Archive of SID

بهینه‌سازی مسئله تخصیص ناوگان، مسیریابی و سوخت‌گیری در حمل‌ونقل دریایی

مهسا لشگری*، علی‌اکبر اکبری

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲
شناسه دیجیتال (DOI) : 10.22113/jmst.2019.135211.2174

چکیده

حمل‌ونقل دریایی عمدتاً شامل مسائلی چون تخصیص ناوگان، مسیریابی کشتی و مسائل مربوط به سوخت‌گیری کشتی‌ها هست. باید اشاره‌کنیم که مسئله تخصیص ناوگان، تعیین مسیر و برنامه‌ریزی کشتی‌ها باهدف حداقل‌سازی هزینه‌ها سروکار دارند. در سال‌های اخیر بیشتر شرکت‌های حمل‌ونقل دریایی با شرایط بازاری دشواری ازلحاظ سوخت‌گیری و قیمت سوخت مواجه گردیده‌اند. با توجه به اینکه تقریباً ۶۰ درصد هزینه‌های کشتی به سوخت آن اختصاص دارد، پس هزینه‌های سوخت ناوگان به‌عنوان عمده‌ترین هزینه حمل‌ونقل دریایی محسوب می‌گردد. با توجه به شرایط رقابتی و عدم قطعیت‌های مختلف موجود در چنین مسائلی، بررسی یکپارچه تخصیص ناوگان، مسیریابی و سوخت‌گیری امری ضروری است. بر این اساس در پژوهش حاضر مسئله حمل‌ونقل دریایی لاینر، که در آن تصمیمات مربوط به انتخاب ناوگان، تعیین مسیر بهینه هر شناور، انتخاب سرعت حرکت آن بین بنادر مختلف و سیاست سوخت‌گیری مربوطه در شرایط عدم قطعیت قیمت و مصرف سوخت به‌صورت یکپارچه اتخاذ می‌شود، موردمطالعه قرارگرفته است. وجود وابستگی سوخت‌گیری به مسیریابی و تخصیص با توجه به نیاز به سوخت‌گیری در طی مسیر کشتی اهمیت و ضرورت بررسی این دو موضوع به‌صورت یکپارچه را فراهم می‌سازد. بدین منظور مدل برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح خطی بارو یکرد مبتنی بر سناریو توسعه داده‌شده است. حل و تجزیه‌وتحلیل‌های مربوطه در خصوص نمونه مسائل مختلف و مزیت‌های رویکرد یکپارچه و تصادفی بر حالتی که پارامترهای مدل قطعی فرض می‌شود؛ از طریق شبیه‌سازی و دیگر روش‌ها نشان داده است.

واژگان کلیدی: مسیریابی کشتی،سیاست موجودی، تخصیص ناوگان، بهینه‌سازی سرعت کشتی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Mahsa.lashgari@ymail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

حمل‌ونقل دریایی یکی از بخش‌های مهم زنجیره‌تامین جهانی است. تقریباً ۸۰ درصد کالاها در دنیا از طریق دریا جابه‌جا می‌گردد (UNCTAD,2012b). تحقیق و توسعه در حوزه‌های کشتیرانی، بندرها و اسکله‌ها زمینه دستیابی به چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران در صنایع حمل‌ونقل دریایی را فراهم می‌نماید.

حمل‌ونقل دریایی عمدتاً شامل مسائلی چون تخصیص ناوگان، مسیریابی کشتی و مسائل مربوط به سوخت‌گیری کشتی هست. با توجه به اینکه تقریباً ۶۰ درصد هزینه‌های کشتی به سوخت آن اختصاص دارد، پس هزینه‌های سوخت ناوگان به‌عنوان عمده‌ترین هزینه حمل‌ونقل دریایی محسوب می‌گردد. بطوریکه یکی از چالش‌های اخیری که حمل‌ونقل دریایی با آن مواجه گشته است، چگونگی کاهش هزینه سوخت در محیطی با نوسانات قیمت سوخت هست. باید اشاره داشت که هزینه‌های سوخت‌گیری عمدتاً وابسته بر قیمت سوخت که خود تابعی از محل سوخت‌گیری یا بندر مربوطه هست.

یک عامل مهم دیگر در مطالعات مدل‌های سوخت‌گیری، میزان سرعت کشتی هست، با توجه به این موضوع که سرعت کشتی یک عامل تعیین‌کننده میزان مصرف سوخت هست. به‌بیان‌دیگر با افزایش سرعت میزان مصرف سوخت افزایش می‌یابد. و از طرفی کاهش سرعت نیز تأثیرگذار بر زمان‌بندی کشتی‌ها هست؛ و نقض محدودیت‌های زمانی منجر به پرداخت هزینه‌های جریمه‌ای می‌گردد.

یکی از اولین پژوهش‌ها درزمینه بهینه‌سازی سرعت توسط (Ronen, 1982) بوده که یک فرمول مصرف درجه ۳ برای نرخ مصرف سوخت کشتی ارائه کرده است. تا ۲۰۰۹، توجه نسبتاً کمی به بهینه‌سازی سرعت شده؛ این قضیه ممکن است به دلیل قیمت پایین سوخت بوده باشد. اما با افزایش قیمت سوخت و اهمیت آن در حمل‌ونقل دریایی میزان مطالعات طی مرور زمان افزایش‌یافته است. در ادامه مروری بر برخی تحقیقات صورت گرفته خواهیم داشت.

(Yao and Zhishuang, 2012) استراتژی مدیریت سوخت را برای یک سرویس خدمات حمل‌ونقل لاینر در نظر گرفته‌اند. استراتژی مدیریت سوخت شامل سه عنصر است: انتخاب بنادر سوخت‌گیری (محل سوخت‌گیری)، تعیین میزان سوخت‌گیری (مقدار سوخت) و تنظیم سرعت کشتی. ازآنجاکه این سه عنصر باهم مرتبط هستند، پس بهینه‌سازی آن‌ها مشترک برای دست‌یابی به استراتژی مدیریت سوخت برای یک سرویس خدماتی ضروری هست. همچنین در یک مدل مناسب نمایش رابطه بین نرخ مصرف سوخت و سرعت کشتی مهم است. در این مقاله بیان‌شده که این رابطه برای اندازه‌های مختلف کانتینرها متفاوت بوده و یک مدل تجربی برای بیان این ارتباط در اندازه‌های مختلف کانتینر بر اساس داده‌های واقعی حاصل از شرکت حمل‌ونقل دریایی فراهم‌شده است. همچنین اهمیت استفاده از مدل نرخ مصرف مناسب در استراتژی مدیریت سوخت ذکرشده و سپس یک مدل برنامه‌ریزی سطحی برای تعیین استراتژی مدیریت سوخت مطلوب گسترش داده‌شده است. همان‌طور که بیان شد، یکی از موضوعات مهم در حمل‌ونقل دریایی، مسیریابی هست. تقریباً ۷۰ درصد کالاها در دنیا از طریق دریا جابه‌جا می‌گردند، اما به نسبت تحقیقات کمی درزمینه‌ی مسیریابی کشتی صورت گرفته است (Psaraftis, 1999).

