر است. در صورتیکه چنین عملیاتی لازم باشد هزینه های مربوطه به ازای هر مورد تخلیه یا بارگیری قابل محاسبه است.

۴-۱-۲- ظرفیت ها

هر قطار ظرفیت محدودی برای حمل کانتینر روی یک مسیر دارد.

۴-۱-۳- ورودی و خروجی

هر یک از ایستگاه ها، دارای ورودی و خروجی مشخصی است. ورود و خروج کانتینر به هر ایستگاه در یک سیکل زمانی می تواند برابر نباشد و موجودی کانتینر را در دپو تحت تاثیر قرار دهد. در عین حال اگر کانتینری بدون توقف از یک ایستگاه عبور کند (به این معنی که تعداد کانتینر ورودی به این ایستگاه ها با تعداد کانتینر خروجی از آن برابر باشد) تغییری در موجودی دپو اتفاق نمی افتد.

۴-۲- متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیمی که در این مساله به کار برده می شوند عبارتند از:

الف) متغیرهای باینری، به این معنی که اگر در یک ایستگاه، تخلیه و بارگیری وجود داشت، عملیات دپو در آن انجام می گیرد و هزینه ثابت مربوط به آن دپو دریافت می شود بنابراین این متغیر مقدار یک می گیرد و در غیر این صورت این هزینه محاسبه نشده و متغیر مقدار صفر می گیرد.

ب) همچنین متغیرهای باینری مربوط به این که اگر در یک ایستگاه توقف کانتینر صورت گرفت هزینه های مربوط به نگهداری و موجودی کانتینر دریافت می شود و این متغیر برابر با یک خواهد شد و در غیر این صورت محاسبه نشده و متغیر مقدار صفر می گیرد.

۴-۳- تابع هدف

در این مساله، هدف حداقل کردن تمام هزینه هایی است که در قسمت ۴-۱-۱ بیان شد.

در این مقاله، از مدل کمترین هزینه در شبکه های جریان [۵]، برای مدل کردن مساله استفاده شده است. هر یک از تعاریفی که بیان شد با یک نماد یا متغیر ریاضی نشان داده میشود. قرارداد: از این پس در این مقاله، ایستگاه های راه آهن را گره های شبکه و ریل های ارتباطی بین ایستگاه ها را کمان های شبکه می نامیم.

مجموعه ایستگاه های راه آهن یا گره های شبکه را با N و مجموعه خطوط ریلی بین ایستگاه ها را با A نمایش داده و برای هر $i, j \in N$ کمان بین i و j را با (i, j) نشان می دهیم.

- c : هزینه حمل و نقل روی یک مسیر
 - f_i : هزینه ثابت در دپوی i
 - g_i : هزینه نگهداری، به ازای توقف یک واحد کانتینر ۲۰ فوت در هر روز در ایستگاه i
 - a_i : هزینه موجودی، به ازای توقف یک واحد کانتینر ۲۰ فوت در هر روز در ایستگاه i
 - z_i : هزینه تخلیه و بارگیری، به ازای تخلیه و بارگیری یک واحد کانتینر ۲۰ فوت در ایستگاه i
- همچنین این هزینه از یک مد حمل و نقل به مد دیگر، با نماد α_{zz} نشان داده می شود که در مورد این نماد و این نوع هزینه در قسمت های بعد مفصل توضیح داده خواهد شد.
- d_i : تعداد کانتینرهایی که در ایستگاه i تخلیه و بارگیری می شوند.
 - q_i : تعداد کانتینرهایی که در گره i توقف دارند.
 - p_i : تعداد روزهایی که یک کانتینر در گره i توقف می کند.
 - متغیر باینری مربوط به وجود "هزینه ثابت و تخلیه و بارگیری در دپو"

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر در ایستگاه } i \text{ تخلیه و بارگیری صورت گیرد} \\ 0 & \text{o.w} \end{cases}$$

- متغیر باینری مربوط به وجود "هزینه موجودی و نگهداری کانتینر"

$$e_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر کانتینر در گره } i \text{ توقف داشته باشد} \\ 0 & \text{o.w} \end{cases}$$

تابع هدف:

