

## ارایه مدل تغییر موقعیت کانتینر خالی تحت شرایط عدم قطعیت مبتنی بر اثر ریسک ادغام

### مقاله پژوهشی

ناصر صفایی\*، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
مرتضی عباسی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران  
مجید عباسی دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران  
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: nsafaie@kntu.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۴/۰۲ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲

صفحه ۱۸۴-۱۷۷

### چکیده

افزایش نرخ رشد صنعت حمل و نقل کانتینری در دهه‌های اخیر و پیش بینی ادامه روند این رشد در سالیان آتی، نشان دهنده اهمیت حمل و نقل کانتینری و نقش کلیدی کانتینرها در حمل و نقل دریایی است. 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 یا بر جاست. این ناهماهنگی بین واردات و صادرات کالا، معضلی به نام کانتینر خالی را به وجود آورده است. در این مقاله به بررسی مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی در شرایط عدم قطعیت، پرداخته شده است. از رویکرد استوار سناریویی مبتنی بر اثر ریسک ادغام، به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت برخی از پارامترهای مساله، تحت سناریوهای مختلف استفاده شده است. در نهایت نتایج محاسباتی حاصل نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی تحت شرایط عدم قطعیت و اهمیت استفاده از رویکرد استوار در حل مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی است.

واژه‌های کلیدی: تغییر موقعیت کانتینر، حمل و نقل دریایی، عدم قطعیت

### ۱- مقدمه

عدم توازن میزان صادرات و واردات در مسیر رفت و برگشت و عدم تطابق نوع کالاهای مسیر رفت و برگشت منجر به جابه‌جایی کانتینرهای خالی در سطوح منطقه‌ای، بین منطقه‌ای و بین‌المللی می‌گردد. مهم‌ترین آسیب اقتصادی از این ناحیه، متوجه خطوط کشتیرانی است زیرا کانتینرها دارایی‌های این خطوط بوده و برای تهیه آن هزینه‌های بسیاری صرف شده است. زمانی که کانتینرهای یک کشتی در اسکله‌ی بنادر تخلیه می‌شوند و ظرف مدت کوتاهی مجدداً به چرخه عملیاتی خطوط کشتیرانی باز نمی‌گردند شرکت‌های کشتیرانی ناگزیر تصمیم به ترک بندر می‌گیرند که در این صورت، بازنده اصلی مناطق اطراف این بنادر یا حتی کشوری که دچار عدم توازن در

در دهه‌های گذشته متصدیان حمل و نقل، جهت حمل کالاها با مشکلات فراوانی مواجه بودند اما ظهور کانتینر در اواسط ده ۱۹۵۰ میلادی صنعت حمل و نقل را دگرگون ساخت. کانتینر افزایش سرعت و ایمنی حمل، کاهش خسارات و کاهش وابستگی به نیروی انسانی را به ارمغان آورد که مؤلفه‌های کلیدی در گسترش استفاده از آن هستند. کانتینرها دارایی خطوط کشتیرانی هستند که باید پس از تخلیه بار محتوای آن، به سرعت به چرخه‌ی درآمد زایی بازگردانیده شوند تا این شرکت‌ها از دارایی و سرمایه خود حداکثر بهره را ببرند. اگر کانتینرها قادر باشند در هر دو مسیر رفت و برگشت بار جابه‌جا کنند بسیار مقرون به صرفه‌تر خواهند شد اما متأسفانه همواره