گزارش‌های اخیر تجارت جهانی و حمل‌ونقل سازمان ملل نشان می‌دهد که حدود ۸۰ درصد حجم تجارت جهانی از طریق دریا صورت می‌گیرد. در حمل‌ونقل دریایی یافتن مسیر بهینه و همچنین نوسانات هزینه‌های سوخت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نیاز به بهینه‌سازی مسیر و حداقل سازی هزینه‌های عملیاتی را تقویت می‌کند، مسیریابی کشتی به معنی توالی بندرهایی هست که در نظر دارد یک کشتی در

www.SID.ir

Archive of SID

این بندرها بارگیری و تخلیه بار را در یک محدوده زمانی مشخص داشته باشد. بهینه‌سازی به دنبال مسیر بهتر جهت حداقل سازی هزینه‌ها هست (Karinah and kjeldise ,2011).حدود ۸۰ درصد تحقیقات در این حوزه به صورت مجزا به مسئله مسیریابی پرداخته است. و در حدود ۲۰ درصد پژوهش‌ها در حمل و نقل دریایی به مسئله مسیریابی و سوخت‌گیری در کنار هم پرداخته‌اند. البته ما در این مسئله در نظر داشتیم؛ مسیریابی بدون مسیرهای از پیش تعیین شده (مسیریابی متغیر) و سوخت‌گیری را مورد بحث و بررسی قرار دهیم. باید اشاره کرد که تا حال مسئله مسیریابی (متغیر) و سوخت‌گیری با بررسی موجودی سوخت، انتخاب مکان بهینه سوخت-گیری، تعیین میزان بهینه سوخت‌گیری، تعداد مناسب کشتی و سرعت آنها با در نظر گرفتن پنجره زمانی و با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها به صورت یکپارچه دیده نشده است. همچنین باید اشاره کرد از مهم‌ترین نوآوری‌های این مدلسازی قیمت غیرقطعی سوخت و سناریوهای مختلف آن در کنار تمامی این مفروضات می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش فرض براینست که شرکت کشتیرانی دارای سیستم ناوگانی هست بطوریکه، هر کشتی از یک بندر (بندر مبدأ) شروع به حرکت ، و سپس از میان بنادر (هر بندر فقط یک‌بار) عبور کرده و درنهایت به بندر آخر (بندر مقصد) روانه شده است؛ و هدف کاهش تعداد کشتی‌های بکار گرفته، یافتن کوتاه‌ترین مسیر و سرعت بهینه، تعیین بهترین بندرها برای سوخت‌گیری از جهت قیمت سوخت و درنهایت حداقل سازی هزینه‌ها هست. البته در نظر دارد که تمامی بنادر تنها یک‌بار و در پنجره زمانی مربوطه ملاقات شوند.N مجموعه بنادر بوده که N_1 اولین بندر و بندر مبدأ بوده که شروع حرکت تمامی کشتی‌ها از این محل می‌باشد، و همین‌طور N_i بندر iام هست. N_i و N_j (i≠ j)ممکن است بنادر مشابهی را نشان دهند. در اینجا در نظر داریم مسافت بین دو بندر i تا j را با تعیین بهترین مسیر و تنها با یک کشتی طی کنیم. البته در کل شبکه ممکن است برای خدمت‌رسانی نیاز به بیش از یک کشتی باشد. و چون مسئله تخصیص ناوگان یک تصمیم تاکتیکی بوده، بنابراین فرض شده که تعداد کشتی‌های تخصیص‌یافته مشخص است. هنگامی‌که یک کشتی وارد بندری می‌شود بر اساس موجودی سوخت اخیر آن و تمام اطلاعات در دسترس در مورد سوخت‌دهی یا عدم سوخت‌دهی بندر و همین‌طور قیمت سوخت در بندر تصمیم‌گیری راجع سوخت‌گیری گرفته می‌شود. در این مدل سیاست موجودی$(s_i(p), S_i(p))$ در خصوص سوخت‌گیری بکار گرفته‌شده؛ که بر اساس این سیاست موجودی سوخت در بندرهایی که امکان سوخت‌رسانی داشته باشند بررسی‌شده و اگر موجودی سوخت کمتر از $s_i(p)$ باشد کشتی به میزان $S_i(p)$ در بندر i می‌تواند سوخت‌گیری کند، و در غیر این صورت نمی‌تواند سوخت‌گیری کند. به‌بیان‌دیگر $s_i(p)$ حد پایینی برای میزان سوخت موجود در تانکر هست. همچنین باید بیان داشت که p قیمت اخیر سوخت هست. در این مدل کمبود سوخت مجاز هست، هرچند با هزینه جریمه بالایی آن را محدود ساخته‌ایم.بعلاوه همان‌طور که ذکر شد تغییرات قیمت سوخت با تغییر بندر تغییر کرده و نسبت به تغییرات زمانی حساس نیست. می‌توان تغییرات قیمت سوخت را بندر به بندر یا زمان به زمان در نظر گرفت. به دلیل اینکه زمان سفر بین بندرها به متغیر سرعت وابسته هست، پس مدل‌سازی تغییرات قیمت براساس تغییرات زمان به میزان قابل‌توجهی ابعاد مسئله را افزایش می‌دهد. از همه مهم‌تر، متوجه شدیم که مقابله با این چالش‌های اضافی ضروری نیست، چراکه در عمل، قبل از ورود به بندر بعدی اپراتورهای کشتی به چندین تأمین‌کننده سوخت نزدیک شده و مذاکراتی درباره قیمت سوخت

www.SID.ir

Archive of SID

قبل از سوخت‌گیری واقعی انجام می‌دهند. هنگامی‌که آن‌ها بر سر قیمت توافق یابند، قیمت به‌ندرت هنگام رسیدن کشتی به بندر تغییر می‌کند. این به دلیل رابطه کسب‌وکار طولانی‌مدت میان شرکت کشتیرانی و تأمین‌کنندگان سوخت هست. به این دلیل تصمیم به مدل‌سازی تغییرات قیمت براساس تغییر بندر نموده‌ایم. قبلاً نشان داده است که مصرف سوخت روزانه از فرمول $\bar{F} = k_1 * V^3 + k_2$ پیروی می‌کند، بطوریکه k_1 و k_2 دو عدد ثابت و V سرعت کشتی هست. با توجه به این نرخ مصرف سوخت غیرقطعی، یک سیاست سوخت‌گیری مناسب از تمام شدن سوخت در بین مسیر بین دو بندر جلوگیری می‌نماید. البته در این پژوهش فرض کرده‌ایم که مصرف سوخت وابسته به نوع کشتی باتوجه به اندازه کشتی نیز هست. به قراری این فرمول بدین شکل است:$\overline{F_m} = k_{1m} * V_m^3 + k_{2m}$، که m نوع کشتی با توجه به اندازه آن را مشخص می‌سازد. نرخ مصرف سوخت تابعی درجه سه هست؛ که با در نظر گرفتن مجموعه سرعت‌های قابل انتخاب برای کشتی می‌توان تقریب خطی آن را فراهم ساخت. در ادامه پارامترها، متغیرها، مفروضات و مدل آورده شده است:

