ارایه مدل چند هدفه برنامه‌ریزی حمل و نقل کانتینر خالی (مورد مطالعاتی: بنادر ایران)

مجید عباسی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
نسیم نهاوندی، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: N_Nahavandi@modares.ac.ir
دریافت: 1395/08/12 – پذیرش: 1396/02/15

چکیده

با ورود کانتینر به عرصه حمل و نقل کالا، این حوزه دچار تحول عظیمی شده است. اما تا به امروز همچنان مشکل عدم توازن بین ورودی و خروجی کانتینر به بنادر پا بر جاست. این ناهماهنگی بین واردات و صادرات کالا، معضلی به نام کانتینر خالی را به وجود آورده است. به‌طوریکه بنادر وارداتی با مازاد و بنادر صادراتی با کسری کانتینرخالی مواجه‌اند. در این مقاله به منظور حل مساله مذکور، مدل جدید برنامه‌ریزی حمل و نقل کانتینر خالی، با دو هدف کمینه کردن هزینه کل، شامل هزینه حمل و نقل، نگه‌داری، کسری، تخلیه و بارگیری کانتینر خالی و بیشینه کردن قابلیت دسترسی به کانتینر خالی، از طریق کمینه کردن مجموع حداکثر کسری کانتینر خالی در بنادر صادراتی در دوره‌های زمانی مختلف، ارائه شده است. در مرحله بعد مدل دو هدفه پیشنهادی خطی شده، سپس با استفاده از روش وزن‌دهی به مدلی تک هدفه از جنس کمینه کردن هزینه‌ها تبدیل شده است. در نهایت به منظور آزمایش‌های عددی و اعتبارسنجی مدل ارائه شده، با در نظر گرفتن یک شبکه مکانی- زمانی از بنادر دریایی ایران به عنوان شبکه مورد مطالعه واقعی در مساله حمل و نقل کانتینر خالی، مدل پیشنهادی به روش برنامه‌نویسی خطی، در محیط نرم‌افزار Gams، حل شده است. نتایج محاسباتی حاصله نشان‌دهنده کارایی مدل ارائه شده در به تعادل رساندن مساله، کاهش 66٪ هزینه کل نسبت به دنیای واقعی و بهینگی اهداف تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل دریایی، حمل و نقل کانتینر خالی، بهینه‌سازی چند هدفه، برنامه‌ریزی خطی

1- مقدمه

حمل و نقل کانتینری در چند دهه گذشته رشد سریع و قابل توجهی داشته است، تجارت جهانی از طریق کانتینر در سال 2011 به مقدار 7.1٪ رشد کرده است و توان ترمینال‌های کانتینری در سال 2011 تا 5.9٪ افزایش یافته است) Kaveshgar, Huynh, 2015). بدون شک یکی از عوامل توسعه حمل و نقل و افزایش سرعت آن در دنیای امروز به وجود آمدن حمل و نقل کانتینری است. جایگاه حمل و نقل کانتینری در صنعت حمل و نقل جایگاهی تثبیت شده و رو به توسعه است(Choong (at al), 2002). اما آنچه در عرصه حمل و نقل کانتینری به عنوان مساله‌ای حل نشده باقی مانده است، معضل کانتینر خالی است که به علت ناهماهنگی بین صادرات و واردات کالا در همه بنادر جهان وجود دارد، اما میزان موفقیت این بنادر در کاهش این پدیده، نیز با هم متفاوت و بسیار کم است(Li (at al), 2004). مهمترین آسیب اقتصادی از این ناحیه، متوجه خطوط کشتیرانی است، از آنجایی که کانتینر جزو دارایی‌های این خطوط بوده و برای تهیه آن هزینه‌های بسیاری صرف شده است، زمانی که کانتینرهای یک کشتی در اسکله بندر تخلیه می‌شود، اگر ظرف مدت کوتاهی این کانتیرها مجدداً به چرخه عملیاتی خطوط کشتیرانی باز نگردند، این شرکت‌ها از سرمایه خود نمی‌توانند بهره‌برداری درستی داشته باشند، لذا ناگزیر تصمیم به ترک آن بندر می‌گیرند، که در این صورت، بازنده اصلی مناطق اطراف این بنادر یا حتی کشوری که دچارعدم توازن در صادرات و واردات است، خواهد بود. نتیجه وقوع این اتفاق در بنادر یک کشور، علاوه بر اینکه هزینه‌های واردات را افزایش می‌دهد، وابستگی به بنادر دیگر کشورها را هم در پی دارد و عملا استقلال اقتصادی کشور نیز با مخاطره

Archive of SID

www.SID.ir

روبه رو خواهد شد(Dong, Song, 2009). دسترسی به کانتینر خالی در بنادر بستگی به کارایی مدیریت جریان کانتینر خالی دارد، به‌طوریکه اگر جریان انتقال کانتینرهای خالی بین بنادر و انبارهای مختلف با دقت مدیریت نشود، ممکن است که عدم دسترسی به کانتینر خالی در بنادر مخصوصا در بنادر صادراتی، در دوره زمانی مناسب باعث افزایش ریسک عدم برآورده شدن تقاضا و رضایت‌مندی مشتری و همچنین انباشتگی کانتینر خالی مازاد در بنادر وارداتی، هزینه‌های سرسام آور نگه‌داری، کمبود محوطه نگه‌داری و... شود (Li (at al), 2007) و (Moon (at al), 2013).