صادرات و واردات است، خواهد بود. در واقع معضل کانتینرهای خالی در همه بنادر جهان وجود دارد، اما میزان موفقیت بنادر در مدیریت این پدیده نیز با هم تفاوت دارد. عدم توازن تجاری، تنها دلیل برای تجمیع کانتینرهای خالی نیست و عوامل دیگری مانند هزینه‌های حمل و نقل داخلی، شرکت‌های اجاره دهنده کانتینر و نوع قراردادهای آن‌ها، هزینه‌های پایین تولید کانتینر جدید نسبت به جابه‌جایی خالی و نیز هزینه‌های بازرسی به ایجاد این مشکل کمک می‌کنند (بوئل و همکاران ۲۰۰۹). در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت مساله، مدل‌های مختلفی برای مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی در شرایط قطعی و غیرقطعی ارائه شده است. اولین مطالعات بر برنامه‌ریزی کانتینر خالی به اوایل ده ۱۹۷۰ برمی‌گردد. وایت، الگوریتمی برای حل مساله توزیع کانتینر خالی ارائه کرده است (وایت و همکاران ۱۹۷۲). ارمول و همکاران، به بررسی مدل شبکه‌ای برای برنامه‌ریزی کانتینرهای خالی روی کشتی با در نظر گرفتن هزینه حمل و نقل و هزینه اجاره کانتینر پرداخته است. شان و همکاران، یک سیستم پشتیبانی تصمیم، برای تغییر موقعیت چند دوره‌ای کانتینرهای خالی پیشنهاد داده‌اند (شن و همکاران، ۱۹۹۵). سایر مدل‌هایی که در ده ۲۰۰۰ برای حل مسائل تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه شده‌اند (لی و همکاران ۲۰۰۴، اولیو و همکاران ۲۰۱۳، سانگ و همکاران ۲۰۰۷، فنگ و همکاران ۲۰۰۸). چائو و همکاران، یک مدل ریاضی برای تغییر موقعیت کانتینر در شبکه خدمات چند محصولی شرق و شمال چین ارائه کرده‌اند (چائو و همکاران، ۲۰۱۲). سانگ و دانگ، به بررسی سیاست تغییر موقعیت کانتینرهای خالی با در نظر گرفتن بنادر مقصد انعطاف‌پذیر پرداخته‌اند (سانگ و دانگ، ۲۰۱۱). بل و همکاران، مدل تخصیص کانتینر برای به حداقل رساندن هزینه تخصیص کانتینرها به مسیرهای مختلف ارائه داده‌اند، که به روش برنامه‌نویسی خطی حل شده است (بل و همکاران، ۲۰۱۳). بریکرز و همکاران، مدلی با هدف تعیین مسیرهای بهینه حمل و نقل به منظور توزیع خدمات بین بندر اصلی و چند بندر دور دست، در زمینه تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه داده‌اند (بریکرز و همکاران، ۲۰۱۳). ولف و همکاران در سال ۲۰۱۲ مساله کانتینرهای خالی را در منطقه بالتیک بررسی کرده‌اند. آن‌ها بیان داشته‌اند در حالی که در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ میزان سهم جابه‌جایی کشورهای جهان از کانتینرهای خالی ۲۰ درصد بوده است، در منطقه بالتیک، ۲۱ تا ۲۵ درصد کانتینر خالی جا به جا شده است و راهکارهای زیر را برای حل این مشکل ضروری می‌دانند: کاهش هزینه‌های مکان‌یابی مجدد برای کانتینر خالی شده، استانداردسازی جریان اطلاعات، ردیابی و قابلیت دانستن محل کانتینر، کنترل فرایند عملیات در ترمینال، قیمت‌گذاری، ادغام‌های عمودی و افقی، هماهنگی

