Archive of SID

برنامه‌ریزی حمل و نقل کانتینر با رویکرد استوار سناریویی مبتنی بر روش FTA

مجید عباسی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
جعفر قیدرخلجانی*، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
مرتضی عباسی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
*پست الکترونیک نویسنده مسئول: Kheljani@Gmail.com

دریافت: ۹۷/۱۱/۰۲- پذیرش: ۹۸/۰٤/۲۸
صفحه ۲۰۷-۱۹۹

چکیده

بدون شک یکی از عوامل توسعه حمل و نقل و افزایش سرعت آن در دنیای امروز به وجود آمدن حمل و نقل کانتینری است. 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. در این مقاله به بررسی تغییر موقعیت کانتینر خالی در شرایط غیرقطعی بودن برخی از پارامترهای مساله، پرداخته شده است. از رویکرد استوار سناریویی مبتنی بر روش آنالیز درخت سناریو، به منظور مدل‌سازی عدم‌قطعیت برخی از پارامترهای مساله، تحت سناریوهای مختلف استفاده شده است. همچنین به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، از مجموعه داده‌های مربوط به شبکه بنادر دریایی ایران استفاده شده است. نتایج محاسباتی حاصله نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی در شرایط غیرقطعی و اهمیت استفاده از رویکرد استوار در ایجاد برنامه‌های استوار تغییر موقعیت کانتینر خالی در شرایط عدم‌قطعیت است.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل کانتینری، عدم‌قطعیت، بهینه‌سازی استوار، روش **FTA**

۱- مقدمه

حمل و نقل کانتینری در چند دهه گذشته رشد سریع و قابل توجهی داشته است، تجارت جهانی از طریق کانتینر در سال ۲۰۱۱ به مقدار ۷,۱٪ رشد کرده است و توان ترمینال‌های کانتینری در سال ۲۰۱۱ تا ۵,۹٪ افزایش یافته است[۲]. درحالی‌که این روند رو به رشد تا به امروز با شدت بیشتری ادامه داشته است. بیش از ۸۰ ٪ تجارت جهانی از طریق دریا انجام می‌شود که بخش رو به رشدی از این حجم با توجه به فواید حمل با کانتینر از قبیل کاهش آسیب دیدگی و بالا بردن بهروری در خلال مراحل جابجایی، با استفاده از کانتینر انتقال داده شده است[۳]. تا دهه‌های گذشته متصدیان حمل و نقل، جهت حمل کالاها با مشکلات فراوانی مواجه بودند اما ظهورکانتینر در اواسط دهه ی 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. 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. مهمترین آسیب اقتصادی از این ناحیه، متوجه خطوط کشتیرانی است، از آنجایی که کانتینر جزو دارایی‌های این خطوط بوده و برای تهیه آن