در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت مساله، مدل‌های مختلفی برای حمل و نقل کانتینر خالی ارائه شده است. جولا و همکاران، مدلی ریاضی به منظور بهینه کردن استفاده مجدد از کانتیرهای خالی بین دو بندر لس آنجلس و لانگ بیچ، با هدف کمینه کردن هزینه کل انتقال کانتینرهای خالی بین بنادر و انبارها ارائه داده‌اند(Jula (at al), 2006). فنگ و همکاران، به بررسی مساله حمل و نقل کانتینر خالی به عنوان یک مساله دو مرحله‌ای برای کشتی‌های لاینر پرداخته‌اند. که مرحله اول شامل تخمین موجودی کانتینر خالی در بنادر و مرحله دوم شامل ارائه برنامه حمل و نقل کانتینر خالی به منظور ارائه خدمات در شبکه حمل و نقل بوده است(Feng (at al), 2008). مون و همکاران، هدف از خود را مطالعه ارائه برنامه‌ای برای انتقال کانتینرهای خالی بین بنادر به منظور کاهش عدم تعادلی که حتی با توسعه‌های اخیر حمل و نقل کانتینری، بین بنادر جدی‌تر شده، بیان کرده، و مدلی ریاضی با هدف کاهش هزینه کل شامل هزینه حمل و نقل، هزینه جابجایی، هزینه نگه‌داری ارائه داده‌اند. مدل ارائه شده با در نظر گرفتن اجاره و خرید کانتینر فرمول‌بندی شده و برای حل آن از برنامه‌نویسی عدد صحیح ترکیبی و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است(MOON (at al), 2010). ژانگ و همکاران، با در نظر گرفتن سیاست مطلوب برای حمل و نقل کانتینرهای خالی، جریان کانتینرها را بعنوان یک جریان سیال پیوسته و تقاضا را بعنوان یک زنجیره مارکوف دو وضعیتی فرض کرده‌اند. هدف مدل پیشنهادی به حداقل رساندن هزینه‌های نگه‌داری، اجاره و حمل و نقل کانتینر خالی داخلی و خارجی بوده، و برای حل مساله کنترل بهینه از برنامه‌نویسی پویا استفاده شده است(Zhang (at al), 2011). سانگ و همکاران، در تحقیقی دیگر سیاست حمل و نقل کانتینر خالی را با بنادر مقصد انعطاف‌پذیر، سیاستی که فقط خاص جریان مستقیم کانتینر خالی است، را بصورت ریاضی فرموله کرده‌اند، و ارزیابی تاثیر آن از طریق شبیه‌سازی انجام شده است. آزمایشات نشان داده‌اند که سیاست جدید به طور قابل توجهی، در شرایطی که تقاضاهای تجاری متعادل نیستند بهتر از سیاست معمولی است (SONG, ZHANG, 2010). فرانسیسکو و همکاران، به بررسی مساله حمل و نقل کانتینرهای خالی در شبکه دریایی تحت اختلالات بندری پرداخته‌اند و به منظور در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های مربوط به داده‌های مساله از روش برنامه‌نویسی تصادفی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، استفاده کرده‌اند. آزمایشات انجام شده توسط آنها نشان‌دهنده آن است که مدل پیشنهادی چند سناریویی نسبت به مدل قطعی کاراتر بوده، و ریسک پیش رو تقاضای مجهول کانتینر خالی را کاهش می‌دهد(FRANCESCO (at al), 2013).

مطالعات انجام شده، نشان‌دهنده آن است که تحقیقات پیشین مساله حمل و نقل کانتینر خالی، را بدون در نظر گرفتن به تعادل رساندن سطح کسری و مازاد کانتینر خالی در بنادر صادراتی و وارداتی، و فقط صرف کاهش عدم تعادل در تعداد معدودی از تحقیقات انجام شده، مد نظر قرار داده‌اند. و تک هدفه در نظر گرفتن مساله با هدف کمینه کردن هزینه‌ها شامل هزینه حمل و نقل، نگه‌داری و تخلیه و بارگیری به ارائه مدل پرداخته‌اند، در حالی‌که مدل‌های ارائه شده، باید در کاربرد و دنیای واقعی ایجاد تعادل در سطح کسری و مازاد کانتینر خالی در بنادر صادراتی و وارداتی را تضمین و اهداف متفاوت و ناسازگاری که در واقعیت وجود دارد را بهینه کنند. در دنیای واقعی، معمولاً به دنبال بهینه کردن چندین معیار عملکرد هستیم. در این مسائل به دنبال برنامه‌ای هستیم که با در نظر گرفتن منابع، کارها، مفروضات و محدودیت‌های مساله چند معیار عملکرد را بهینه کنیم. بنابراین باید تا حد ممکن معیارهایی که در بهینگی عملکرد شرکت‌های حمل و نقل کانتینری مؤثر است به طور هم‌زمان در نظر گرفته شود و راه‌حل مناسب برای بهینه کردن آن‌ها ارائه شود. به همین منظور در این تحقیق مساله حمل و نقل کانتینرهای خالی با دو هدف، کمینه کردن هزینه کل و حداکثر کردن قابلیت دسترسی به کانتینر خالی در بنادر صادراتی فرمول‌بندی و بهینه شده، که تا به حال در ادبیات موضوع انجام نشده است.

تحقیق حاضر از جنبه‌های مختلفی نسبت به تحقیقات پیشین دارای نوآوری است که عباتند از: 1) ارائه مدل دو هدفه مساله، 2) در نظر گرفتن همزمان سطح کسری و موجودی و

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین محدودیت‌های مرتبط، مطابق با دنیای واقعی،3) به تعادل رساندن سطح کسری و مازاد کانتینر خالی در بنادر صادراتی و وارداتی در شبکه مکانی–زمانی واقعی از بنادر که نتایج بدست آمده مؤید آن است. ساختار این نوشتار به گونه‌ای است که در بخش 2، تعریف و مدل‌سازی مساله ارائه می‌شود. در بخش 3، به بیان روش حل مساله پرداخته خواهد شد. در بخش 4، مقایسه انجام شده بین مدل ارائه شده و مدل‌های قبلی آمده است. در بخش 5، به حل مثال عددی و مقایسه نتایج پرداخته شده و در بخش 6، هم نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