به مفروضات مسئله در ادامه اشاره شده است: ۱. تعداد کشتی‌های در دسترس مشخص هست. ۲. قیمت سوخت در بندرها متغیر تصادفی بوده که از توزیع گسسته پیروی می کند. ۳. محدودیت زمانی رسیدن به بندرها وجود دارد.۴. سیاست سوخت‌گیری و تصمیم‌گیری راجع سوخت به قیمت سوخت وابسته است. ۴. مصرف سوخت وابسته به‌اندازه و سرعت کشتی هست. ۵. به‌تمامی بنادر تنها باید فقط یک‌بار خدمت‌رسانی شود. ۶. تمامی کشتی‌ها از یک نقطه مبدأ شروع به حرکت کرده و در نقطه مقصد به سفر خود خاتمه می‌دهند. ۷. در بندر مبدأ حتماً تمامی کشتی‌ها سوخت‌گیری داشته باشند. مدل ریاضی در زیر آورده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۱ مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

مجموعه‌ها:	پارامترها:
N مجموعه بنادر	q_i بندر i امکان سوخت‌رسانی دارد یا خیر
R سناریو قیمت	τ_1 هزینه جریمه نقض محدودیت موجودی (برحسب واحد پولی)
G_mمجموعه انتخاب‌های ممکن سرعت V_m	τ_2 هزینه جریمه نقض محدودیت زمان (برحسب واحد پولی)
V_mمجموعه سرعت‌های حرکت ممکن بین بنادر	F هزینه ثابت سوخت‌گیری (برحسب واحد پولی)
M مجموعه انواع کشتی‌ها	h هزینه نگه‌داری هر تن موجودی سوخت (برحسب واحد پولی)
نمادها:	M عدد بزرگ
i اندیس بندر	$\overline{N}$ تعداد کشتی در دسترس
j اندیس بندر	K_{1m} ضریب معادله مصرف سوخت
G اندیس سرعت انتخابی	K_{2m} ضریب معادله مصرف سوخت
m اندیس کشتی	متغیرها:
پارامترها:	$Z_{i,j,m}^{g,r}$ اگر سرعت حرکت انتخاب شود برابر یک در غیر این صورت صفر است.
p_i^r قیمت سوخت در بندر i تحت سناریو r	$X_{i,2,m}^r$ میزان زمانی که کشتی m دیرتر از برنامه به بندرi می‌رسد.
$d_{i,j}$ فاصله بین بنادر i وj	$Y_{i,m}^r$ اگر سوخت کشتی m هنگام رسیدن به بندر i از حداقل میزان کمتر باشد، برابر یک است در غیر این صورت برابر صفر است.
$C_{i,m}$ میزان مصرف سوخت در بندر i توسط کشتی m	$B_{i,m}^r$ اگر کشتی m در بندرi سوخت‌گیری کند، برابر یک در غیر این صورت صفر است.
V_m^g سرعت کشتی m	$I_{i,1,m}^r$ موجودی سوخت کشتی m هنگام ورود به بندر i تحت سناریو r
$C'_{i,j,m}$ هزینه رفت‌وآمد بین بندرها i و j در کشتی m	$I'^r_{i,1,m}$ موجودی مثبت سوخت کشتی m هنگام ورود به بندر i تحت سناریوr
π^r احتمال وقوع سناریوی r قیمت	$I_{i,2,m}^r$ موجودی سوخت کشتی m هنگام خروج به بندر i تحت سناریو r
t_i کل زمان در بندر i	F_m^g میزان مصرف سوخت در سرعت V_m^g
e_i زودترین زمان رسیدن به بندر i	$A_{i,m}^r$ زمان رسیدن کشتی m به بندر i
l_i دیرترین زمان رسیدن به بندر i	Z'^r_m اگر از کشتی m استفاده گردد، برابر یک در غیر این صورت صفر است.
W_m ظرفیت سوخت کشتی m	
F'_m هزینه خرید یا اجاره کشتی	
n تعداد کل بندرها	
u_j متغیر حذف زیر تور	

www.SID.ir

Archive of SID

$$Min \sum_{r\epsilon R} \pi^r \left[\begin{array}{c} \sum_{i,j\in N} \sum_{m\in M} c'_{i,j}\, x'_{i,j,m} + \sum_{m\in M} f' z'^{r}_{m} \\ + \sum_{i\in N} \sum_{m\in M} \left(I^r_{i,2,m} - I^r_{i,1,m} + c_{i,m}\right) \times p^r_i \\ + \sum_{i\in N} \sum_{m\in M} f B^r_{i,m} \times Q^r_i \\ + \sum_{i\in N} \sum_{m\in M} (h I^r_{i,2,m} + \tau_1\, Y^r_{i,m}) \\ + \sum_{i\epsilon N} \sum_{m\epsilon M} \tau_2 (X^r_{i,1,m} + X^r_{i,2,m}) \end{array} \right] - \left(I^r_{n+1,m} P^r_{n+1,m}\right)$$

$$I^r_{1,1,m} = 0\ \forall i = 1, r \in R, m \in M (1)$$

$$I^r_{j,2,m} \le S^r_{j,m} - C_{j,m} + M \times \left(2 - B^r_{j,m} - \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m}\right)\ \forall j \in N\ , m \in M\ , r \in N\ (2)$$

$$I^r_{j,2,m} \ge S^r_{j,m} - C_{j,m} - M \times \left(2 - B^r_{j,m} - \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m}\right)\ \forall j \in N\ , m \in M\ , r \in R (3)$$

$$I^r_{j,2,m} \le I^r_{j,1,m} - C_{j,m} + M \times \left(B^r_{j,m} + 1 - \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m}\right)\ \forall j \in N\ , m \in M\ , r \in R\ (4)$$

$$I^r_{j,2,m} \ge I^r_{j,1,m} - C_{j,m} - M \times \left(B^r_{j,m} + 1 - \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m}\right)\ \forall j \in N\ , m \in M\ , r \in R\ (5)$$

$$I^r_{j,2,m} \le S^r_{j,m} - C_{j,m} + M \times \left(2 - B^r_{j,m} - Z'^{r}_{m}\right)\ \forall i = 1\ , m \in M\ , r \in R\ (6)$$

$$I^r_{j,2,m} \ge S^r_{j,m} - C_{j,m} - M \times \left(2 - B^r_{j,m} - Z'^{r}_{m}\right)\ \forall i = 1\ , m \in M\ , r \in R\ (7)$$