www.SID.ir

Archive of SID

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 نمی‌توانند از سرمایه خود، 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 روبه رو خواهد شد. 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. 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[٤]. 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[۵]. شان و همکاران، یک سیستم پشتیبانی تصمیم، برای تغییر موقعیت چند دوره‌ای کانتینرهای خالی پیشنهاد داده‌اند[٦]. سایر مدل‌هایی که در ده ۲۰۰۰ برای حل مسائل تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه شده‌اند[۷ و ۸ و۹و ۱۱و۱۰]. چائو و همکاران، یک مدل ریاضی برای تغییر موقعیت کانتینر در شبکه خدمات چند محصولی شرق و شمال چین ارائه کرده‌اند[۱۲]. سانگ و دانگ، به بررسی سیاست تغییر موقعیت کانتینرهای خالی با در نظر گرفتن بنادر مقصد انعطاف‌پذیر پرداخته‌اند[۱۳]. 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[١٤]. 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[۱۵]. 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[١٦و١٧و١٨]. سانگ و همکاران، مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی، را با در نظر گرفتن تقاضای تصادفی در بنادر فرموله کرده‌اند[۱۹]. 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[۳]. وانگ و همکاران، مدل بهینه‌سازی مبنی بر بازده با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی برای مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه داده‌اند [۲۰]. در ادبیات رویکردهای مختلفی از قبیل برنامه‌نویسی ریاضی، رویکرد تصادفی و فازی، برای مقابله با شکل‌های مختلف عدم‌قطعیت استفاده شده است. اخیرا رویکرد بهینه‌سازی استوار، به‌عنوان تکنیکی قوی در مقابله با عدم‌قطعیت‌های مختلف دنیای واقعی در مسائل برنامه‌ریزی به کار گرفته شده است. بهینه‌سازی استوار با ایجاد راه‌حل‌هایی استوار و خوب برای هر پیش‌آمد، احتمالی از پارامترهای غیرقطعی، رویکردی بسیار کارا و مفید است[۲۱]. مفهوم بهینه‌سازی استوار در تحقیق در عملیات توسط مالوی و همکاران [۲۰]، معرفی شده است. آنها یک رویکرد همتای استوار با یک تابع غیرخطی ارائه داده‌اند و عدم‌قطعیت‌ها را از طریق مجموعه سناریوهای گسسته بررسی کرده‌اند. بن–تال و نمیروفسکی، رویکرد بهینه‌سازی استوار برای فرموله کردن پارامترهای غیرقطعی پیوسته ارائه داده‌اند[۲۲]. بن–تال و همکاران، یک نظریه استوار از مسائل خطی، درجه دوم و مخروطی پیشنهاد داده‌اند[۲۲ و۲۳و ٢٤]. برتسیمس و همکاران، روش‌های استوار برای بهینه‌سازی گسسته در فضاهای پیوسته ارائه داده‌اند[٢٦و٢٥].

در این مقاله مدل استوار مساله مذکور با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت برخی از پارامترهای مساله در دنیای واقعی شامل تقاضا، عرضه، ظرفیت تخلیه و بارگیری، تحت سه سناریو مختلف در دنیای واقعی ارائه شده است. همچنین به منظور تعیین و ارزیابی سناریوهای محتمل، از روش درخت خطا (سناریو)، استفاده شده است. به منظور ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی، از مجموعه داده‌های شبکه بنادر دریایی ایران و شبکه طراحی شده توسط عباسی و نهاوندی[۱]، استفاده شده است. ساختار مقاله به صورت زیر

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد: در بخش ۲، تعریف و مدل‌سازی مساله ارائه شده است. در بخش ۳، به آزمایش عددی و مقایسه نتایج پرداخته شده است. و در نهایت در بخش ۵، نتیجه‌گیری تحقیق بیان شده است.

۲-تشریح مساله

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 حالی‌که بنادر صادراتی با کمبود کانتینر خالی مواجه‌اند[۲]. 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 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 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[۱].

در این راستا به دلیل عدم‌قطعیت‌های مساله در دنیای واقعی، از روش استوار سناریویی برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترها و داده‌های مساله استفاده شده است. بنابراین با توجه به داده‌های گذشته مربوط به هر عدم‌قطعیت، سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده است. در واقع برای حل مدل استوار تغییر موقعیت کانتینرخالی، باید مقادیری از پارامترهای نامشخص، که با احتمال بیشتری رخ می‌دهند تعیین شود. در این مقاله از روش آنالیز درخت خطا (درخت سناریو)، به منظور تعیین سناریوهای محتمل استفاده شده است.

۲-۱- نمادگذاری

پارامترها

p	بندر
v	کشتی
t	دوره زمانی
τ	فاصله زمانی بین دو بندر متوالی
s	اندیس نشان‌دهنده هر سناریو
Ω	مجموعه سناریوها
p_s	احتمال هر سناریو
ω	وزن جریمه برای محدودیت‌های نشدنی
λ	پارامتر تعادلی ریسک بین میانگین مقدار تابع هدف و واریانس آن
δ_s	مقدار جریمه برای نشدنی بودن محدودیت‌های کنترلی تحت سناریو s
θ_s	مقدار انحراف تابع هدف از میانگین آن تحت سناریو s
P	مجموعه بنادر
$\gamma(p,t)$	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 $v \in w(p,t)$ 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 $v \in V(p,t)$ 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

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرها

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.