با توجه به تعاریف بالا، تابع هدف مساله که هزینه ها را حداقل می کند، به صورت زیر است:

$$\min \sum_i y_i z_i d_i + \sum_i y_i f_i + \sum_i e_i q_i p_i g_i + \sum_i e_i q_i p_i a_i$$

مدل بندی مساله در حالت کلی:

$$\min \sum_i y_i (z_i d_i + f_i) + \sum_i e_i q_i p_i (g_i + a_i)$$

$$s.t \quad y_i, e_i \in \{0,1\}$$

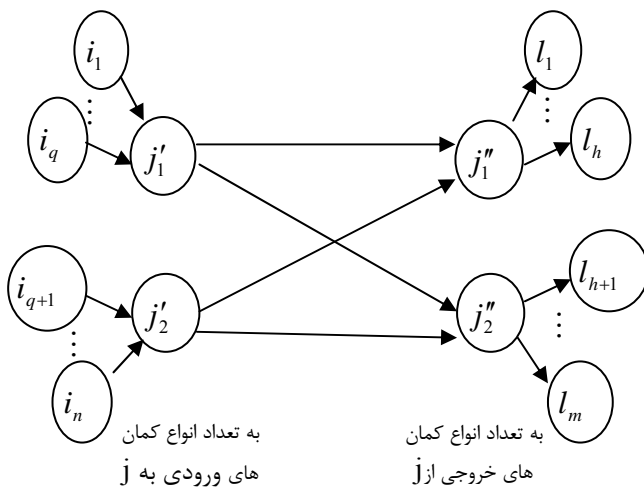
هزینه تخلیه و بارگیری و روش تبدیل آن به هزینه حمل و نقل

الف) مجموعه انواع کمان ها به صورت مجموعه زیر نمایش داده می شوند که در آن، اعضای مجموعه از هم متمایز هستند و تعداد انواع کمان ها p است. $P = \{1,2,\dots,p\}$

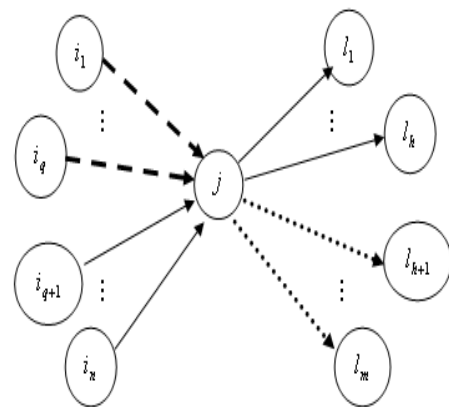
ب) مقدار هزینه تخلیه و بارگیری به ازای تغییر نوع کمان از Z به Z' (که در آن، Z و Z' متعلق به P هستند) با نماد $\alpha_{zz'}$ نشان داده می شود.

روش حل (جایگزینی گره J)

در این قسمت، از روش جایگزینی گره استفاده می شود. در حالت کلی، یک قسمت از شبکه را به صورت زیر در نظر می گیریم (شکل ۱ را ببینید).



۲- شبکه توسعه یافته (جایگزینی گره J)



۱- قسمتی از شبکه با دو نوع کمان ورودی و دو نوع کمان خروجی

که همان طور که در شکل ۱ مشخص است، گره J دارای دو نوع کمان ورودی و دو نوع کمان خروجی است. تعداد کمانهای ورودی نوع یک به گره J برابر است با q ، تعداد کمانهای ورودی نوع دو به گره J برابر است با $n-q$ ، تعداد کمانهای خروجی نوع سه از J برابر است با $m-h$ و تعداد کمانهای خروجی نوع دو از J برابر است با h . یعنی به طور مثال، نوع وسیله نقلیه روی کمان (i_j, j) ، با نوع وسایل نقلیه خروجی از J متفاوت است. بنابراین در این تغییر وسیله نقلیه، در نقطه J ، هزینه تخلیه و بارگیری به وجود می آید. در این روش، برای حل مساله به جای گره J در شبکه یک زیر شبکه قرار می گیرد.

جایگزینی گره J :

گره های این زیر شبکه دارای دو قسمت می باشند، در قسمت اول برای هر نوع کمان ورودی به گره J یک گره متمایز اضافه می کنیم و در قسمت دوم برای هر نوع کمان خروجی از J یک گره متمایز اضافه می کنیم. سپس کمان های هم نوع وارد شده به J را به گره نظیر آن نوع در قسمت اول وصل کرده و کمان های هم نوع خروجی از J را از گره نظیر آن نوع در قسمت دوم خارج می کنیم. (شکل ۲ را ببینید).