$$B^r_{i.m} = Z'^{r}_{m}\ \forall i\ = 1, m \in M, r \in R\ (8)$$

$$I'^{r}_{i,1,m} \le I^r_{i,1,m} + M Y^r_{i,m}\ \forall i \in N, m \in M, r \in R\ (9)$$

$$I'^{r}_{i,1,m} \ge I^r_{i,1,m} - M Y^r_{i,m}\ \forall i \in N, m \in M, r \in R\ (10)$$

$$I'^{r}_{i,1,m} \ge -M\left(1 - Y^r_{i,m}\right) \forall\ i \in N, m \in M, r \in R\ (11)$$

$$I'^{r}_{i,1,m} \le -M\left(1 - Y^r_{i,m}\right) \forall\ i \in N, m \in M, r \in R\ (12)$$

$$I^r_{j,1,m} \ge I^r_{i,2,m} - \bar{F}^g_m \times d_{i,j} - M\left(1 - Z^{g.r}_{i,j,m}\right)\ \forall (i,j) \in N, g \in G, i \ne j, m \in M, r \in R\ (13)$$

$$I^r_{j,1,m} \le I^r_{i,2,m} - \bar{F}^g_m \times d_{i,j} + M\left(1 - Z^{g,r}_{i,j,m}\right)\ \forall (i,j) \in N, g \in G, i \ne j, m \in M, r \in R\ (14)$$

$$I^r_{i,1,m} \le s^r_{i,m} + M\left(1 - B^r_{i,m}\right)\ \forall i \in N, m \in M, r \in R\ (15)$$

$$I^r_{i,1,m} \ge s^r_{i,m} + M B^r_{i,m}\ \forall i \in N, m \in M, r \in R\ (16)$$

$$\sum_{g\in G} Z^{g,r}_{i,j,m} = X'^{r}_{i,j,m}\ \forall (i,j) \in N, i \ne j, m \in M, r \in R\ (17)$$

$$-M \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m} \le I^r_{l,1,m} \le M \sum_{i\in N} X'^{r}_{i,j,m}\ \forall j \in N, m \in M, r \in R\ (18)$$

$$B^r_{i,m} \le Z'_m\ \forall i \in N, m \in M, r \in R (19)$$

$$B^r_{i,m} \le Q_i\ \forall i \in N, m \in M, r \in R (20)$$

$$s^r_{i,m} \le S^r_{i,m} \forall i \in N, m \in M, r \in R (21)$$

$$S^r_{i,m} \le W_m + M\left(1 - B^r_{i,m}\right) \forall i \in N, m \in M, r \in R (22)$$

$$I^r_{i,1,m} + M Y^r_{i,m} \ge 0 \forall i \in N, m \in M, r \in R (23)$$

$$A^r_{i,m} + t_i + \sum_{g\in G} Z^{g.r}_{i,j,m} \times d_{i,j} / V^g_m \le A^r_{j,m} + M\left(1 - X'^{r}_{i,j,m}\right) \forall (i,j) \in N\ , i \ne j, m \in M, r \in R\ (24)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$A_{i,m}^{r}+t_i+\sum_{g\in G} Z_{i,j,m}^{g.r}\times d_{i,j}/V_m^g \geq A_{j,m}^{r}-M\left(1-X_{i,j,m}^{'r}\right)\forall(i,j)\in N, i\neq j, m\in M, r\in R \quad (25)$$

$$e_j \leq A_{j,m}^{r}+X_{i,1,m}^{r}+M\left(1-X_{i,j,m}^{'r}\right)\ \forall j\in M, m\in M, r\in R \quad (26)$$

$$l_j \geq A_{j,m}^{r}+X_{i,1,m}^{r}-M\left(1-X_{i,j,m}^{'r}\right)\ \forall j\in M, m\in M, r\in R \quad (27)$$

$$Z_{i,j,m}^{g.r}=Z_{i,j,m}^{g.r'}\ \forall(i,j)\in N,(r,r')\in R, m\in M \quad (28)$$

$$S_{i,m}^{r}=S_{i,m}^{r'}\ \forall i\in \mathrm{N},\left(r,r'\right)\in R, m\in M \quad (29)$$

$$s_{i,m}^{r}=s_{i,m}^{r'}\ \forall i\in \mathrm{N},\left(r,r'\right)\in R, m\in M \quad (30)$$

$$B_{i,m}^{r}=B_{i,m}^{r'}\ \forall i\in \mathrm{N},\left(r,r'\right)\in R, m\in M \quad (31)$$

$$G_{n,n+1}=G_{n,0} \quad (32)$$

$$d_{n,n+1}=d_{n,0} \quad (33)$$

$$Z_{n,n+1,m}^{g.r}=Z_{n,0,m}^{g.r} \quad (34)$$

$$\bar{F}_m^g=K_{1,m}(V_m^g)^3+K_{2,m} \quad (35)$$

$$\sum_{j=2}^{N-1} X_{1,j,m}^{'r}=Z_m^{'r}\ \forall i=1, m\in M, r\in R \quad (36)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1} X_{1,N,m}^{'r}=Z_m^{'r}\ \forall j=N, m\in M, r\in R \quad (37)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} X_{i,p,m}^{'r}=\sum_{j=2}^{N} X_{p,j,m}^{'r}\ \forall p\in\{2.3\ldots.N-1\}, m\in M, r\in R \quad (38)$$

$$X_{1,N,m}^{'r}=0\ \forall i=1, j=N, m\in M, r\in R \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{i,j,m}^{'r}=1\ \forall j\in\{2,3\ldots.N-1\}, r\in R \quad (40)$$

$$\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{N,j.m}^{'r}=0\ \forall i=N, r\in R \quad (41)$$

$$X_{i,j,m}^{'r}=0\ \forall i\in\{2,3\ldots.N\}, j=1, m\in M, r\in R \quad (42)$$

$$X_{i,j,m}^{'r}\leq Z_m^{'r}\ \forall(i,j)\in N, m\in M, r\in R \quad (43)$$

$$X_{i,j,m}^{'r}=0\ \forall i\in N, m\in M, r\in R \quad (44)$$

$$\sum_{j=2}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{1,j,m}^{'r}=\sum_{m\in M} Z_m^{'r}\ \forall i=1, r\in R \quad (45)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{i,N,m}^{'r}=\sum_{m\in M} Z_m^{'r}\ \forall j=N, r\in R \quad (46)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{i,N,m}^{'r}=1\ \forall i\in\{2,3\ldots,N-1\}, r\in R \quad (47)$$

$$u_{i,m}^{r}-u_{j,m}^{r}+\sum_{m\in M} nX_{i,j,m}^{'r}\leq n-1\ \forall(i,j)\in N, r\in R \quad (48)$$

$$1\leq u_{i,m}^{r}\leq n\ \forall i\in N, m\in M, r\in R \quad (49)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1}\sum_{m\in M} X_{i,j,m}^{'r}\leq \bar{N}\ \forall i=1, r\in R \quad (50)$$

$$-MB_{i,m}^{r}\leq S_{i,m}^{r}\leq MB_{i,m}^{r}\ \forall i\in N, m\in M, r\in R \quad (51)$$

$$-MB_{i,m}^{r}\leq s_{i,m}^{r}\leq MB_{i,m}^{r}\ \forall i\in N, m\in M, r\in R \quad (52)$$

$$a_{i,m}^{r}=0\ \forall i=1, m\in M, r\in R \quad (53)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$S_{i,m}^{r} \geq 0, X_{1,i,m}^{r} \geq 0, X_{2,i,m}^{r} \geq 0, I_{i,2,m}^{r} \geq 0, \bar{F}_{m}^{r} \geq 0, A_{i,m}^{r} \geq 0, I_{i.m}^{\acute{}r} \geq 0 \quad (54)$$

$$Y_{i,m}^{r}, Z_{i,j,m}^{g.r}, B_{i,m}^{r}, X_{i,j,m}^{\acute{}r}, Z_{m}^{\acute{}r} \in \{0,1\} \quad (55)$$