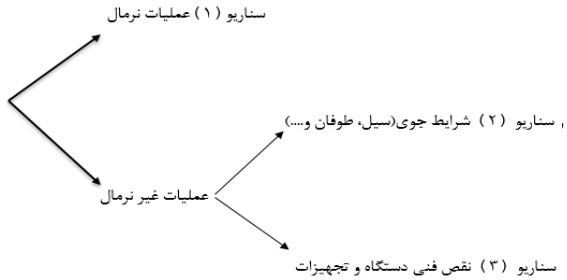
xr_{tpv} تعداد کانتینر خالی که توسط کشتی $v \in V\ (p,t)$ از بندر p در دوره t به سایر انتقال داده می‌شود.

۲-۲-روش درخت سناریو در مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌ها

یکی از راه‌های مدل کردن عدم‌قطعیت‌ها استفاده از روش درخت سناریو است. هر شاخه درخت نشانگر آینده محتملی است که برای عدم‌قطعیت‌ها با یک احتمال خاص بوجود می آید. هر شاخه ممکن است بخشی از سناریوهای مختلف باشد[۳۱].

احتمال هر سناریو برابر با حاصل‌ضرب احتمال شاخه‌های آن سناریو است. علاوه بر این، حاصل جمع احتمال سناریوها باید مساوی یک باشد[۳۲].

در واقع درخت سناریو یکی از روش‌های سناریونویسی می‌باشد که زیر مجموعه خانواده بزرگتری از روش‌های سناریونویسی به نام توالی رویدادها است. منطق توالی رویدادها در برقراری ارتباط با سناریوها در این است که همانطور که رویدادهایی از گذشته به صورت زنجیروار اتفاق افتاده و به نقطه کنونی رسیده است و برای شکل‌گیری آینده نیز نیازمند به توالی رویدادهای بعدی (احتمالی)، خواهد داشت. از این رو برای تعیین حالات مختلف آینده، درختی با شاخ و برگ‌های مبتنی بر مسیر رویدادی شکل می‌گیرد که هر مسیر از نقطه وضع کنونی تا آخرین شاخه یک سناریو را تعریف می‌کند. در مساله تغییر موقعیت کانتینر دو مورد :۱) شرایط جوی ۲) نقص فنی دستگاه‌ها و تجهیزات. عواملی اصلی هستند که باعث عدم‌قطعیت در پارامترهای مساله مذکور شده‌اند در این تحقیق به بررسی آنها پرداخته شده است. همچنین درخت سناریویی مساله به‌صورت پیوست می‌باشد.



درخت ترکیب سناریوها برای بدست آورن سناریوهای نهایی

در این مقاله از رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت مدل‌سازی عدم قطعیت پارامترهای مساله استفاده شده است. چارچوب کلی مدل استوار سناریویی ارائه شده توسط مالوی و همکاران[۲۱]، عبارت است از:

مدل LP بهینه‌سازی اولیه زیر را در نظر بگیرید:

$$Min\ Cc^T + d^T y \qquad (۱)$$

$$SubjectTO:$$

$$Ax = b \qquad (۲)$$

$$Bx + Cy = e \qquad (۳)$$

$$x, y \geq 0. \qquad (٤)$$

جایی‌که 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 بهینه‌سازی استوار مالوی و همکاران، عدم‌قطعیت پارامترها با مجموعه‌ای از سناریوها Ω مدل شده است. $\sum p_s = 1$ جایی‌که p_s احتمال سناریو s است. رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریو محور شده به شکل زیر است.