زیر ساخت‌ها و رو ساخت‌ها و بررسی موقعیت بازار (وولف و همکاران، ۲۰۱۲). در مقاله‌ای تحت عنوان مساله طراحی شبکه کشتیرانی کانتینری با در نظر گرفتن بازآوری کانتینرهای خالی، به طراحی شبکه مسیرهای کشتیرانی لاینری کانتینری با در نظر گرفتن موجودیت کانتینرهای خالی پرداخته‌اند. در این مقاله مساله طراحی مسیر کانتینرها با در نظر گرفتن دو زیر مساله دنبال می‌شود. مبحث اول مربوط به کانتینرهای پر و بارگیری شده است و در قسمت دوم به وجود کانتینرهای خالی در کشتی پرداخته می‌شود به عبارتی برای طراحی شبکه و مسیریابی کشتی‌های کانتینری به جای جدا کردن کانتینرهای پر و خالی به در نظر گرفتن همزمان وجود کانتینر پر و خالی در کشتی پرداخته شده است و با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعدادی بنادر را به عنوان بندر مقصد معرفی کرده و در عمل به کارگرفتن این روش منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد شرکت‌های کشتیرانی شده است (شیتین و همکاران، ۲۰۰۷). در مقاله دیگر به تجزیه و تحلیل مدل‌ها و راه‌حل‌های مختلف برای مسدود سازی مشکلات ظرفیت کانتینری از طریق منشور حمل و نقل بین الملل اورپا و آسیا پرداخته شده است (کوزمیک و همکاران ۲۰۱۹). سایر تحقیقات منتشر شده، شامل اصول بحرانی مختلف بر شبکه خدمات، افق برنامه‌ریزی، و حمل و نقل درون مرزی، و همچنین شرایط عدم تعادل کانتینر بین بنادراست (مینگ و همکاران ۲۰۱۱، یان و همکاران ۲۰۱۱، سعیدی و همکاران ۲۰۱۳). سانگ و همکاران، مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی، را با در نظر گرفتن تقاضای تصادفی در بنادر فرموله کرده‌اند (سانگ و همکاران، ۲۰۱۰). فرانسیسکو و همکاران، به بررسی مساله تغییر موقعیت کانتینرهای خالی در شبکه دریایی تحت اختلالات بندری پرداخته‌اند و به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط به داده‌های مساله از روش برنامه‌نویسی تصادفی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، استفاده کرده‌اند (فرانسیسکو و همکاران، ۲۰۱۳). وانگ و همکاران، مدل بهینه‌سازی مینی بر بازده با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی برای مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه داده‌اند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵). در ادبیات رویکردهای مختلفی از قبیل برنامه‌نویسی ریاضی، رویکرد تصادفی و فازی، برای مقابله با شکل‌های مختلف عدم قطعیت استفاده شده است. اخیراً رویکرد بهینه‌سازی استوار، به‌عنوان تکنیکی قوی در مقابله با عدم قطعیت‌های مختلف دنیای واقعی در مسائل برنامه‌ریزی به کار گرفته شده است. بهینه‌سازی استوار با ایجاد راه‌حلی استوار و خوب برای هر پیش‌آمد، احتمالی از پارامترهای غیرقطعی، رویکردی بسیار کارا و مفید است (مالوی و همکاران، ۱۹۹۵). مفهوم بهینه‌سازی استوار در تحقیق در عملیات توسط مالوی و همکاران (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵۶)، معرفی شده

محوطه کانتینرهای خالی حمل و نگهداری می‌شوند. در مورد کانتینرهای گروه دوم پس از اینکه کامیون حامل آنها با ارایه شناسنامه نسبت به تحویل آنها به محوطه کانتینری اقدام نماید، همزمان با تخلیه توسط بار شمار ترمینال کانتینر از طریق سیستم نسبت به ثبت ورود و صدور قبض انبار خالی اقدام می‌شود هر دو گروه از زمان صدور قبض انبار مشمول پرداخت انبارداری کانتینر خالی شده که مطابق با تعرفه‌های مصوب سازمان بنادر و دریانوردی به حساب کشتیرانی مربوطه منظور خواهد شد. کانتینرهای خالی فوق همچنان در ترمینال نگهداری می‌شوند تا زمانی که خط کشتیرانی نسبت به اخذ پروانه و بارگیری آنها به شناور یا بارگیری به کامیون و حمل زمینی اقدام نماید. در هر صورت تا زمان بارگیری انبارداری پرداخت خواهد شد کانتینرهایی که قرار است در محوطه C.F.S تخلیه شوند از تعداد روز مشخص، معافیت در پرداخت انبارداری برخوردارند و صاحب کالای وارداتی بعد از رسیدن کالا به بندر و شروع فرآیند اظهار و کارهای گمرکی به مدت زمان تعیین شده، برای تحویل کانتینر خالی فرصت دارد و در مورد کانتینرهایی که از بندر خارج می‌شوند یا در اصطلاح ترانزیت می‌شوند، نمایندگی شرکت کشتیرانی با دفتر اصلی هماهنگ کرده و معادل ارزش کانتینر از صاحب کالا ضمانت دریافت می‌کند. صاحب بار موظف است بعد از تخلیه بار محتوای کانتینر، کانتینر خالی را در دپوی اعلام شده از جانب خط کشتیرانی تحویل دهد و بعد از انجام فرایند تحویل و تحول با حضور ناظر عملیات، در صورتی که کانتینر آسیبی ندیده باشد مابقی مبلغ سپرده شده، پس از اخذ هزینه‌های متحمل شده به صاحب کالا برگردانده می‌شود و در صورت آسیب رسیدن به کانتینر، کانتینر خالی به محل‌های تعمیر کانتینر منتقل شده و هزینه‌ها از مقدار ضمانت شده کسر می‌گردد و مابقی آن تحویل صاحب کالا می‌شود. جریان مدیریت تعداد و محل کانتینرهای خالی مدیریتی پویا است و با آمارگیری‌های روزانه در مورد تعداد کانتینرهای خالی و تعداد متقاضیان تحقیق می‌شود. بنابراین می‌توان گفت در جریان حمل و نقل کانتینری، کانتینرهای پر، از بندر مبدا بر اساس 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 حالی که بنادر صادراتی با کمبود کانتینر خالی مواجه‌اند (کاوشگر و همکارا ۲۰۱۵)، این عدم توازن باعث می‌شود تا بنادر وارداتی با مشکلاتی از قبیل هزینه‌های سرسام‌آور چیدمان، نگهداری، تخلیه و بارگیری، کمبود محوطه و امکانات نگهداری و غیره، مواجهه باشند. در حالی که 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