اگر نوع کمان ها به ترتیب از نوع V و W باشند، جهت گذراندن کالا از گره J به کمک کمان های فوق هزینه تخلیه و بارگیری α_{vw} به هزینه حمل و نقل $C_j'z_v, z_w''$ برای کمان (j_v', j_w'') تبدیل می شود. و هزینه بقیه کمان هایی که قسمت اول را به قسمت دوم وصل می کنند، صفر در نظر گرفته می شود.

ظرفیت تمام کمان های اضافه شده در زیر شبکه، بینهایت در نظر گرفته می شود. به این صورت شبکه، تبدیل به یک شبکه معمولی (بدون در نظر گرفتن هزینه تخلیه و بارگیری) می شود که می توان آن را با استفاده از یکی از روشهای حل کلاسیک شبکه حل کرد.

همچنین عرضه و تقاضا برای تمام گره های اضافه شده در شبکه توسعه یافته صفر در نظر گرفته می شود.

همچنین هزینه های موجودی کانتینر، حمل و نقل ثابت و دیو برای گره های اضافه شده صفر در نظر گرفته می شود.

مطالعه موردی

در این مقاله، همان گونه که در ابتدا بیان شد، کریدور ریلی شمال- جنوب کشور مورد بررسی قرار گرفته و در مسیر بندر عباس- تهران این هزینه ها بررسی می شوند.

در حال حاضر بیشتر حجم جابجایی کانتینرها در مسیر بندر عباس به تهران مربوط به محموله های وارداتی است که مقصد عمده این محموله ها در حال حاضر تهران است.

در حال حاضر در حدود ۹۰٪ از محموله های وارداتی به ایران توسط جاده و در حدود ۱۰٪ آن توسط راه آهن حمل میشوند. متأسفانه این عدم توازن به دلیل وجود عملیات تخلیه و بارگیری زائد، توقف های طولانی کانتینر در دیو ها و سرعت تجاری پائین حرکت واگنها از مبدا تا مقصد است. در صورتیکه این مشکلات در شبکه ریلی ایران برطرف گردد انتظار میرود سهم راه آهن از حمل و نقل کانتینری به ۵۰۰/۰۰۰ تی ای یو قابل افزایش یابد که از این میزان سهم مسیر ریلی بندر عباس تهران ۲۵۰/۰۰۰ تی ای یو پیش بینی میگردد. در این مقاله این عدد در محاسبات در نظر گرفته میشود.

مسیر بندر عباس- تهران شامل ایستگاه های بندر عباس، جان شکن، تزرچ، گل گهر، سیرجان، خاتون آباد، بافق، یزد، میبد، اردکان، باد رود، کاشان، قم و تهران است. در این مسیر، ایستگاه های خاتون آباد و باد رو ایستگاه های باز و سایر ایستگاه ها ایستگاه های تشکیلاتی هستند. در این مورد فرض بر این است که تنها در ایستگاه های تشکیلاتی عملیات دیو، تخلیه و بارگیری و توقف کانتینر صورت می گیرد.

این شبکه، یک حالت خاص و ساده از مساله ای است که در این مقاله به آن پرداخته شد.

هزینه های در نظر گرفته شده برای این مسیر بر حسب ریال به شرح زیر ارائه شده است.

(۱) هزینه حمل و نقل:

هزینه حمل و نقل در حال حاضر در راه آهن ایران بر حسب نرخ محور- کیلومتر در طول مسیر محاسبه میشود. (واگن های موجود عمدتاً ۲، ۴ و ۶ محوره هستند)

به عنوان مثال در صورتی که نرخ محور- کیلومتر مسیر بار دار ۱۵۰۰ ریال و همین نرخ برای مسیر خالی ۴۰۰ ریال تعیین شده باشد، حمل یک واگن ۶ محوره که ظرفیت حمل ۳ کانتینر ۲۰ فوت را دارد در یک مسیر ۱۰۰۰ کیلومتری برابر خواهد بود با:

$$\text{هزینه حمل} = \text{مسافت} \times \text{تعداد محور} \times \text{نرخ} \quad \text{ریال} \quad 1500 * 6 * 1000 = 9000000$$