$$Min\ \ \sigma(x.y_1,...,y_s) + \omega\rho(\theta_1,...,\theta_s) \qquad (۵)$$

$$St.$$

$$Ax = b \qquad (٦)$$

$$B_s x + C_s y_s + \theta_s = e_s \qquad ,\forall s \in \Omega \qquad (۷)$$

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \omega_s \geq 0 \qquad ,\forall s \in \Omega \qquad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

هدف این مدل تعادل بین تبادلات استواری مدل و استواری راه‌حل است. راه‌حل بهینه در ارتباط با بهینگی همچنان استوار است اگر برای هر فهم از سناریو $s \in \Omega$ همچنان نزدیک به بهینه باقی بماند (استواری راه‌حل).

از طرف دیگر راه‌حل 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 وسیله‌ی تابع جریمه اندازه-گیری می‌شود. پارامتر $\boldsymbol{\theta_s}$ برای استواری مدل تعریف شده است که عدم امکان‌پذیری در محدودیت‌های کنترلی تحت سناریو s را اندازه‌گیری می‌کند.

۳- مدل استوار پیشنهادی

در این مقاله از رویکرد استوار سناریویی ارائه شده توسط مالوی و همکاران[۲۱] و اصلاح شده توسط یو و لی [۲۷]، بر مبنای مدل قطعی تغییر موقعیت کانتینر خالی ارائه شده توسط عباسی و نهاوندی[۱]، برای فرموله کردن مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی تحت شرایط عدم‌قطعیت استفاده شده است. در ادامه به منظور مدل-سازی، مدل استوار پیشنهادی مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی، مدل قطعی [۱]، بر مبنای مالوی و همکاران[۲۱]، فرمول‌بندی شده است. مدل بهینه‌سازی استوار ارائه شده برای مساله مذکور به صورت زیر است:

$$\min \sum_{s\in\Omega} p_s\zeta_s + \lambda \sum_{s\in\Omega} p_s \left[(\zeta_s - \sum_{s\in\Omega} p_s\zeta_s) + 2\theta_s \right] + \omega \sum_{s\in\Omega} p_s\delta_s \quad \forall s \in \Omega \qquad (۹)$$

$$Subject\ to: \qquad (۱۰)$$

$$AX \le b$$

$$\zeta_s - \sum_{s\in\Omega} p_s\zeta_s + \theta_s \ge 0 \qquad \forall s \in \Omega \qquad (۱۱)$$

$$\theta_s \ge 0 \qquad \forall s \in \Omega \qquad (۱۲)$$

قسمت اول و دوم تابع هدف (۹)، استواری راه‌حل را اندازه‌گیری می‌کند. قسمت سوم در (۹)، استواری مدل را اندازه‌گیری می‌کند. ζ_s نشان‌دهنده تابع هدف مدل قطعی پیشنهادی توسط عباسی و نهاوندی [۱]، تحت سناریو s است. رابطه (۱۰)، محدودیت ساختاری مدل استوار است که نشان‌دهنده محدودیت‌های مدل قطعی می‌باشد. و رابطه (۱۱)، که به منظور خطی‌سازی مدل توسط یو و لی [۲۷]، به مدل اضافه شده است.

٤- آزمایش عددی

در این مقاله به منظور آزمایش عددی و اعتبارسنجی کارایی مدل مدل پیشنهادی مبتنی بر روش FTA، برای مساله تغییر موقعیت کانتینر خالی، از داده ها و شبکه مکانی – زمانی حمل و نقل از بنادر دریایی ایران، ارائه شده توسط عباسی و نهاوندی [۱]، استفاده شده است.

٤-۱-نتایج حاصل از حل مدل

در این بخش، به بررسی نتایج محاسباتی حاصل از آزمایش‌های عددی پرداخته شده است.