است. آنها یک رویکرد همتای استوار با یک تابع غیرخطی ارائه داده‌اند و عدم قطعیت‌ها را از طریق مجموعه سناریوهای گسسته بررسی کرده‌اند. بن تال و نمیروفسکی، رویکرد بهینه‌سازی استوار برای فرموله کردن پارامترهای غیرقطعی پیوسته ارایه داده‌اند (بن تال و نمیروفسکی، ۱۹۹۸). بن تال و همکاران، یک نظریه استوار از مسائل خطی، درجه دوم و مخروطی پیشنهاد داده‌اند (بن تال و نمیروفسکی ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳). برتسیمس و همکاران، روش‌های استوار برای بهینه‌سازی گسسته در فضاهای پیوسته ارایه داده‌اند (برتسیمس و همکاران، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴). در این مقاله مدل استوار مساله مذکور با در نظر گرفتن عدم قطعیت برخی از پارامترهای مساله در دنیای واقعی تحت سناریوهای مختلف مبتنی بر اثر ریسک ادغام، در دنیای واقعی ارایه شده است. همچنین به منظور ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی، از مجموعه داده‌های مقاله عباسی و نهاوندی (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶) استفاده شده است. در ادامه، ساختار مقاله به صورت زیر می‌باشد: در بخش ۲، تعریف و مدل‌سازی مساله ارایه شده است. در بخش‌های ۳ و ۴، به رویکرد و مدل استوار پیشنهادی و در بخش ۵ به آزمایش عددی پرداخته شده است. و در نهایت در بخش ۶، نتیجه‌گیری تحقیق بیان شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

کشتیرانی‌ها با روش‌های مختلف حمل کانتینرهای خالی خود را به بنادر می‌رسانند و به محض رسیدن کانتینر خالی به بندر با در نظر گرفتن مجوز خط کشتیرانی مبنی بر تحویل‌گیری کانتینر خالی، براساس تاریخ ورود و بر اساس خط کشتیرانی در محل‌های اختصاصی دپو می‌شوند و بر اساس تاریخ نیز بارگیری می‌گردند. عرصه فعالیت شرکت‌های کشتیرانی بین المللی است. بنابراین، با تعیین نمایندگی‌هایی در نقاط مختلف جهان، ارتباط صاحبان بار با دفاتر اصلی را برقرار می‌سازند. کانتینرهای خالی موجود در بندر دو دسته هستند: نوع اول کانتینرهای خالی که حاصل استریپ کالا در محوطه C.F.S می‌باشند و نوع دوم کانتینرهای خالی که بعد از حمل کالا با کانتینر به مقصد نهایی و برگشت (پس از تخلیه کالا در محل مورد نظر صاحب آن) در بندر تخلیه می‌شوند. کانتینرهای این دسته معمولاً از راه حمل و نقل زمینی مجدداً به بندر وارد کننده یا در صورت دستور خط کشتیرانی در محل مورد درخواست خط کشتیرانی تحویل می‌گردند قسمتی از کانتینرهای خالی بندر مربوط به دسته اول و قسمتی از آنها مربوط به دسته دوم می‌باشد. کانتینرهای گروه اول پس از انتقال به محوطه C.F.S و تخلیه محموله‌های آنها با صدور قبض انبار کانتینر خالی به