به عبارت دیگر هزینه حمل هر کانتینر ۲۰ فوت پر در این مسیر ۱۰۰۰ کیلومتری برابر خواهد بود با:

$$\text{ریال} \quad 9000000 / 3 = 3000000$$

که جمع این مبلغ با سایر هزینه های اشاره شده هزینه کل حمل هر کانتینر ۲۰ فوت را مشخص میکند. برای محاسبه هزینه حمل کانتینرهای خالی در مسیر برگشت به طریق مشابه عمل میشود با این تفاوت که باید از نرخ های حمل کانتینرهای خالی (۴۰۰ ریال) استفاده کرد. بنابر این هزینه همین مسیر برای یک کانتینر خالی مبلغ ۸۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. نکته مهمی که در حمل و نقل کانتینری وجود دارد این است که تقریباً در ۵۰٪ از مسیرهای برگشت، کانتینر ها خالی به مبدا حرکت بر میگردند و این هزینه ها عملاً بخش قابل توجهی از هزینه های شرکتهای حمل و نقل را تشکیل میدهد. در این مقاله چون هدف حداقل سازی هزینه های پرداختی توسط صاحب محموله است، هزینه های حمل فقط در مسیر های پر در محاسبات در نظر گرفته میشود و صاحبان کالا مسولیتی در برابر حمل کانتینر های خالی تا مقصد ندارند. بنابر این هزینه حمل به ازای حمل هر واحد کانتینر ۲۰ فوت در مسیر بندر عباس - تهران برابر است با:

$$c = 3000000$$

(۲) هزینه ثابت دپو:

بر اساس برآوردها این هزینه در این مورد خاص، به طور متوسط در هر ایستگاه برای هر کانتینر ۲۰ فوت ۱۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته می شود.

(۳) هزینه موجودی کانتینر:

با توجه به متوسط ارزش هر کانتینر، این هزینه به ازاء هر روز توقف برای یک کانتینر ۲۰ فوت در هر ایستگاه، ۴۰۰۰ ریال در نظر گرفته می شود.

(۴) هزینه نگهداری کانتینر:

با توجه به متوسط ارزش هر کانتینر، این هزینه به ازاء هر روز توقف برای یک کانتینر ۲۰ فوت در هر ایستگاه، ۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته می شود.

(۵) هزینه تخلیه و بارگیری:

این هزینه در این مورد خاص، به طور متوسط در هر ایستگاه، به ازای تخلیه و بارگیری هر کانتینر ۲۰ فوت، ۲۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته می شود.

مسیر بندرعباس- تهران حدوداً هزار کیلومتر است و به طور معمول انتظار می رود قطاری با متوسط سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت و با احتساب توقف های ضروری این مسیر را در مدت تقریباً ۲۰ ساعت بپیماید. اما این مسیر در حال حاضر در حدود ۵ روز یا تقریباً ۱۲۰ ساعت پیموده می شود. بنابراین بطور متوسط در این مسیر با ۱۰۰ ساعت تاخیر مواجه هستیم که این تاخیر در محاسبات در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر توقف در کل ایستگاه ها تقریباً ۱۰۰ ساعت می باشد و به طور متوسط توقف در هر ایستگاه $100/12 = 8,3$ ساعت در نظر گرفته می شود. (عدد ۱۲، تعداد ایستگاه های تشکیل دهنده می باشد)

که در این مسیر خاص در نظر گرفته شده است.) بنابراین به طور متوسط هر کانتینر در هر ایستگاه بیش از ۸ ساعت متوقف می شود.

در حال حاضر روزانه ۶ قطار از مبدا بندر عباس به سمت تهران حرکت میکند و بطور متوسط یک ششم ظرفیت قطارهای این مسیر به حمل کانتینر اختصاص می یابد بنابر این در صورتیکه متوسط تعداد واگنهای هر قطار ۴۰ واگن و ظرفیت هر واگن ۳ کانتینر ۲۰ فوت باشد در هر ایستگاه بطور متوسط ۱۲۰ کانتینر با ۸ ساعت توقف خواهیم داشت. متاسفانه اطلاعات دقیقی از آمار تخلیه و بارگیری در ایستگاه های طول مسیر منتشر نمیشود اما تخمین ها حاکی از آن است که بطور متوسط هر در ایستگاه های تشکیلاتی در مسیر مورد اشاره ۲ کانتینر تخلیه یا بارگیری می شوند.