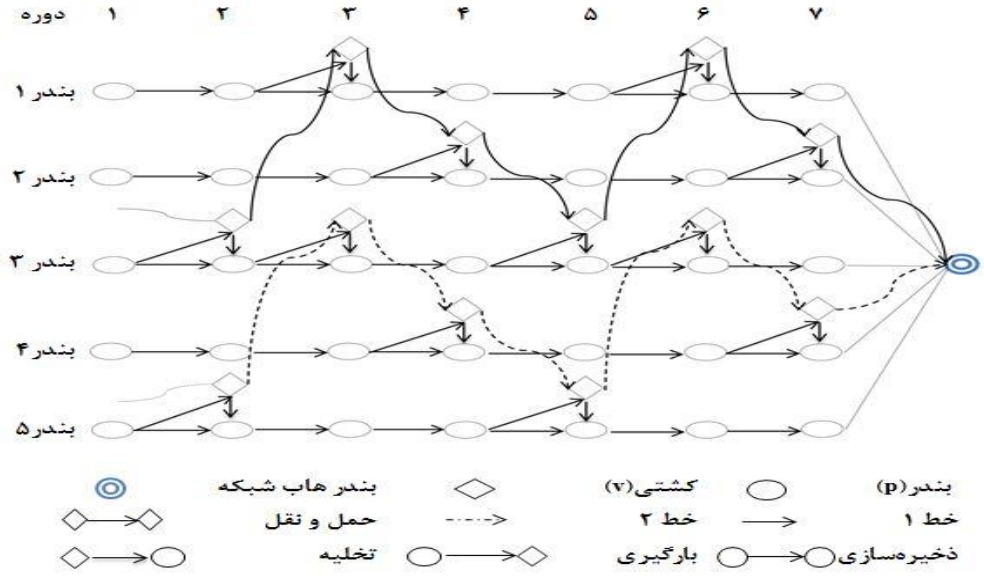
2- تعریف مساله و مدل‌سازی

در جریان حمل و نقل کانتینری، کانتینرهای پر، از بندر مبدا براساس درخواست مشتریان به بندر مقصد حمل می‌شوند. اما با توجه به عدم تعادل تجاری این جریان‌ها، کانتینرهای خالی غیرضروری در بنادر وارداتی انباشته شده، در حالی‌که بنادر صادراتی با کمبود کانتینر خالی مواجه‌اند. این عدم توازن باعث می‌شود که بنادر وارداتی با مشکلاتی از قبیل هزینه‌های سرسام‌آور چیدمان، نگه‌داری، تخلیه و بارگیری، کمبود محوطه و امکانات نگه‌داری و غیره، مواجهه باشند. در حالی‌که در نقطه مقابل بنادر صادراتی با هزینه کسری کانتینر خالی به جهت پاسخ‌گویی به تقاضا، هزینه فرصت از دست رفته، عدم رضایت‌مندی مشتری و حتی وابستگی اقتصادی به بنادر سایر کشورهای همسایه، روبرو هستند. بنابراین شرکت‌های حمل و نقل کانتینری برای رفع این مشکل باید بصورت دوره‌ای، کانتینرهای خالی را بین بنادر وارداتی و صادراتی انتقال دهند. در واقع هدف از مساله حمل و نقل کانتینر خالی، انتقال کانتینر خالی بدون استفاده، از بنادری که دارای مازاد کانتینر خالی هستند به بنادری که با کسری کانتینر خالی مواجه‌اند، است. که در مقاله حاضر به بررسی آن پرداخته شده است. در این مقاله به منظور مدل‌سازی و تحلیل مساله، یک شبکه مکانی- زمانی G(P,V) در نظر گرفته شده است که در آن P نشان‌دهنده مجموعه بنادر و V نشان‌دهنده مجموعه کشتی‌های موجود در شبکه است. شکل 1، نشان‌دهنده شبکه مکانی- زمانی حمل و نقل دریایی است که به منظور تحلیل و مدل‌سازی مساله طراحی شده و متشکل از 7 دوره زمانی، بنادر که در هر دوره تکرار، و با علامت بیضی نشان داده شده‌اند. کشتی‌ها که با لوزی در دوره‌هایی که به بنادر می‌رسند و خطوط کشتی‌رانی که با مسیرهای 1 و 2 در شکل 1، مشخص شده‌اند. به عنوان مثال کشتی که روی خط 1 حرکت می‌کند در دوره 2 به بندر 3، می‌رسد. کمان‌ها از یک بندر در یک دوره زمانی به همان بندر در دوره زمانی بعد نشان‌دهنده جریان ذخیره‌سازی کانتینر خالی در بنادر است. همچنین کمان‌ها از یک کشتی در یک دوره زمانی، به همان کشتی در دوره زمانی بعد نشان‌دهنده جریان انتقال کانتینرها توسط کشتی از یک بندر به بندر بعدی است. کمان‌ها از کشتی به بنادر موجود در شبکه، نشان‌دهنده جریان تخلیه کانتینر خالی از کشتی هستند. و کمان‌ها از بنادر به کشتی نشان‌دهنده جریان بارگیری کانتینرها هستند. مفروضات در نظر گرفته شده در این مساله عبارتند از:

- تقاضای مشتری برای کانتینر خالی باید برآورده شود.
- عرضه برابر است با تعداد کانتینرهای که بعد از تخلیه بار یا تعمیرات نگه‌داری در هر دوره به چرخه حمل و نقل اضافه می‌شوند.
- موجودی برابر است با تعداد کانتینرهای خالی که در انتهای هر دوره باید ذخیره و نگه‌داری شود.
- فقط یک نوع از حالات حمل و نقل در نظر گرفته می‌شود(کشتی).
- محدودیتی برای خرید و اجاره کانتینر خالی به منظور برآورده کردن تقاضای مشتری وجود ندارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1. شبکه حمل و نقل مکانی – زمانی

2-1- نمادگذاری

p بندر

v کشتی

t دوره زمانی

τ فاصله زمانی بین دو بندر متوالی

P مجموعه بنادر

$V(p,t)$ مجموعه کشتی‌هایی که در دوره t به بندر p می‌رسند.