|  |                |  |
|--|----------------|--|
| مدت زمانی که کشتی $v \in W(p, t)$ در بندر $p$ سپری می‌کند. | $\alpha_{tpv}$ | اقتصادی به بنادر سایر کشورهای همسایه، روبرو هستند. بنابراین شرکت‌های حمل و نقل کانتینری برای رفع این مشکل باید به صورت دوره‌ای، کانتینرهای خالی را بین بنادر وارداتی و صادراتی انتقال دهند. در واقع، هدف از مساله تغییر موقعیت 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 (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶). در این راستا به دلیل عدم قطعیت‌های مساله در دنیای واقعی، از روش استوار سناریویی مبتنی بر اثر ریسک ادغام برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها و داده‌های مساله استفاده شده است. |
| هزینه نگهداری کانتینر خالی در بندر $p$ در دوره $t$         | $ci_{tp}$      |  |
| هزینه کسری کانتینر خالی در بندر $p$ در دوره $t$ ام         | $cs_{tp}$      |  |
| هزینه بارگیری بر کشتی $v$ در بندر $p$ در دوره $t$ ام       | $cl_{tpv}$     |  |
| هزینه تخلیه از کشتی $v$ در بندر $p$ در دوره $t$ ام         | $cu_{tpv}$     |  |
| هزینه حمل و نقل توسط کشتی $v$ از بندر $p$ در دوره $t$ ام   | $cr_{tpv}$     |  |
| ظرفیت نگهداری کانتینر خالی در بندر $p$ در دوره $t$         | $Ui_{pt}$      |  |

#### نمادگذاری

#### پارامترها

|   |            |   |            |
|---|------------|---|------------|
| حداکثر ظرفیت تخلیه و بارگیری بر کشتی $v \in V(p, t)$ در مدت زمانی که در بندر $p$ سپری می‌کند. | $U_{tpv}$  | بندر  | $p$        |
| ظرفیت کشتی $v$ برای انتقال کانتینر خالی از بندر $p$ به سایر بنادر در دوره $t$ ام              | $Ur_{tpv}$ | کشتی  | $v$        |
|   |            | دوره زمانی  | $t$        |
|   |            | فاصله زمانی بین دو بندر متوالی                                    | $\tau$     |
|   |            | اندیس نشان‌دهنده هر سناریو  | $s$        |
|   |            | مجموعه سناریوها   | $\Omega$   |
|   |            | احتمال هر سناریو  | $p_s$      |
|   |            | وزن جریمه برای محدودیت‌های نشدنی                                  | $\omega$   |
|   |            | پارامتر تعادلی ریسک بین میانگین مقدار تابع هدف و واریانس آن       | $\lambda$  |
|   |            | مقدار جریمه برای نشدنی بودن محدودیت‌های کنترلی $S$ تحت سناریو $s$ | $\delta_s$ |
|   |            | مقدار انحراف تابع هدف از میانگین آن تحت سناریو $S$                | $\theta_s$ |

### ۳- رویکرد استوار

یکی از موضوعات بسیار مهم در مسئله مورد بررسی عدم قطعیت موجود در بین پارامترهای مسئله می باشد. به منظور تحت کنترل درآوردن تاثیرات این پارامتر بر نتایج حاصل، از راهبردهای ریسک ادغام و همچنین رویکرد سناریویی به عنوان روش‌هایی موثر در ادبیات موضوع جهت مدیریت عدم قطعیت پارامترهای غیر قطعی است. در این مقاله از رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت مدل‌سازی عدم قطعیت پارامترهای مساله استفاده شده است. چارچوب کلی مدل استوار سناریویی ارائه شده

مجموعه بنادر  $P$   
 مجموعه کشتی‌هایی که در دوره  $t$  به بندر  $p$  می‌رسند.  $\gamma(p, t)$

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

تقاضا در بندر  $p$  در دوره  $t$  ام  $D_{tp}$

عرضه در بندر  $p$  در دوره  $t$  ام  $S_{tp}$

عدم قطعیت استفاده شده است. در ادامه به منظور مدل سازی، مدل استوار پیشنهادی مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی، مدل قطعی (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶)، بر مبنای مالوی و همکاران (مالوی و همکاران، ۱۹۹۵)، فرمول بندی شده است. مدل بهینه سازی استوار ارایه شده برای مساله مذکور به صورت زیر است:

$$\min \sum_{s \in \Omega} p_s \zeta_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s \left[ \left( \zeta_s - \sum_{s \in \Omega} p_s \zeta_s \right) + 2\theta_s \right] \quad (9)$$

$$+ \omega \sum_{s \in \Omega} p_s \delta_s \quad \forall s \in \Omega$$

Subject to:

$$AX \leq b \quad (10)$$

$$\zeta_s - \sum_{s \in \Omega} p_s \zeta_s + \theta_s \geq 0 \quad \forall s \in \Omega \quad (11)$$