تابع هدف کل هزینه خدمت‌رسانی را حداقل می‌سازد، که شامل هزینه ثابت و متغیر سوخت‌گیری، هزینه نگهداری سوخت، هزینه جریمه نقض محدودیت‌های پنجره زمانی و حداقل میزان موجودی سوخت، هزینه جابه‌جایی میان بندرها و هزینه ثابت استفاده از هر کشتی هست. هزینه ثابت سوخت‌گیری در میان تمامی بندرها ثابت در نظر گرفته‌شده است. و همین‌طور هزینه نگهداری نیز ثابت و برای موجودی سوخت کشتی هنگام خروج از یک بندر هست. برای سوخت باقی در انتهای مسیر فرض شده که بتوان سوخت را فروخت و درآمدی حاصل ساخت. و اما محدودیت‌های مدل: محدودیت ۱ بیان می‌دارد موجودی اولیه سوخت هر کشتی در بندر مبدأ تحت سناریوهای مختلف قیمت صفر هست. محدودیت ۲- ۵ نشان می‌دهد اگر کشتی m در بندر i سوخت‌گیری کند، پس موجودی سوخت هنگام خروج از مبدأ سطح بالای سوخت منهای میزان مصرف در بندر i هست و در غیر این صورت یعنی عدم سوخت‌گیری موجودی سوخت هنگام خروج از مبدأ برابر موجودی سوخت هنگام رسیدن به بندر i منهای میزان مصرف در بندر i هست. محدودیت ۶- ۷میزان موجودی سوخت هنگام خروج از مبدأ را نشان می‌دهد. محدودیت ۸ بیان می‌دارد که هر کشتی بکار گرفته‌شده در طول مسیر حتماً باید در نقطه مبدأ سوخت‌گیری اولیه را داشته باشد. محدودیت‌های ۹- ۱۲ برای محاسبه موجودی ورودی به بندرها و جلوگیری از منفی بودن این موجودی هنگام مواجه با کمبود سوخت هست، زیرا منفی بودن میزان موجودی سوخت در عمل بی‌مفهوم است. محدودیت‌های ۱۳ و ۱۴ موجودی سوخت هنگام ورود به j با کم کردن میزان سوخت مصرفی کشتی بین i و j را نشان می‌دهد، البته اگر از i به j حرکتی داشته باشیم. محدودیت ۱۵ و ۱۶ اطمینان می‌سازد که تصمیم سوخت‌گیری تنها هنگامی‌که موجودی سوخت کمتر یا مساوی نقطه سفارش باشد گرفته شود. محدودیت ۱۷ اطمینان می‌سازد که برای طی مسیر بین دو بندر در صورت عبور ، تنها و حتماً یک سرعت انتخاب گردد. محدودیت ۱۸ نشان می‌دهد موجودی ورودی هر بندر در صورت ورود به آن بندر محاسبه گردد. محدودیت ۱۹ بیان می‌دارد تنها کشتی‌های مورداستفاده در طول مسیر می‌توانند سوخت‌گیری داشته باشند. محدودیت ۲۰ سوخت‌گیری را تنها به بندرهایی که قادر به سوخت دهی باشند محدود می‌سازد. محدودیت ۲۱ بیان می‌دارد سطح بالای سوخت بیشتر از نقطه سفارش هست. محدودیت ۲۲ سطح سفارش را با ظرفیت سوخت‌گیری کشتی محدود ساخته است. محدودیت ۲۳ مربوط به تابع هدف و پرداخت جریمه به دلیل کمبود موجودی سوخت هست. محدودیت ۲۴- ۲۷ مربوط به پنجره زمانی هست، و هنگامی‌که کشتی زودتر یا دیرتر از برنامه به بندر مربوطه برسد باید جریمه بپردازد. محدودیت‌های ۲۸- ۳۴ نشان می‌دهند که در تصمیمات کلان انتخاب سرعت بین دو بندر، نقاط سفارش سوخت و میزان سفارش و.... مستقل از سناریو قیمت هستند. محدودیت ۳۵ فرمول نرخ مصرف سوخت کشتی m را نشان می‌دهد. محدودیت ۳۶ نشان می‌دهد تمامی کشتی‌ها از بندر مبدأ شروع به حرکت می‌کنند. محدودیت ۳۷ نشان می‌دهد مجموع m کشتی بکار گرفته‌شده درنهایت به بندر مقصد بازمی‌گردد. محدودیت ۳۸ بیان می‌دارد که به هر بندری با هر کشتی واردشده‌ایم باید با همان کشتی از بندر خارج شویم. محدودیت ۳۹ نشان می‌دهد بین بندر مبدأ و مقصد حرکت مستقیمی وجود ندارد. محدودیت ۴۰ بیان می‌کند که به هر نقطه j میانی تنها از یک بندر می‌توان وارد شد. محدودیت‌های ۴۱ و ۴۲ وجود هرگونه حرکتی از

www.SID.ir

Archive of SID

مقصد به بنادر دیگر و از بنادر دیگر به مبدأ را محدود می‌سازند. محدودیت ۴۳ نشان می‌دهد مسیر بین بندرهای i به j با کدام کشتی طی شده است و اینکه مسیر بین i و j حتماً توسط یک کشتی خدمت‌رسانی گردد. محدودیت ۴۴ حرکت بین دو بندر یکسان را محدود می‌سازد. محدودیت‌های ۴۵ و ۴۶ نشان می‌دهند مجموعه کشتی‌های بکار گرفته از نقطه مبدأ در انتها به بندر مقصد می‌روند. محدودیت ۴۷ نشان می‌دهد از هر نقطه i به نقاط دیگر تنها یک‌بار و توسط یک کشتی می‌توان وارد شد. محدودیت ۴۸ و ۴۹ به جهت حذف زیر تور در مدل قرار داده‌شده است. محدودیت ۵۰ تعداد کشتی‌های مورد استفاده را کمینه می‌سازد. محدودیت‌های ۵۱ و ۵۲ سطح موجودی و نقطه سفارش سوخت در نقاط سوخت‌گیری شده را نشان می‌دهند. محدودیت ۵۳ نشان می‌دهد زمان در نقطه شروع برای بندر مبدأ صفر هست. محدویت‌های ۵۴ متغیرهای مثبت و محدودیت‌های ۵۵ متغیرهای صفر و یک را نشان می‌دهند.