$W(p,t)$ مجموعه کشتی‌هایی که در دوره t بندر p را ترک می‌کنند.

D_{tp} تقاضا در بندر p در دوره t ام

S_{tp} عرضه در بندر p در دوره t ام

α_{tpv} مدت زمانی‌که کشتی $v \in w(t,p)$ در بندر p سپری می‌کند.

ci_{tp} هزینه نگه‌داری کانتینرخالی در بندر p در دوره t

cs_{tp} هزینه کسری کانتینرخالی در بندر p در دوره t ام

cl_{tpv} هزینه بارگیری بر کشتی v در بندر p در دوره t ام

cu_{tpv} هزینه تخلیه از کشتی v در بندر p در دوره t ام

cr_{tpv} هزینه حمل ونقل توسط کشتی v از بندر p در دوره t ام

Ui_{pt} ظرفیت نگه‌داری کانتینر خالی در بندر p در دوره t

U_{tpv} حداکثر ظرفیت تخلیه و بارگیری بر کشتی $v \in V(t,p)$ در مدت زمانی که در بندر p سپر می‌کند.

Ur_{tpv} ظرفیت کشتی v برای انتقال کانتینر خالی از بندر p به سایر بنادر در دوره t ام

2-2- متغیرهای تصمیم

xi_{tp} سطح موجودی کانتینر خالی در بندرp در انتهای دوره t ام

xs_{tp} سطح کسری کانتینر خالی در بندر p در دوره t ام

xu_{tpv} تعداد کانتینر خالی که باید در بندر p در دوره t از کشتی $v \in V(p,t)$ تخلیه شوند.

xl_{tpv} تعداد کانتینرهای خالی که در بندر p در دوره t که باید بر کشتی $v \in V(p,t)$ باگیری شوند.

xr_{tpv} تعداد کانتینر خالی که توسط کشتی $v \in V(t,p)$ از بندر p در دوره t به سایر انتقال داده می‌شود.

2-3- مدل‌سازی

در این مقاله، مدل‌سازی پس از بررسی جامع پیشینه تحقیق، مصاحبه‌های مکرر با کارشناسان و خبرگان در حوزه مدیریت و برنامه‌ریزی حمل و نقل دریایی (بندر بوشهر) و انطباق با دنیای واقعی انجام گرفته و نتایج حاصل بیانگر کارایی و اعتبار بالای مدل پیشنهادی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

$$\min \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V(p,t)}\left(cl_{tpv}xl_{tpv}+cu_{tpv}xu_{tpv}+cr_{tpv}xr_{tpv}\right) \quad (1)$$
$$+\sum_{t\in T}\sum_{p\in P} cs_{tp}xs_{tp}+ci_{tp}xi_{tp}$$

$$\min \sum_{t}\max_{p} xs_{tp} \quad (2)$$

$$xi_{tp}=xi_{(t-1)p}+\sum_{v\in w(p,t)} xu_{(t-\alpha_{tpv})pv}+\mathrm{S}_{tp} \quad (3)$$
$$-\sum_{v\in V(p,t)} xl_{tpv}-xs_{(t-1)p}-D_{tp}\ \forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xi_{tp}\le \mathrm{Ui}_{p} \quad (4)$$
$$\forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xs_{tp}=xs_{t-1p}+D_{tp}-xi_{(t-1)p}-\sum_{v\in w(p,t)} xu_{(t-\alpha_{tpv})pv} \quad (5)$$
$$-S_{tp},\ \forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xr_{(t-\tau)(p-1)v}-xr_{tpv}-xu_{tpv}+xl_{tpv}=0 \quad (6)$$
$$\forall v\in V(p,t),\forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xl_{tpv}+xu_{tpv}\le U_{tpv} \quad (7)$$
$$\forall v\in V(p,t),\forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xr_{tpv}\le Ur_{tpv} \quad (8)$$
$$\forall v\in V(p,t),\forall p\in P,\forall t\in T$$

$$xl_{tpv},xu_{tpv},xr_{tpv},xs_{tp},xi_{tp},w_{t}\ge 0 \quad (9)$$
$$\forall v\in V(p,t),\forall p\in P,\forall t\in T$$

تابع هدف (1)، عبارت است از حداقل نمودن هزینه کل، قسمت اول مربوط به مجموع هزینه حمل و نقل، تخلیه و بارگیری کانتینر خالی است و قسمت دوم مربوط به هزینه نگه‌داری موجودی و کسری کانتینر خالی است. تابع هدف (2)، بیشینه کردن قابلیت دسترسی به کانتینر خالی در بنادر صادراتی و به تبع آن حداکثر کردن رضایت‌مندی مشتری و افزایش ارزآوری اقتصادی، از طریق کمینه کردن مجموع حداکثر کسری کانتینر خالی در بنادر صادراتی، در دوره‌های زمانی مختلف است.