جدول ۱. سطح موجودی تحت سناریوها مختلف

xi^s_{tp}		دوره						
سناریو	بندر	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷
۱	۱	۸	۰	۰	۳	۰	۰	۰
	۲	٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳	۱٤۷	۱٦۹	۱۹۳	۲۱۵	۲٤۵	۲۷۷	۳۰۰
	٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۵	۱۷۹	۲۰۷	۲۱۳	۲۳۹	۳۱۳	۳۱۵	۳۵۲
۲	۱	۱۸	۲۷	٤۱	۲۳	۳۱	٤۵	۵۹

www.SID.ir

Archive of SID

	۲	۸	۲۷	۳۸	۳۲	۴۸	۵۴	۵۷
	۳	۲۱۵	۲۳۷	۲۳۵	۲۵۸	۲۷۶	۲۸۸	۳۱۶
	۴	۶	۱۹	۱۶	۳۰	۲۴	۳۷	۴۵
	۵	۲۶۸	۲۷۴	۲۹۳	۳۰۱	۳۱۰	۳۱۷	۳۱۹
۳	۱	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۸
	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳	۱۷۳	۱۸۸	۲۱۲	۲۴۱	۲۴۷	۲۶۰	۲۷۴
	۴	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۵	۲۱۰	۲۱۲	۲۱۳	۲۲۱	۲۵۱	۲۴۸	۲۴۰

در جدول (۱)، مقادیر موجودی کانتینر خالی بنادر شبکه، تحت سناریوهای مختلف در دنیای واقعی نشان‌داده شده است.

جدول ۲. سطح کسری تحت سناریوهای مختلف

xs_{tp}^{s}		دوره						
سناریو	بندر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۱	۰	۸	۵	۰	۴	۱۴	۱۰
	۲	۰	۷	۱۳	۱۹	۷	۲۰	۲۳
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۴	۹	۶	۱۳	۱۹	۲۰	۴۲	۴۶
	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۱	۲	۰	۵	۱۰	۷	۵	۰
	۲	۵	۲	۱۱	۵	۹	۱۰	۱۸
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۴	۰	۹	۸	۱۴	۱۷	۹	۲۱
	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۳. سطح موجودی تحت سناریوهای مختلف (حاصل از حل مدل)

xi_{tp}^{s}		دوره‌ها						
سناریو	بندر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۱	۸	۰	۶۲	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۲	۱۰۶
	۲	۴	۰	۰	۰	۴۳	۸۳	۸۱
	۳	۸۵	۵۴	۱۰۴	۱۵۱	۱۸۱	۲۱۳	۱۵۵
	۴	۰	۰	۰	۰	۴۶	۸۲	۷۸
	۵	۱۱۵	۸۲	۸۸	۱۱۴	۱۵۰	۱۵۲	۱۴۷
۲	۱	۱۸	۲۷	۴۸	۳۰	۳۸	۵۲	۶۶
	۲	۸	۲۷	۳۸	۳۲	۶۵	۹۳	۹۶
	۳	۲۰۵	۲۱۴	۲۱۲	۲۳۵	۲۵۳	۲۶۵	۲۹۳

www.SID.ir

Archive of SID

	٤	٦	١٩	١٦	٣٠	٤٣	٧٠	٧٨
	٥	٢٥٨	٢٥٦	٢٧٥	٢٨٣	٢٩٢	٢٩٩	٣٠١
٣	١	٠	٢	٤٧	٧٨	٨١	٨٣	٩٦
	٢	٠	٠	٠	٠	٤٩	٩٢	٨٤
	٣	١١٥	٨٣	١٣٠	١٥٩	١٦٥	١٧٨	١٢٨
	٤	٢	٠	٠	٠	٤٨	١١٣	١٠١
	٥	١٥٠	١١٦	١١٧	١٢٥	١٥٥	١٥٢	٩٧

*در جدول (۲)، مقادیر سطح کسری در دنیای واقعی تحت سناریوهای مختلف نشان داده شده است.