در ادامه به بررسی اعتبار و صحت مدل ارائه‌شده با روش‌های مختلف پرداخته‌شده است.

۳. نتایج

در این بخش برای نشان دادن صحت مسئله یک مثال عددی که توسط نرم‌افزار GAMS حل‌شده، قرار داده شده است. و همان‌طور که انتظار می‌رفت، تمامی محدودیت‌ها در این مثال تأمین شده‌اند. در این نمونه فرض شده که شرکت کشتیرانی با سه کشتی با اندازه‌های متفاوت قصد خدمت‌رسانی به بندرهایی در آمریکا-آفریقا -اروپا را دارد. مبدأ این کشتی‌ها Newyork و مقصد آن‌ها Montreal هست. هدف این شرکت یافتن مسیر بهینه، بهترین بندرها برای سوخت‌گیری، انتخاب کشتی مناسب، محاسبه زمان خروج و ورود به بندرها، میزان مصرف سوخت، انتخاب سرعت بهینه حرکت کشتی و موجودی سوخت هر کشتی هست. پارامترهای این مثال عددی در جدول ۲ آورده شده است. در شکل ۱ مسیر حرکت و بندرهایی که در آن‌ها سوخت‌گیری شده (خط‌چین) مشخص‌شده است. و دیگر نتایج طبق جداول ۳ تا ۵ قرار شده است.

جدول ۲- پارامترهای مثال عددی با هشت بندر

پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد بندرها	۸
تعداد کشتی	۳
اندازه کشتی‌ها	۷۰۰۰,۵۰۰۰,۴۰۰۰(TEUs)
سرعت‌های انتخابی	۱۹,۱۸,۱۷
هزینه ثابت سوخت‌گیری در بندرها	۱۰۰۰۰۰
هزینه نگهداری	۵۰
متوسط قیمت سوخت	$۱۲۰

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۱ مسیر حرکت کشتی یک(۴۰۰۰TEUs)در نمونه‌ای با هشت بندر

همان‌طور که می‌بینیم در این نمونه برای خدمت-رسانی از بندر مبدأ تا مقصد از یک کشتی استفاده‌شده و کشتی نیز با کمبود سوخت مواجه نشده است. بعلاوه با توجه به اطلاعات حاصله از نرم-افزار GAMS کشتی در بندرهایی که موجودی ورودی سوخت کمتر از نقطه سفارش بوده اقدام به سوخت‌گیری داشته و در نقاطی که موجودی ورودی مناسب بوده، سوخت‌گیری نکرده است. بطوریکه مشاهده می‌شود در نقاط ۱،۲،۴،۵ و ۷ که بندرها قادر به سوخت‌رسانی هستند، سوخت‌گیری شده است. در ادامه در جدول ۳ مقدار سطح موجودی سوخت $S_{i,m}$ برای کشتی یک در نقاطی که اقدام به سوخت‌گیری داشته، آورده شده است. و همچنین در جدول ۴ میزان موجودی ورودی به هر بندر $I_{i,1,m}$ که نیاز به سوخت‌گیری نبوده بررسی‌شده است.

جدول ۳- نتایج مثال عددی با هشت بندر

متغیر $I_{i,1,m}$	مقدار متغیر
$I_{3,1,m}$	۱۴۱۷۵۰
$I_{6,1,m}$	۱۲۸۳۹۰
$I_{8,1,m}$	۹۰

جدول۴- نتایج مثال عددی با هشت بندر

متغیر S_i	مقدار متغیر(Kg)
S_1	۲۸۵۵۲,۲۵۳
S_2	۱۳۲۶۱۰
S_4	۲۷۶۶۷۰
S_5	۱۱۳۰۶۰
S_7	۱۴۵۵۴۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- زمان رسیدن به بندرها به ترتیب عبور از بندرها

بندر	زمان رسیدن
۱-New York	
۲-Jacksonville	۶۱,۹۴۱
۷-Liverpool	۲۹۳,۴۱۲
۶-Southampton	۳۳۹,۹۴۱
۵-Abidjan	۵۵۴,۲۳۵
۴-Santos	۷۵۳,۷۶۵
۳-Cristobel	۱۰۳۳
۸-Montreal	۱۲۲۴,۵۲۹

با توجه به تغییرات قیمت سوخت، در ادامه با روش شبیه‌سازی درصدد بررسی مدل باقیمت‌های متفاوت سوخت خواهیم بود. به‌بیان‌دیگر با حذف احتمالات سناریوی قیمت، داده‌های تصادفی به مدل داده‌شده تا میزان نزدیکی مدل حاصل را با واقعیت بسنجیم.

در این قسمت به جهت اعتبارسنجی مدل، یک نمونه مسئله حل‌شده در نظر گرفته‌شده است. جواب به‌دست‌آمده را X فرض می‌کنیم. تابع هدف به ازای این X مقداری اختیار خواهد کرد. بخشی از تابع هدف تحت تأثیر عدم قطعیت نیست آن قسمت جداشده و مقدار آن به ازای X را A می‌نامیم.

بخش دیگر تابع هدف تحت تأثیر عدم قطعیت است مثل هزینه سوخت‌گیری و... این بخش با B نشان داده‌شده است. مقدار کل تابع هدف درواقع برابر است با:

$$E(TC)=A+E(B)$$

که در این رابطه مقدار E(B) از طریق شبیه‌سازی حاصل می‌گردد. فرض کنید؛ پارامترهای غیرقطعی که به ازای $\bar{X}$ ($\bar{X}$ بخشی از X است که در محاسبه B شرکت دارد) B را می‌سازند در برداری مثل a قرار گیرند:

$$E(TC)=A+E(a\bar{X})$$

با در نظر گرفتن احتمال برداری a، آن را به‌صورت تصادفی تولید می‌کنیم. حاصل‌ضرب $a\bar{X}$ را B_i می‌نامیم. n تا B_i تولید کرده و نتایج زیر حاصل می‌گردد:

$$E(TC)\cong A+\sum B_i/n$$

حال نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را در جداول۶ و ۷ نشان داده‌ایم.