رابطه (3)، مربوط به محدودیت موجودی کانتینر خالی در هر بندر، در هر دوره می‌باشد به‌طوری‌که، موجودی کانتینر خالی در انتهای هر دوره برابر است با مجموع موجودی دوره قبل به‌علاوه عرضه در هر دوره، به‌علاوه مجموع کانتینرهای خالی تخلیه شده از کشتی‌هایی که در دوره t بندر p را ترک می‌کنند، منهای مجموع، تقاضا در هر دوره، کسری کانتینر خالی در دوره قبل و مجموع کانتینرهای خالی بارگیری شده بر کشتی‌هایی که در دوره t به بندر p می‌رسند. محدودیت (3)، موجودی کانتینر خالی در هر بندر در هر دوره نباید از حداکثر ظرفیت مجاز موجودی در هر دوره تجاوز کند. محدودیت (5)، بیانگر سطح کسری هر بندر در دوره‌های زمانی مختلف است که از مجموع کسری دوره قبل به‌علاوه تقاضا در هر دوره منهای، مجموع موجودی دوره قبل، تعداد کانتینرهای تخلیه شده و عرضه در هر دوره می‌باشد. محدودیت(6)، تعادلی، منطقی است فرض کنید اگر از کشتی که در دوره t-τ از بندر i-1 حرکت و در دوره t به بندر i می‌رسد، هیچ کانتینر خالی تخلیه نگردد (xu_{tpv}=0)، آنگاه کانتینرهای خالی که توسط کشتی v(t,p) به بندر i منتقل می‌شوند به علاوه کانتینرهای خالی که بر کشتی v(t,p) بارگیری می‌شوند برابر تعداد کانتینرهایی هستند که توسط کشتی v(t,p) از بندر i به بندر بعد منتقل می‌شوند. به همین شکل اگر بر کشتی که در دوره t-τ از بندر i-1 حرکت و در دوره t به بندر i می‌رسد، هیچ کانتینر خالی بارگیری نگردد(xl_{tpv}=0)، آنگاه کانتینرهای خالی که توسط کشتی v(t,p)به بندر i منتقل می‌شوند منهای کانتینرهای خالی که از کشتی v(t,p) تخلیه می‌شوند برابر تعداد کانتینرهایی هستند که توسط کشتی v(t,p) از بندر i به بندر بعد منتقل می‌شوند. محدودیت (7)، بیان کننده ظرفیت جابجایی است بطوریکه حجم تخلیه و بارگیری کانتینر خالی بر کشتی $v\in V(t,p)$در مدت زمانی که در بندر سپری می‌کند نباید از U_{tpv}تجاوز کند. در محدودیت (8)، حجم انتقال کانتینرهای خالی از بندر p توسط کشتی‌ها به سایر بنادر نباید بیشتر از ظرفیت کشتی‌ها باشد.

2-4- خطی‌سازی مدل

تابع هدف(2)، مدل ارائه شده، غیرخطی بوده که به منظور کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی به صورت زیر خطی شده است:

$$\min \sum_{t} w_{t} \quad (10)$$

$$w_{t}\ge xs_{tp} \quad \forall t\in T,\forall p\in P \quad (11)$$

$$w_{t}\ge 0 \quad \forall t\in T \quad (12)$$

3- روش حل

مدل ارائه شده در این مقاله، مدل دو هدفه خطی است و به منظور تک هدفه کردن مدل ارائه شده و بدست آوردن یک مقدار جهت ارزیابی جواب‌ها با یکدیگر، از روش مجموع وزنی

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده شده است. در حالت کلی روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی مسائل چندهدفه وجود دارد.

روش مجموع وزنی یکی از ساده‌ترین و رایج‌ترین روش‌های کلاسیک حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه است. این روش مجموعه اهداف مساله را با ضرب کردن آن‌ها در یک بردار وزن به یک هدف واحد تبدیل می‌کند. وزن هر هدف معمولاً به اهمیت نسبی آن هدف و عامل مقیاسی مورد نظر بستگی دارد. در روش مجموع وزنی با توجه به اولویت توابع به هر کدام یک وزن w_i داده می‌شود سپس اهداف وزن داده شده با هم ترکیب شده و یک تابع هدف به دست می‌آید. در این تحقیق با تایید نظر کارشناسان و خبرگان در تحقیقات میدانی انجام شده، نسبت به اهمیت هر کدام از توابع هدف وزن تابع هدف اول ω_1=0/7 و وزن تابع هدف دوم ω_2=0/3 در نظر گرفته شده است.

در نهایت مدل پیشنهادی به مدل تک هدفه خطی تبدیل شده و با روش برنامه‌نویسی خطی، حل شده است. تابع هدف مدل پیشنهادی پس از تک هدفه شدن با استفاده از روش وزن-دهی به صورت زیر تغییر یافته است:

$$\min \omega_1 \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{v\in V(p,t)} \left(cl_{tpv}xl_{tpv} + cu_{tpv}xu_{tpv} + cr_{tpv}xr_{tpv}\right) + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P} cs_{tp}xs_{tp} + ci_{tp}xi_{tp} + \omega_2 \min \sum_t w_t \quad (13)$$

4- مقایسه با تحقیقات پیشین

در این بخش به مقایسه مدل پیشنهادی با سایر مدل‌های ارائه شده در زمینه حمل و نقل کانتینر خالی، پرداخته شده است. به منظور مقایسه مد نظر مشخصه‌های اصلی در مدل‌های ارائه شده، استخراج شده است و وجود یا عدم وجود این مشخصه‌ها در مدل‌ها در جدول 1، مورد مقایسه گرفته است. در جدول 1، مشخصه‌هایی نظیر: تعداد و نوع توابع هدف، در نظر گرفتن یا نگرفتن سطح کسری و موجودی، افق برنامه‌ریزی، به تعادل رساندن سطح کسری و مازاد کانتینر خالی و روش حل مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در جدول 1، ویژگی‌هایی که با علامت * مشخص شده‌اند برای اولین بار در ادبیات موضوع حمل و نقل کانتینر خالی، در مدل پیشنهادی در تحقیق حاضر ارائه شده‌اند.