$$\theta_s \geq 0 \quad \forall s \in \Omega \quad (12)$$

قسمت اول و دوم تابع هدف (۹)، استواری راه حل را اندازه گیری می کند. قسمت سوم در (۹)، استواری مدل را اندازه گیری می کند.  $\zeta_s$  نشان دهنده تابع هدف مدل قطعی پیشنهادی توسط عباسی و نهاوندی (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶)، تحت سناریو S است. رابطه (۱۰)، محدودیت ساختاری مدل استوار است که نشان دهنده محدودیت های مدل قطعی می باشد و رابطه (۱۱)، که به منظور خطی سازی مدل توسط یو و لی (یو و لی، ۲۰۰۰)، به مدل اضافه شده است.

## ۵- آزمایش عددی

در این بخش به مقایسه نتایج حاصل از حل مدل استوار پیشنهادی در قیاس با مدل قطعی ارایه شده (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶)، پرداخته شده است. مقادیر هزینه کل مربوط مدل استوار پیشنهادی برای مساله، به میزان ۲۱۱۱۰۸/۲۹ دلار به دست آمده است. همانطور که قابل مشاهده است، مدل پیشنهادی در این مقاله، با در نظر گرفتن فرض عدم قطعیت پارامترهای مساله تحت سناریوهای تعیین شده، کاهش قابل ملاحظه هزینه کل را نسبت به مدل قطعی پیشنهادی ۲۹۵۸۷۲/۸ دلار (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶)، نشان دهنده عملکرد مناسب تر مدل استوار نسبت به مدل قطعی است. لذا با توجه به نتایج محاسباتی حاصل می توان دریافت که مدل استوار پیشنهادی نسبت به مدل قطعی عملکرد مناسب تری می باشد.

توسط مالوی و همکاران (مالوی و همکاران، ۱۹۹۵). عبارت است از: مدل LP بهینه سازی اولیه زیر را در نظر بگیرید:

$$\text{Min } Cc^T + d^T y \quad (1)$$

$$\text{Subject TO:} \quad (2)$$

$$Ax = b \quad (3)$$

$$Bx + Cy = e \quad (4)$$

$$x, y \geq 0.$$

جایی که X بردار متغیرهای تصمیم و Y بردار متغیرهای کنترل است. محدودیت (۲) محدودیت ساختاری است که ضرایب آن قطعی و بدون نقص هستند. محدودیت (۳) محدودیت کنترلی است که ضرایب آن تصادفی هستند. در بهینه سازی استوار مالوی و همکاران، عدم قطعیت پارامترها با مجموعه ای از سناریوها  $\Omega$  مدل شده است.  $\sum p_s = 1$  جایی که  $p_s$  احتمال سناریو S است. رویکرد بهینه سازی استوار سناریو محور شده به شکل زیر است.

$$\text{Min } \sigma(x, y_1, \dots, y_s) + \omega \rho(\theta_1, \dots, \theta_s) \quad (5)$$

Subject to:

$$Ax = b \quad (6)$$

$$B_s x + C_s y_s + \theta_s = e_s, \quad \forall s \in \Omega \quad (7)$$

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \theta_s \geq 0, \quad \forall s \in \Omega \quad (8)$$

هدف این مدل تعادل بین تبادلات استواری مدل و استواری راه حل است. راه حل بهینه در ارتباط با بهینگی همچنان استوار است اگر برای هر فهم از سناریو  $s \in \Omega$  همچنان نزدیک به بهینه باقی بماند (استواری راه حل). از طرف دیگر راه حل همچنان در ارتباط با استواری موجه است اگر برای هر فهم از سناریو خاص همچنان تقریباً موجه باقی بماند (استواری مدل). غیرموجه بودن مدل به وسیله تابع جریمه اندازه گیری می شود. پارامتر  $\theta_s$  برای استواری مدل تعریف شده است که عدم امکان پذیری در محدودیت های کنترلی تحت سناریو S را اندازه گیری می کند.

## ۴- مدل استوار

در این مقاله از رویکرد استوار سناریویی ارایه شده توسط مالوی و همکاران و اصلاح شده توسط یو و لی در سال ۲۰۰۰ بر مبنای مدل قطعی تغییر موقعیت کانتینر خالی ارایه شده توسط عباسی و نهاوندی (عباسی و نهاوندی، ۱۳۹۶)، برای فرمول کردن مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی تحت شرایط

## ۶- نتیجه گیری

-Ben-Tal, A. and Nemirovski, A., (2002), "Robust optimization—methodology and applications. *Mathematical Programming*, 92(3), pp.453-480.