جدول ۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

E(B)	A
۴۸۸۶۹۵۶۷,۳۹	۶۸۹۲۹۰۱۲,۶۵

جدول ۷- مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و مدل حل‌شده GAMS

E(TC)حاصل از نمونه حل‌شده در GAMS	E(TC) حاصل از شبیه‌سازی
۱۴۸۴۲۰۰۰۰	۱۱۷۷۹۸۵۸۰

با توجه به نتایج حاصله، اختلاف این دو هزینه کل E(TC) کمتر از ده درصد بوده که این اختلاف کم‌کار آیی و اعتبار مدل را در واقعیت اثبات می‌کند. در ادامه به جهت بررسی بیشتر اعتبار مدل، آزمون فرض t نیز با $\alpha = 0.05$ و $\begin{cases}\mu = 49527380\\ \mu \neq 49527380\end{cases}$ (مقدار قسمت متغیر تابع هدف نمونه را نشان می‌دهد؛ درواقع دو مقدار متغیر هدف باهم مقایسه شده‌اند.) با استفاده از نرم‌افزار *MINITAB* انجام‌شده است. و همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، میانگین حاصل از شبیه‌سازی در فاصله اطمینان حاصل‌شده قرار می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

One-Sample T: bb

Test of mu = 49527380 vs not = 49527380

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
bb	18	48869567	1663969	392201	(48042095, 49697040)	-1.68	0.112

شکل ۲ نتایج آزمون فرض شبیه‌سازی در نرم‌افزار *MINITAB*

در این قسمت به تحلیل حساسیتی بر نمونه شامل ۱۲ بندر پرداخته شده است.

در این قسمت تاثیر قیمت سوخت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. پنج سناریو برای قیمت سوخت کشتی در میان تمامی بنادر مورد ارزیابی بوده است. ۱) قیمت یکسان در تمامی بنادر ۲) افزایش قیمت سوخت در طول مسیر سرویس‌دهی ۳) کاهش قیمت سوخت در طول مسیر سرویس‌دهی ۴) افزایش و سپس کاهش قیمت ۵) کاهش و سپس افزایش قیمت. برای اینکه این مقایسات عادلانه باشد قیمت متوسط قیمت سوخت ($120/ton) در تمامی بنادر یکسان در نظر گرفته شده است. باور داریم که این پنج حالت، شرایط واقعی تغییرات قیمت سوخت را در بنادر منعکس می‌کنند. جدول ۷ نتایج این پنج سناریو را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که قیمت-های سوخت متفاوت به بنادر سوخت‌گیری بهینه و هزینه سوخت‌گیری مختلف منجر می‌گردد. اگرچه متوسط قیمت سوخت در هر پنج سناریو یکسان در نظر گرفته شده است. بعلاوه، مشاهده می‌شود که بندری با پایین‌ترین قیمت سوخت ممکن است؛ بندر بهینه برای سوخت‌گیری نباشد. به دلیل اینکه نیازهای مختلف دیگری برای سوخت‌گیری در هر بخش مسیریابی وجود دارد. همچنین از جدول ۸ مشاهده می‌شود که تفاوت چشمگیری در سرعت پنج سناریو وجود ندارد. به دلیل اینکه سرعت وابسته به محدودیت‌های پنجره زمانی رسیدن به بنادر می‌باشد. پس مشاهده می‌شود که تصمیم‌گیری راجع بندر سوخت‌گیری بیشتر تحت تاثیر قیمت سوخت در میان بنادر می‌باشد. و همچنین سرعت کشتی اغلب تحت تاثیر پنجره‌های زمانی موجود در مدل بوده است. پس دریافتیم که تصمیم‌گیری همزمان سرعت و سوخت‌گیری کشتی می‌تواند هزینه کل را بهینه سازد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸ بررسی اثر قیمت سوخت کشتی

	کاهش- افزایش		افزایش- کاهش		کاهش قیمت‌ها		افزایش قیمت‌ها		قیمت‌های یکسان	
بندر	سرعت کشتی	میزان سوخت-گیری	سرعت کشتی	میزان سوخت گیری	سرعت کشتی	میزان سوخت-گیری	سرعت کشتی	میزان سوخت-گیری	سرعت کشتی	میزان سوخت‌گیری
Dubai-۱		۱۶۴۷۳۹۰		۲۶۵۵۲۲۱		۲۷۵۰۵۶۰		۲۰۵۷۴۷۰		۴۲۵۵۱۱
Bangkok-۲	۱۷		۱۷		۱۷		۱۷		۱۷	
Durban-۳	۱۸	۳۰۰۹۸۰	۱۷		۲۳	۸۷۶۵۲۰	۱۷	۶۴۳۸۰۰	۱۷	۳۵۸۷۴۰
Tokyo-۴	۱۷		۱۷		۱۸		۱۷		۱۷	
Mumbai-۵	۱۷	۲۰۷۷۹۰	۱۹	۴۲۲۳۳۰	۱۸		۱۸	۱۹۴۷۵۰	۱۷	۲۶۶۳۸۰
Colombo-۶	۱۷		۱۷		۱۷		۱۷		۱۷	
Hongkong-۷	۱۷	۲۴۹۳۳۰	۱۷	۴۶۰۶۳	۱۸		۱۷	۱۵۶۵۵۰	۱۷	۶۷۶۳۶
Singapore -۸	۱۷		۱۷		۱۷		۱۷		۱۷	
Melbourne-۹	۱۷	۱۹۳۸۳۰	۱۷	۲۲۵۱۳۰	۲۳	۵۳۸۴۰۰	۱۸	۲۲۷۱۱۰	۱۷	۲۰۳۸۴۰
Auckland-۱۰	۱۷		۱۷		۱۷		۱۷		۱۷	
Salalah-۱۱	۱۷	۱۶۹۰۰۰	۱۷	۳۲۴۹۳۰	۱۸	۹۸۰۸۵۰	۱۷	۳۵۷۶۶۰	۱۷	۲۴۸۶۲۰
Dalian-۱۲										
هزینه کل	۴۶۶۷۷۰۰۰۰		۸۰۴۳۳۰۰۰۰		۶۲۰۳۴۰۰۰۰		۷۵۰۱۰۰۰۰۰		۳۴۴۷۵۰۰۰۰	

در این قسمت تاثیر پنجره زمانی رسیدن به بنادر بررسی شده است. پنجره زمانی، زمان رسیدن به بنادر را محدود می‌سازد. در این جا دو وضعیت مختلف مورد مقایسه واقع شده‌اند؛ در یک حالت پنجره زمانی (زمان رسیدن به بندر باید در این پنجره زمانی باشد) براساس برنامه‌ریزی و زمانبندی شرکت کشتیرانی وجود دارد. و در حالت دوم؛ محدودیت پنجره زمانی آزاد شده است. همچنین فرض شده که هزینه جریمه در حالت آزادسازی محدودیت اعمال نمی‌گردد. جدول ۹ این دو استراتژی مدیریت سوخت‌گیری بهینه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از جدول نشان می‌دهد، نبود محدودیت زمانی هزینه‌ها را به سه دلیل کاهش می‌دهد؛ یک کاهش کل میزان سوخت‌گیری (از ۳۲۰۶۹۰۰ به ۲۰۶۰۹۵۹ کاهش داشته) و دو کاهش تعداد کشتی‌های بکارگرفته شده (از ۳ به ۲) و سه، کاهش تعداد مکان‌های سوخت‌گیری. به عبارت دیگر با آزاد کردن محدودیت زمانی، ترجیح داده شده است با کاهش تعداد کشتی‌ها و میزان سوخت‌گیری زمان رسیدن به بنادر را افزایش دهد، چون محدودیت و جریمه‌ای در این خصوص وجود ندارد.