5- آزمایش عددی

در این بخش به منظور اعتبارسنجی کارایی مدل ارائه شده برای مساله حمل و نقل کانتینر خالی و آزمایش عددی، یک شبکه مکانی – زمانی حمل و نقل دریایی بین بنادر ایران که متشکل از 5 بندر، 2 خط کشتیرانی و 4 کشتی (شکل1)، است در هفت دوره زمانی با هدف انتقال کانتینرهای خالی از بنادری که دارای مازاد کانتینر خالی هستند، به بنادری که با کسری کانتینر خالی مواجه‌اند و همچنین به تعادل رساندن مساله در نظر گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به بنادر ایرانی موجود در شبکه می‌باشد و از طریق تحقیقات میدانی به دست آمده‌اند (قابل ذکر است که مقادیر مربوط به پارامترهای هزینه بر مبنای تعرفه‌های سازمان بنادر و دریانوردی در تمام بنادر و دوره‌های زمانی مختلف شبکه، یکسان در نظر گرفته شده‌اند. داده‌ها در جداول 2، 3، 4، و نتایج حاصل از مقادیر بدست آمده مربوط به متغیرهای سطح کسری و موجودی در قیاس با مقادیرشان در دنیای واقعی به منظور مقایسه و اعتبارسنجی نتایج حاصله، در افق زمانی برنامه‌ریزی شده، در جداول 5، 6، 7، 8 و 9، آمده است. لازم به ذکر است که به منظور حل هر مدل از نرم‌افزار Gams 24.1.3 که نرم‌افزاری پرکاربرد در حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی است، استفاده شده است.

در جدول (5)، سطح موجودی کانتینر خالی در بنادر موجود در شبکه مورد مطالعه، در دنیای واقعی به منظور مقایسه نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی آورده شده است. همانطور که در جدول فوق قابل مشاهده است مقادیر موجودی در بنادر 3 و 4 شبکه، بیانگر سطح موجودی کانتینر خالی در این دو بندر

به‌عنوان بنادر وارداتی شبکه است. در حالی‌که با توجه به مقادیر صفر جدول در بنادر 1 و 2 و4، شبکه در دوره‌های زمانی مختلف، این سه بندر به‌عنوان بنادر صادراتی شبکه دارای کسری

Archive of SID

www.SID.ir

کانتینرخالی نسبت به برآورده کردن تقاضای موجود هستند.

جدول 1. مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های ارائه شده پیشین

مدل / مشخصه	Jula et al. 2006	Feng et al. 2008	Moon et al. 2010	Song et al. 2010	Francesco et al. 2013	مدل قطعی پیشنهادی
افق برنامه‌ریزی	چند دوره‌ای	چند دوره‌ای	چند دوره‌ای	چند دوره‌ای	چند دوره‌ای	چند دوره‌ای
سطح کسری و موجودی	موجودی	موجودی	موجودی	موجودی	کسری	*کسری- موجودی
تعادل در مساله	-	کاهش عدم تعادل	-	کاهش عدم تعادل	کاهش عدم تعادل	* تعادل
توابع هدف	تک هدفه	تک هدفه	تک‌هدفه	تک هدفه	تک هدفه	*دو هدفه
جنس توابع هدف	کاهش هزینه	کاهش هزینه	کاهش هزینه	کاهش هزینه	کاهش هزینه	کاهش هزینه- بیشینه کردن قابلیت دسترس‌پذیری
روش حل	LP	LP	GA	NLP	LP	LP

جدول 2. هزینه‌های ثابت بر اساس تعرفه‌های مقرر

Cu	Cl	Ci	Cs
97$	97$	5$	3000$

جدول 3. تقاضای کانتینر خالی

بندر / دوره	1	2	3	4	5	6	7	D_{tp}
1	28	34	25	29	36	26	31	
2	35	31	38	46	34	37	33	
3	0	16	21	13	17	0	20	
4	29	24	42	39	41	47	36	
5	39	45	56	29	42	51	32	

جدول 4. عرضه کانتینر خالی

بندر / دوره	1	2	3	4	5	6	7	S_{tp}
1	36	18	28	37	29	16	35	
2	39	20	32	40	46	24	31	
3	47	38	45	35	47	32	43	
4	20	27	35	33	40	25	32	
5	68	73	62	55	78	53	69	

جدول 5. سطح موجودی بنادر (دنیای واقعی)

Archive of SID

www.SID.ir

xi_{tp}	دوره						
بندر	1	2	3	4	5	6	7
1	8	0	0	3	0	0	0
2	4	0	0	0	0	0	0
3	147	169	193	215	245	277	300
4	0	0	0	0	0	0	0
5	179	207	213	239	313	315	352

جدول6. سطح کسری (دنیای واقعی)

xs_{tp}	دوره						
بندر	1	2	3	4	5	6	7
1	0	8	5	0	4	14	
2	0	7	13	19	7	20	23
3	0	0	0	0	0	0	0
4	9	6	13	19	20	42	46
5	0	0	0	0	0	0	0