با توجه به مقادیر بدست آمده برای سطح موجودی حاصل از حل مدل در جدول (۳)، می‌توان گفت که سطح موجودی کانتینر خالی در بنادر ۳ و ۵، در دوره‌های ابتدایی افق برنامه‌ریزی، در تمام سناریوها بیشتر از حجم موجودی در بنادر ۱و ۲ و ٤، می‌باشد. که با وارداتی یا صادراتی بودن این بنادر منطبق است. همانطور که مشخص است در دوره‌های زمانی۱ و ۲، با انتقال کانتینرهای خالی موجودی از طریق بارگیری از بنادر ۳ و ۵، به بنادر ۱ و ۲ و ٤، تحت هر سه سناریو تعیین شده، حجم کانتینرهای خالی موجودی در بنادر ۳ و ۵، کاهش یافته است. و در نتیجه آن سطح موجودی در بنادر ۱ (از دوره ۳ به بعد)، و ۲ و ٤ (از دوره ٤ به بعد)، به‌واسطه تخلیه کانتینرهای خالی منتقل شده توسط کشتی‌ها، افزایش یافته است. اما در این بین با توجه به مقادیر قابل مشاهده در جدول فوق، در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ و ۳، کاهش سطح موجودی در بنادر ۳ و ۵، و همچنین افزایش سطح موجودی در بنادر ۱ و ۲ و ٤، از طریق تغییر موقعیت کانتینرهای خالی توسط کشتی از بنادر وارداتی به بنادر صادراتی، نمود کمتری دارد، که این امر نیز کاملا منطقی می‌باشد زیرا تحت سناریو ۲، زمانی‌که عملیات تخلیه، بارگیری و ...، تحت تاثیر شرایط نامناسب جوی بصورت نرمال انجام نمی‌گیرد. بنابراین می‌توان گفت که مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن نوسانات برخی از پارامترهای مساله، در به تعادل رساندن و حل مساله در دنیای واقعی کارایی لازم را داشته است. در جدول (٤)، مقادیر سطح کسری در بنادر ۳ و ۵، تحت هر سه سناریو مختلف صفر بدست آمده که با تعریف بنادر وارداتی که دارای موجودی کانتینر خالی در دنیای واقعی هستند کاملا منطبق است. به علاوه در بنادر ۱ و ۲، تحت سناریو ۲، مقادیر کسری صفر بدست آمده زیرا تحت سناریو ۲، زمانی‌که شرایط جوی نامناسب وجود داشته باشد حجم تقاضا حتی در بنادر صادراتی به شدت کاهش یافته و در نتیجه کاهش یا نبود تقاضا، به خودی خود در این بنادر هیچ کسری برای کانتینر خالی وجود ندارد. اما در بنادر ۱ و ۲ و ٤، تحت سناریو ۱ و ۳، سطح کسری در دوره‌های زمانی ۱ و ۲، مطابق با دنیای واقعی (جدول ۲)، است و از دوره ۳ به بعد صفر شده است. همچنین در بنادر ۲ و ٤، سطح کسری از دوره ۱ تا دوره ٤، مطابق با سطح کسری در دنیای واقعی است اما از دوره زمانی ۵ به بعد سطح کسری در این بنادر به صفر رسیده است که این کاهش سطح کسری و به صفر رسیدن آن به دلیل تغییر موقعیت کانتینرهای خالی موجودی از بنادر ۳ و ۵، توسط کشتی‌های موجود در شبکه به بنادر ۱ و ۲ و ۳ صورت گرفته است، به‌طوریکه در سه دوره انتهایی افق برنامه‌ریزی سطح کسری کانتینر خالی در همه بنادر به صفر رسیده است. که این امر نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی در به تعادل رساندن سطح کسری کانتینر خالی در بنادر شبکه مورد مطالعه با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترهای مساله می‌باشد.