-Ben-Tal, A., Nemirovski, A. and Roos, C., 2002. Robust solutions of uncertain quadratic and conic-quadratic problems. *SIAM Journal on Optimization*, 13(2), pp.535-560.

-Bertsimas, D. and Sim, M., (2003), "Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical programming*, 98(1-3), pp.49-71.

-Bertsimas, D. and Thiele, A., (2004), "A robust optimization approach to supply chain management". In *International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization*, pp. 86-100.

-Braekers, K., Caris, A. and Janssens, G.K., (2013), "Optimal shipping routes and vessel size for intermodal barge transport with empty container repositioning", *Computers in industry*, 64(2), pp.155-164.

-Chao, S.L. and Yu, H.C., (2012), "Repositioning empty containers in East and North China ports. *Maritime Economics & Logistics*, 14(4), pp.435-454.

-Di Francesco, M., Lai, M. and Zuddas, P., (2013), "Maritime repositioning of empty containers under uncertain port disruptions". *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), pp.827-837.

-Eichhorn, A., H. Heitsch, and W. Römis, (2010), "Stochastic Optimization of Electricity Portfolios: Scenario Tree Modeling and Risk Management, in *Handbook of Power Systems II*, S. Rebennack, et al., Editors, Springer Berlin Heidelberg.

-Ermol'ev, Y.M., Krivets, T.A. and Petukhov, V.S., (1976), "Planning of shipping empty seaborne containers", *Cybernetics and Systems Analysis*, 12(4), pp.644-646.

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

-Hjortnaes, T., Wiegman, B., Negenborn, R.R.,

با گذشت بیش از نیم قرن از ابداع کانتینرها، مزایای این روش حمل و نقل سبب شده است استقبال بسیار خوبی از آن به عمل آید. به طوری که امروزه بنادر سالانه قریب به ۷۰۰ میلیون TUE کانتینر را تخلیه و بارگیری می نمایند که به طور متوسط به ازای هر ده نفر جمعیت روی زمین، بنادر یک TUE کانتینر عملیات انجام می دهند. این حجم از ترافیک و عملیات کانتینری سبب شده که بسیاری از بنادر دنیا در زمینه حمل و نقل کانتینری سرمایه گذاری کند. در این مقاله مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی با در نظر گرفتن اثر ریسک ادغام بررسی گردید. همچنین به منظور مواجه با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل از روش بهینه سازی استوار استفاده گردید. مدل استوار سناریویی تغییر موقعیت کانتینرهای خالی با در نظر گرفتن عدم قطعیت برخی پارامترهای مساله تحت سناریوهای واقعی مدل سازی و ارایه شده است.

نتایج محاسباتی حاصل از آزمایشات عددی بیانگر آن است که مدل پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای مساله شامل تقاضا، عرضه و ظرفیت تخلیه و بارگیری، هزینه کل مساله تغییر موقعیت کانتینرهای خالی را نسبت به مدل قطعی، کاهش داده است. که این امر به علت کاهش اثر نوسانات پارامترهای غیرقطعی در شرایط عدم قطعیت تحت سناریوهای مختلف منطبق با دنیای واقعی است. لذا می توان گفت که مدل استوار پیشنهادی می تواند روشی موثر و انعطاف پذیرتر از مدل قطعی برای مساله تغییر موقعیت کانتینرهای خالی در دنیای واقعی باشد.

## ۷- مراجع

-عباسی، م. و نهاوندی، ن.، (۱۳۹۶)، "ارایه مدل چند هدفه برنامه ریزی حمل و نقل کانتینر خالی (مورد مطالعاتی: بنادر ایران)"، پژوهشنامه حمل و نقل، ص. ۱۸۹-۲۰۳.

-Bell, M.G., Liu, X., Rioult, J. and Angeloudis, P., (2013), "A cost-based maritime container assignment model". *Transportation Research Part B: Methodological*, 58, pp.58-70.

-Ben-Tal, A. and Nemirovski, A., (1998), "Robust convex optimization. *Mathematics of operations research*", 23(4), pp.769-805.