جدول (6)، بیانگر مقادیر سطح کسری کانتینر خالی در بنادر شبکه در دوره‌های زمانی مختلف، در دنیای واقعی است. براساس مقادیر داده شده در جدول فوق آشکار است که بنادر 1 و2 و 4، در دوره‌های زمانی مختلف با کسری کانتینر خالی به منظور پاسخ دادن به تقاضا مواجه‌اند. که بیانگر صادراتی بودن این بنادر در دنیای واقعی است. در حالی‌که در بنادر 3 و 5 شبکه، مقدار صفر برای سطح کسری لحاظ شده که در قیاس با جدول (5)، که نشان‌دهنده سطح موجودی بنادر در دنیای واقعی است می‌توان گفت که بنادر 3 و 5 به‌عنوان بنادر وارداتی شبکه دارای حجم مازاد کانتینر خالی هستند و هیچ‌گاه با کسری کانتینر خالی روبرو نخواهند شد. با توجه به مقادیر بدست آمده از حل مدل پیشنهادی، برای سطح موجودی کانتینر خالی، در بنادر در دوره‌های مختلف زمانی در جدول (7)، در قیاس با سطح موجودی در دنیای واقعی (جدول 5)، سطح موجودی در چند دوره‌های زمانی ابتدایی در بنادر 3 و 5 (بنادر وارداتی)، نسبت به بنادر 1و 2 و4 (بنادر صادراتی)، بیشتر است. و با دنیای واقعی کاملا مطابقت دارد. اما همانطور که در جدول (7) مشهود است از دوره 1حجم موجودی کانتینر خالی در بنادر 3 و 5 بواسطه بارگیری کانتینرهای خالی موجودی بر کشتی‌های موجود در شبکه نسبت به موجودی بنادر 3 و 5 در دنیای واقعی جدول (1)، کاهش یافته است. همچنین با توجه به برنامه حرکتی کشتی‌ها در شبکه، کانتینرهای موجودی در بنادر 3 و 5 پس از بارگیری به بنادری (بنادر 1 و 2 و 3)، که با کسری کانتینر خالی مواجه‌اند انتقال داده شده، به‌طوریکه بر اساس جدول (7) در بندر 1 از دوره 3 به بعد و در بنادر 2 و 4 از دوره 4 به بعد سطح موجودی بواسطه تخلیه کانتینر خالی از کشتی‌های شبکه افزایش داشته است و در نتیجه آن سطح کسری در این بنادر، بنابر جدول (8)، به صفر رسیده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که موجودی، در بنادر وارداتی از طریق حمل و نقل کانتینرهای خالی موجودی کاهش یافته و در نقطه مقابل حجم موجودی در بنادر صادراتی شبکه افزایش یافته است. که نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی، ارائه شده در به تعادل رساندن و حل مشکل در دنیای واقعی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 7. سطح موجودی بنادر (مدل پیشنهادی)

xi_{tp}	دوره						
بندر	1	2	3	4	5	6	7
1	8	0	44	101	94	84	88
2	4	0	0	0	40	66	66
3	96	70	120	156	186	218	160
4	0	0	0	0	43	75	71
5	120	105	111	137	173	175	178

جدول 8. مقادیر به دست آمده سطح کسری (مدل پیشنهادی)

xs_{tp}	دوره‌ها						
بندر	1	2	3	4	5	6	7
1	0	8	0	0	0	0	0
2	0	7	13	19	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	9	6	13	19	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0

جدول 9. مقایسه نتایج حاصل از حل مدل‌ها و دنیای واقعی

هزینه کل محاسبه شده در دنیای واقعی	$ 871895
هزینه کل حاصل از حل مدل پیشنهادی	$ 295872/8
درصد کاهش هزینه کل مدل پیشنهادی نسبت به دنیای واقعی	٪66

در جدول (8)، مقادیر به دست آمده سطح کسری از حل مدل پیشنهادی قابل مشاهد است. بنابر مقادیر جدول فوق، در تمامی دوره‌های زمانی، سطح کسری در بنادر 3 و 5، صفر می-باشد که با وارداتی بودن این بنادر و همچنین جدول (5)، که نشان‌دهنده سطح موجودی در دنیای واقعی است، تطابق دارد. در بندر 1، در دوره زمانی 1 و 2 مقادیر کسری منطبق بر میزان کسری در دنیای واقعی (جدول 6)، است. اما از دوره 3 به بعد به‌واسطه انتقال کانتینرهای خالی به این بندر، سطح موجودی کانتینرهای خالی در این بندر افزایش داشته و به تبع آن سطح کسری در سایر دوره‌های افق برنامه‌ریزی کاهش و به صفر رسیده است. در بنادر 2 و 4، هم به همین صورت در دوره‌های 1 تا 4 مقادیر سطح کسری مطابق با دنیای واقعی بدست آمده است که نشان‌دهنده قابلیت انطباق مدل ارائه شده با دنیای واقعی است. اما از دوره 5 به بعد به سبب تخلیه کانتینرهای خالی انتقال داده شده در این دو بندر سطح کسری به صفر رسیده است. نکته قابل توجه سه ستون آخر جدول (8)، به عبارت دیگر دوره‌های زمانی 5 و 6 و 7، می‌باشند که در این دورها سطح کسری در همه بنادر(صادراتی و وارداتی)، صفر بدست آمده است. و بیانگر آن است که مدل پیشنهادی، عدم تعادل کسری کانتینر خالی بین بنادر وارداتی و صادراتی شبکه را به تعادل رسانیده، به گونه‌ای که هیچ بندری با کسری کانتینر خالی مواجه نشود.که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل قطعی ارائه شده است.

در این بخش به مقایسه هزینه کل حاصل از حل مدل پیشنهادی، و دنیای واقعی پرداخته می‌شود. در جدول (9)، مقادیر هزینه کل مربوط به دنیای واقعی و هزینه کل حاصل از حل مدل پیشنهادی برای مساله حمل و نقل کانتینر خالی، آمده است. همانطور که از مقادیر جدول (9)، قابل مشاهد است.

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از مدل پیشنهادی با دو هدف کاهش هزینه کل و بیشینه کردن قابلیت دسترسی به کانتینر خالی، با کاهش هزینه قابل توجه برای مساله حمل و نقل کانتینر خالی نسبت به دنیای واقعی همراه است. به‌طوریکه می‌توان گفت کاهش هزینه 66٪ در نتایج بدست آمده از حل مدل پیشنهادی نسبت به دنیای واقعی، به دلیل به حداکثر رساندن قابلیت دسترس‌پذیری در بنادر صادراتی و به تعادل رساندن سطح کسری کانتینر خالی در بنادر شبکه، مورد مطالعه است که در نتیجه آن کاهش هزینه انبارداری، جابجایی، استهلاک، چیدمان در بنادر وارداتی و همچنین کاهش هزینه کسری (خرید، اجاره ...) و هزینه فرصت از دست رفته، پاسخ‌گویی به تقاضا در زمان مناسب، رضایت‌مندی مشتری و افزایش ارزآوری اقتصادی در بنادر صادراتی، رخ می‌دهد. که نشان‌دهنده کارایی مدل ارائه شده در به تعادل رساندن سطح کسری در مساله و بهینگی اهداف تعیین شده است.