جدول ٤. سطح کسری تحت سناریوهای مختلف (حاصل از حل مدل)

xs_{tp}^{s}		دوره						
سناریو	بندر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
١	١	٠	٨	٠	٠	٠	٠	٠
	٢	٠	٧	١٣	١٩	٠	٠	٠
	٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠
	٤	٩	٦	١٣	١٩	٠	٠	٠
	٥	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠

www.SID.ir

Archive of SID

۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	٥	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۱	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۲	٥	۲	۱۱	٥	۰	۰	۰
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	٤	۰	۹	۸	۱٤	۰	۰	۰
	٥	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

٤-۱- اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

در این بخش به مقایسه نتایج حاصل از حل مدل استوار پیشنهادی در قیاس با مدل قطعی ارائه شده توسط عباسی و نهاوندی [۱]، پرداخته شده است. مقادیر هزینه کل مربوط مدل استوار پیشنهادی برای مساله، به میزان ۲۱۱۱۰۸/۲۹ $ محاسبه شده است. همانطور که قابل مشاهده است، مدل استوار مبتنی بر روش FTA، پیشنهادی، با در نظر گرفتن فرض عدم‌قطعیت پارامترهای مساله شامل تقاضا، عرضه و ظرفیت تخلیه و بارگیری، تحت سه سناریو تعیین شده، با به تعادل رساندن سطح کسری کانتینر خالی در بنادر صادراتی و کاهش اثر نوسانات پارامترهای غیرقطعی تحت سناریوهای مختلف، کاهش قابل ملاحظه هزینه کل را نسبت به مدل قطعی پیشنهادی(۲۹۵۸۷۲/۸ $-[۱]) ، نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل استوار نسبت به مدل قطعی است. که به علت کاهش اثر نوسانات پارامترهای غیرقطعی تحت سناریوهای مختلف با احتمال مشخص، توسط مدل استوار رخ داده است.

۵- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضراز رویکرد استوار سناریویی مبتنی بر روش FTA به منظور مقابله با عدم‌قطعیت پارامترها، کاهش اثر نوسانات پارامترهای غیرقطعی و تعیین سناریوهای محتمل استفاده شده است. ابتدا جهت مدل‌سازی عدم‌قطعیت پارامترهای مساله، سناریوهای مختلف با استفاده از روش درخت سناریویی تعیین گردید. سپس مدل استوار سناریویی تغییر موقعیت کانتینرهای خالی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت برخی پارامترهای مساله تحت سناریوهای واقعی مدل‌سازی و ارائه شده است. نتایج محاسباتی حاصل از آزمایشات عددی بیانگر آن است که مدل پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترهای مساله شامل تقاضا، عرضه و ظرفیت تخلیه و بارگیری، هزینه کل مساله تغییر موقعیت کانتینرهای خالی را نسبت به مدل قطعی[۱]، کاهش داده است. که این امر به علت کاهش اثر نوسانات پارامترهای غیرقطعی در شرایط عدم‌قطعیت تحت سناریوهای مختلف منطبق با دنیای واقعی، و به تعادل رساندن سطح کسری کانتینر خالی در بنادر شبکه که در نتیجه آن کاهش هزینه کسری در بنادر صادراتی، انبارداری و چیدمان در بنادر وارداتی رخ داده، محقق شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی استوار مبتنی بر روش FTA، می‌تواند روشی موثر، کارآمد و انعطاف‌پذیرتر از مدل قطعی برای مساله تغییر موقعیت کانتینرهای خالی در دنیای واقعی باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

٦-مراجع

-عباسی، م. نهاوندی، ن.، (١٣٩٦)، "ارایه مدل چند هدفه برنامه‌ریزی حمل و نقل کانتینر خالی (مورد مطالعاتی: بنادر ایران)"، پژوهشنامه حمل و نقل، ص.٢٠٣.

-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.

-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.

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

-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.

-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.

-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.

-Shen, W.S. and Khoong, C.M., (1995), "A DSS for empty container distribution planning. Decision Support Systems, 15(1), pp.75-82.

-White, W.W., (1972), "Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers". Networks, 2(3), pp.211-236.

-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.

-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.

-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.

-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.

www.SID.ir