- Song, D.P., (2007), "Analysis of a collaborative strategy in container fleet management. In the 11th world conference on transport research, University of California, Berkeley.
- Theofanis, S., & Boile, M., (2009), "Empty marine container logistics: facts, issues and anagementstrategies, *GeoJournal*, 74(1), pp.51.
- Shen, W.S. and Khoong, C.M., (1995), "A DSS for empty container distribution planning", *Decision Support Systems*, 15(1), pp.75-82.
- Tuncel, G., Alpan, G., (2010), "Risk assessment and management for supply chain networks: A case study". *Computers in Industry*, 61 (3), pp.250-259.
- White, W.W., (1972), "Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers. *Networks*, 2(3), pp.211-236.
- Wolff, J., Herz, N. and Flämig, H., (2012), "Empty Container Management", Institute for Transport Planning and Logistics. Hamburg University of Technology (TUHH).
- Wong, E.Y., Lau, H.Y. and Mak, K.L., (2010), "Immunity-based evolutionary algorithm for optimal global container repositioning in liner shipping". *Or Spectrum*, 32(3), pp.739-763.
- Wong, E.Y., Tai, A. and Raman, M., (2015), "A maritime container repositioning yield-based optimization model with uncertain upsurge demand". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 82, pp.147-161.
- You, F., Wassick., J. M., Grossmann, I. E., (2009), "Risk Management for a Global Supply Chain Planning under Uncertainty: Models and Algorithm". *American Institute of Chemical Engineers*, 55 (4), pp.931-946.
- Yu, C.S. and Li, H.L., (2000), "A robust optimization model for stochastic logistic problems". *International Journal of Production Economics*, 64(1), pp.385-397.
- Yun, W.Y., Lee, Y.M. and Choi, Y.S., (2011), "Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system". *International Journal of Production Economics*, 133(1), pp.451-457.
- Zuidwijk, R.A. and Klijnhout, R., (2017), "Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account, *Journal of Transport Geography*, 58, pp.209-219.
- Kaveshgar, N. and Huynh, N., (2015), "Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers", *International Journal of Production Economics*, 159, pp.168-177.
- Kuzmicz, K. A., & Pesch, E. (2019), "Approaches to empty container repositioning problems in the context of Eurasian intermodal transportation. *Omega*", 85, pp.194-213.
- Li, J.A., Liu, K., Leung, S.C. and Lai, K.K., (2004), "Empty container management in a port with long-run average criterion", *Mathematical and Computer Modelling*, 40(1), pp.85-100.
- Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J. and Zenios, S.A., (1995), "Robust optimization of large-scale systems Operations research", 43(2), pp.264-281.
- Olivo, A., Zuddas, P., Di Francesco, M. and Manca, A., (2005), "An operational model for empty container management". *Maritime Economics & Logistics*, 7(3), pp.199-222.
- Saeidi, N., Jafari, H., Ameli, A. and Zaersoleymani, N., (2013), "Container repositioning management in liner shipping industry", *Management Science Letters*, 3(6), pp.1795-1804.
- Schoemaker, P.J., (1995), "Scenario planning: a tool for strategic thinking Sloan management review", 36(2), pp.25-50.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2007), "The container shipping network design problem with empty container repositioning", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(1), pp.39-59.
- Song, D.P. and Dong, J.X., (2011), "Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports", *Transport Policy*, 18(1), pp.92-101.
- Song, D.P. and 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(5), pp.3623-3642.

# Providing an Empty Container Repositioning Model under Uncertainty based on Risk Pooling Effect

*Nasser Safaie, Assistant Professor, Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*

*Morteza Abbasi, Assistant Professor, Malek Ashtar University, Tehran, Iran.*

*Majid Abbasi, Ph.D. Student, Malek Ashtar University, Tehran, Iran.*

*E-mail: nsafaie@kntu.ac.ir*

Received: November 2019-Accepted: February 2020

## **ABSTRACT**

Increasing the growth rate of container transportation industry in recent decades and predicting the continuation of this growth over the years will highlight the importance of container transport and the key role of containers in maritime transportation. With entering container into transportation area, this area has experienced a huge change. However, the imbalance problem between the input and output containers exists in ports until now. This imbalance between import and export of goods has created a problem called Empty Container. In this paper, investigated the empty containers repositioning problem under Uncertainty. A robust scenario-based approach to risk pooling effect has been used to model the failure of some of the problem parameters under different scenarios. Finally, the computational results indicate the proper performance of the proposed model under uncertainty conditions and the importance of using a robust approach to solving the problem of empty containers repositioning under uncertain conditions.

**Keywords:** Empty Containers Repositioning, Maritime Transportation, Uncertainty