5-نتیجه‌گیری

بدون شک یکی از عوامل توسعه حمل و نقل و افزایش سرعت آن در دنیای امروز به وجود آمدن حمل و نقل کانتینری است. از این رو با توجه به اهمیت معضل کانتینر خالی در تمامی بنادر دنیا، در این تحقیق به بررسی مساله حمل و نقل کانتینر خالی با در نظر گرفتن شکاف‌های تئوریک و انطباق آن با دنیای واقعی پرداخته شده است. و در این راستا مدل برنامه‌ریزی جدید، با دو هدف کمینه کردن هزینه کل و بیشینه کردن قابلیت دسترسی به کانتینر خالی در بنادر صادراتی و در نتیجه آن حداکثر کردن رضایت‌مندی مشتری و افزایش ارزآوری اقتصادی، ارائه شده است. از نقاط قوت مدل پیشنهادی این مقاله در نظر گرفتن بیشینه قابلیت دسترسی به کانتینر خالی در بنادر صادراتی به‌عنوان هدفی که شرکت‌های حمل و نقل کانتینری بر آن تاکید فراوان دارند و به تعادل رساندن سطح کسری و مازاد کانتینر خالی در بنادر مختلف موجود در شبکه حمل و نقل مورد مطالعه می‌باشد که برای اولین بار در ادبیات موضوع انجام شده است.

به منظور بررسی و اعتبارسنجی مدل ارائه شده برای مساله حمل و نقل کانتینر خالی در تحقیق حاضر، با در نظر گرفتن یک شبکه مکانی– زمانی از بنادر دریایی ایران و داده‌های مربوط به بنادر موجود در شبکه، مدل پیشنهادی به روش برنامه‌نویسی خطی با استفاده از نرم‌افزار Gams حل شده است. نتایج محاسباتی بدست آمده نشان‌دهنده آن است که استفاده از مدل پیشنهادی با کاهش هزینه قابل توجه برای مساله حمل و نقل کانتینر خالی نسبت به دنیای واقعی همراه است. به‌طوری‌که می‌توان گفت کاهش هزینه 66٪ در نتایج بدست آمده از حل مدل ارائه شده، نسبت به دنیای واقعی، به علت به تعادل رساندن سطح کسری و سطح موجودی در بنادر مختلف بوده است. که در نتیجه آن کاهش هزینه انبارداری، جابجایی، استهلاک و چیدمان کانتینرخالی در بنادر وارداتی و همچنین کاهش هزینه کمبود و هزینه فرصت از دست رفته، پاسخ‌گویی به تقاضا در زمان مناسب، افزایش رضایت‌مندی مشتری و ارزآوری به لحاظ اقتصاد کشوری، در بنادر صادراتی به میزان چشم‌گیری رخ داده است، که از نتایج اصلی حاصل از حل مدل پیشنهادی می‌باشد، و نشان‌دهنده کارایی مدل ارائه شده در به تعادل رساندن سطح کسری کانتینر خالی در بنادر مختلف شبکه و بهینگی اهداف تعیین شده است. در نهایت براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های عددی و مقایسه با دنیای واقعی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده در تحقیق حاضر می‌تواند روشی موثر و کارآمد برای مساله حمل و نقل کانتینرهای خالی در دنیای واقعی باشد. در همین راستا به عنوان تحقیقات آتی، حل مساله مذکور با استفاده از سایر روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه، و ارائه مدل بهینه‌سازی مساله حمل و نقل کانتینر خالی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترهای مساله، پیشنهاد می‌شود.

6-مراجع

- Kaveshgar, N. & Huynh, N., 2015. Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers. Int. J.ProductionEconomics, Volume 159, p. 168-177.
- Choong, S. T., Cole, M. H., & Kutanoglu, E. (2002). Empty container management for intermodal transportation networks. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 38(6), pp.423-438.
- Li, J. A., Liu, K., Leung, S. C., & Lai, K. K. (2004). Empty container management in a
- Dong, J. X., & Song, D. P. (2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. Transportation Research

Archive of SID

www.SID.ir

- MOON, I.-K., DO NGOC, A.-D. & HUR, Y.-S. 2010. Positioning empty containers among multiple ports with leasing and purchasing considerations. OR spectrum, 32, pp.765-786.

- Zhang, R., Yun, W. Y., & Moon, I. K. (2011). Modeling and optimization of a container drayage problem with resource constraints. International Journal of Production Economics, 133(1), pp.351-359.

- SONG, D.-P. & ZHANG, Q. 2010. A fluid flow model for empty container repositioning policy with a single port and stochastic demand. SIAM Journal on Control and Optimization, 48, pp.3623-3642.

- FRANCESCO, DI, M., LAI, M. & ZUDDAS, P. 2013. Maritime repositioning of empty containers under uncertain port disruptions. Computers & Industrial Engineering, 64, pp.827-837.

Part E: Logistics and Transportation Review, 45(6), pp.860-877.

- Li, J. A., Leung, S. C., Wu, Y., & Liu, K. (2007). Allocation of empty containers between multi-ports. European Journal of Operational Research, 182(1), pp.400-412.

- Moon, I., Do Ngoc, A. D., & Konings, R. (2013). Foldable and standard containers in empty container repositioning. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 49(1), pp.107-124.

- Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2006). Port dynamic empty container reuse. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,42(1), pp.43-60.

- Feng, C. M., & Chang, C. H. (2008). Empty container reposition planning for intra-Asia liner shipping. Maritime Policy & Management, 35(5), pp.469-489.

Archive of SID

www.SID.ir