مدل مساله برای این مثال خاص:

بر اساس فرضیات اشاره شده ، مدل مساله برای مسیر بندرعباس- تهران به صورت زیر ارائه میگردد :

$$\min \sum_i y_i (200000 \times 2 + 100000) + 120 \times \frac{1}{3} \times (5000 + 4000)$$

$$s.t \quad y_i, e_i \in \{0,1\}$$

و یا به عبارتی داریم:

$$\min \quad \sum_{i=1}^{12} 500000 y_i + \sum_{i=1}^{12} 360000 e_i$$

$$s.t \quad y_i, e_i \in \{0,1\}$$

نتایج عددی به دست آمده با استفاده از نرم افزار لینگو:

مدل فوق برای مسیر بندرعباس - تهران با استفاده از نرم افزار لینگو و با سه سناریو مختلف بررسی و تحلیل شده است:

سناریو اول:

در این سناریو ، تمام ایستگاه های تشکیلاتی که در مسیر بندر عباس - تهران وجود دارند فعال در نظر گرفته شده و لذا تمام هزینه ها در این ایستگاه ها محاسبه می گردند.

سناریو دوم:

در سناریو دوم تاثیر بستن تعدادی از ایستگاه های تشکیلاتی در طول مسیر بررسی میگردد. در این سناریو فرض شده است قطارهای مسیر بندر عباس - تهران فقط در نیمی از ایستگاه های موجود توقف داشته باشند و نیم دیگری از ایستگاه های موجود ایستگاه بسته تلقی شده و قطارها بدون توقف از این ایستگاه ها عبور می کند.

سناریو سوم:

در سناریو سوم تمام ایستگاه های مسیر مورد بررسی ایستگاه بسته فرض شده و یا به عبارت دیگر قطار به صورت خطی میباشد که فقط در مبدا و مقصد توقف دارد و هزینه های توقف و تخلیه و بارگیری فقط در مبدا و مقصد محاسبه میشود.

نتایج حاصل از حل مدل :

مقدار تابع هدف حاصل از حل مدل با استفاده از نرم افزار لینگو برای هر سه سناریو محاسبه شده است و مقادیر مربوطه به ترتیب برای سناریو اول ، دوم و سوم عبارتند از ۱۰۳۲۰۰۰۰، ۵۱۶۰۰۰۰، ۱۷۲۰۰۰۰ ریال.

نتایج حاصله به وضوح حاکی از آن است که در صورت کاهش توقف ها در طول مسیر هزینه حمل هر واحد کانتینر به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و کمترین هزینه مربوط به حالتی است که قطارهای کانتینری خطی در طول مسیر فعال گردد. در چنین حالتی متوسط هزینه حمل هر واحد کانتینر ۲۰ فوت در مسیر مورد بررسی تقریباً یک ششم وضعیت موجود خواهد بود.

بررسی های تکمیلی:

در ادامه بررسی میزان تاثیر هر یک از عناصر هزینه از کل هزینه ها مورد بررسی دقیقتر قرار گرفته است. بدین منظور در هر نوبت هر یک از هزینه های به میزان ۱٪ کاهش یافته و مقدار تابع هدف در سناریو اول مجدداً محاسبه شده است. سپس مقدار کاهش در تابع هدف محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه شده و ترتیب تاثیر هزینه ها مشخص می گردد.

هزینه تخلیه و بارگیری :

در صورتیکه هزینه های تخلیه و بارگیری یک درصد کاهش یابد مقدار تابع هدف نسبت به سناریو اول به میزان ۴۸۰۰۰ ریال (برابر با ۰,۴۶ درصد) کاهش خواهد یافت.

هزینه ثابت دپو :

در صورتیکه هزینه ثابت دپو یک درصد کاهش یابد مقدار تابع هدف نسبت به سناریو اول به میزان ۱۲۰۰۰ ریال (برابر با ۰,۱۱ درصد) کاهش خواهد یافت

هزینه نگهداری کانتینر:

در صورتیکه هزینه نگهداری کانتینر یک درصد کاهش یابد مقدار تابع هدف نسبت به سناریو اول به میزان ۲۴۰۰۰ ریال (برابر با ۰,۲۳ درصد) کاهش خواهد یافت

هزینه موجودی کانتینر:

در صورتیکه هزینه موجودی کانتینر یک درصد کاهش یابد مقدار تابع هدف نسبت به سناریو اول به میزان ۱۹۲۰۰ ریال (برابر با ۰,۱۸ درصد) کاهش خواهد یافت

موارد فوق به خوبی نشان می دهد که کاهش یک درصدی هزینه تخلیه و بارگیری بیشترین کاهش در مجموع هزینه ها را به همراه دارد و بنابراین کاهش عملیات تخلیه و بارگیری در این مسیر، تاثیر بسزایی در کاهش مجموع هزینه های حمل هر کانتینر خواهد داشت.

پس از هزینه تخلیه و بارگیری، به ترتیب هزینه های نگهداری ، موجودی و ثابت دپو، بیشترین کاهش در مجموع هزینه های حمل و نقل را موجب میگردند.

نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله هزینه های موثر بر حمل و نقل یک واحد معادل کانتینر ۲۰ فوت در مسیر بندر عباس - تهران مورد بررسی قرار گرفته و پس از شناسایی اجزاء این هزینه و ارائه یک مدل ریاضی تلاش شده است در قالب سناریو های مختلفی رفتار این هزینه ها بررسی گردد. اهم نتایج حاصله از این مطالعه به شرح زیر است :

۱. رابطه مستقیمی بین تعداد توقف ها و هزینه کل حمل و نقل کانتینری در مسیر منتخب وجود دارد. بدین معنی که با کاهش تعداد توقف ها در ایستگاه های طول مسیر ، کل هزینه های حمل و نقل و هزینه حمل هر واحد کانتینر کاهش می یابد.
۲. کمترین هزینه حمل و نقل مربوط به قطارهای برنامه ای بین بندر عباس و تهران است و بنا براین در صورت جایگزین این روش حمل با روش موجود ، هزینه حمل هر واحد کانتینر به صورت قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت.
۳. از بین هزینه های موثر بر حمل یک واحد کانتینر بیشترین تاثیر مربوط به هزینه های تخلیه و بار گیری و پس از آن هزینه های نگهداری ، هزینه موجودی کانتینر و ثابت دپو است. بر همین اساس می توان با دقت بیشتری هزینه های حمل و نقل کانتینری را مدیریت کرد و بر کاهش هزینه هایی که تاثیر بیشتری در کل هزینه ها دارند دقت بیشتری نمود.
۴. در صورت اتخاذ تدابیر مناسبی برای کاهش هزینه های حمل و نقل هر واحد کانتینر توسط راه آهن می توان انتظار داشت سهم بازار این صنعت در مقایسه با حمل و نقل جاده ای به میزان قابل توجهی بهبود یابد و تعادلی در بازار حمل و نقل کانتینری بین ریل و جاده ایجاد گردد.

مراجع :

[۱] شدتی هادی، ریواسی احمد، حسینی یمقانی سید رسول، مومنی رضا، شاجری غلامرضا، "نگاهی به روابط بین راه آهن ج.ا.ا و شرکتهای حمل و نقل ریلی"، ۱۳۸۶، نشر طاهر.

[2] Galbiati G, "The complexity of a minium reload cost diameter problem", Discrete Applied mathematics, vol. 156, Issue 18, 3494-3497, 2008.

[3] Writh H.C and Steffan J "Reload cost problems: minimum diameter spanning tree", Discrete Applide Mathematics, 113, 73-85, 2001.

[۴] سال نامه آماری حمل و نقل جاده ای- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای- دفتر فناوری اطلاعات- ۱۳۸۶.

[5] Ahuja R.K, maganati T.L and orlin J.B, "network flows: Theory, Algorithm and Applications", PrenticeHall, englewood cliff, New Jersey , 1993.

[۶] گزارش بررسی شرایط فعلی تخلیه و بارگیری کانتینر در بندر شهید رجایی و توسعه حمل و نقل ریلی در این بندر- مرکز تحقیقات راه آهن جمهوری اسلامی ایران.