جدول ۹ بررسی اثر پنجره زمانی

	مدل با پنجره زمانی			مدل بدون پنجره زمانی		
بندر	هزینه کل	مقدار سوخت‌گیری	سرعت کشتی	هزینه کل	مقدار سوخت‌گیری	سرعت کشتی
Dubai-۱	۶۹۴۷۸۰۰۰۰	۱۹۱۱۳۰۰		۴۳۹۰۸۰۰۰۰	۲۷۵۰۶۹	
Bangkok-۲			۱۷			۱۸
Durban-۳	کل مقدار سوخت-	۵۳۲۳۰۰	۲۳	کل مقدار	۳۷۵۹۱۰	۱۷

www.SID.ir

Archive of SID

Tokyo-۴	گیری		۱۷		سوخت‌گیری	۱۸
Mumbai-۵		۱۳۹۷۵۰	۱۷			۲۳
۶ Colombo-			۱۷			۱۸
۷ Hongkong -		۱۸۲۴۶۰	۱۹	۱۸۱۹۵۰		۱۷
۸ Singapore -			۱۷			۱۷
۹ Melbourne -		۲۰۳۸۴۰	۱۷	۱۹۳۸۳۰		۱۷
۱۰ Auckland-			۱۷			۱۸
Salalah-۱۱		۲۲۷۲۵۰	۱۷	۱۰۳۴۲۰۰		۱۷
Dalian-۱۲						

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه حمل و نقل دریایی بخش مهمی از زنجیره تامین جهانی بوده و یکی از مهم‌ترین انواع حمل‌ونقلی می‌باشد. و همینطور با توجه به تمرکز اندک محققان به این حوزه، موضوع در این راستا انتخاب گردیده است. همچنین باید اشاره کرد که مسیریابی و تخصیص ناوگان و مسئله سوخت‌گیری با توجه به قیمت بالای سوخت کشتی از مهم‌ترین مسائل در این حوزه می‌باشند. در خصوص اهمیت سوخت‌گیری باید بیان داشت که حدود ۶۰ درصد هزینه‌های کشتی به سوخت آن اختصاص دارد. این مسائل ما را به پژوهش در این راستا سوق داده است.

هدف این مدل‌سازی، کاهش تعداد کشتی‌های بکار گرفته در طول خدمت‌رسانی، یافتن کوتاه‌ترین مسیر، انتخاب بندرهای مناسب برای سوخت‌گیری و میزان سوخت‌گیری در هر بندر و در نهایت حداقل سازی هزینه‌های کل می‌باشد.

این مدل‌سازی بگونه‌ای می‌باشد که کشتی از نقطه مبدا شروع به حرکت کرده و به دنبال کوتاهترین مسیر برای خدمت‌رسانی به تمامی بنادر می‌باشد. در طول مسیریابی موجودی سوخت کشتی در نقاطی که قادر به سوخت‌رسانی باشند، بررسی شده و اگر موجودی کمتر از نقطه سفارش s_i باشد اقدام به سوخت‌گیری می‌کند. باید اشاره کرد که هزینه جریمه‌ای در هدف در صورت تمام شدن موجودی سوخت در طول مسیر منظور شده است. همچنین در این مدل فرمولی برای مصرف کشتی که وابسته به سرعت کشتی می‌باشد، ارائه گشته است. و بدلیل اینکه با تغییر سرعت امکان تغییر در پنجره زمانی خدمت‌رسانی می‌باشد؛ محدودیت‌هایی برای پنجره زمانی مدل و همینطور هزینه جریمه‌ای در صورت نقض این محدودیت‌ها در تابع هدف منظور شده است.

در انتها به برخی نتایج و دستیابی‌های مهم این پژوهش اشاره می‌کنیم:

مسیر حرکت کشتی، بنادر سوخت‌رسان و سرعت کشتی در استراتژی مدیریت سوخت به جهت کاهش کل هزینه‌ها بهینه گردیده است. قیمت سوخت در بنادر سوخت‌رسان برای انتخاب بنادر بهینه مورد-بررسی قرار گرفته است. تصمیمات مربوط به انتخاب بندر تحت تأثیر قیمت سوخت و تصمیمات مربوط

www.SID.ir

Archive of SID

به‌سرعت تحت تأثیر محدودیت‌های پنجره‌های زمانی (زمان رسیدن به بندرها) مدل می‌باشد. با چشم‌پوشی از محدودیت‌های پنجره زمانی، میزان کل سوخت دریافتی کشتی‌ها در مسیر افزایش می‌یابد.

اما در خصوص مطالعات آتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛ ۱) بررسی مدل در شرایط غیرقطعی مانند؛ بروز بلایای طبیعی (زلزله، سیل و ..)، تغییرات آب و هوایی، مشکلات مکانیکی کشتی، تراکم بار در بندرها و...که مدل با تغییراتی مواجه می‌گردد. ۲) گسترش سطح عملیاتی مدل برای پیش‌بینی قیمت سوخت در بندرها. ۳) در نظر گرفتن برخی نگرانی‌های مربوط به محیط‌زیست؛ مانند کاهش گازهای گلخانه‌ای (کربن دی‌اکسید...). ۴) همین‌طور در حمل‌ونقل دریایی غالباً کشتی‌ها بارهای حجیم و سنگین را منتقل می‌کنند، در این مدل‌سازی به دلیل گستردگی کار اشاره‌ای به تخلیه و بارگیری کشتی‌ها نشده است، در مطالعات بعدی می‌توان این موضوع را در قالب Pick up و delivery مورد بررسی قرارداد. ۵) در این مدل‌سازی برای بررسی موجودی سوخت سیاست (s,S) موردنظر قرارگرفته، اما با در نظر گرفتن یک نقطه سفارش اطمینان می‌توان به مدل بهبود بخشید. ۶) همچنین برای حل مدل در ابعاد بزرگ می‌توان مدل را با روشی فرا ابتکاری حل نمود.

منابع

Choi, B.C., Lee, K., Leung, J.Y.T., Pinedo, M.L., Briskorn, D. (2012) "Container Scheduling: Complexity and Algorithms", Prod. Oper. Manag. 21 (1), 115–128.

Guericke. (2014) "Liner Shipping Network Design Decision Support and Optimization Methods for Competitive Networks", M.Sc THESIS. Paderborn University.

Karinah, kjeldisen. (2011) "routing and scheduling in liner shipping", phd, department of economic and business and social science university.

Psaraftis, H. (1999) "Foreword to the focused issue on maritime transportation", Transportation Science, vol. 33.

Ronen. (1982) "The effect of oil price on the optimal speed of ships", Journal of the Operational Research Society, 33(11):1035–1040.

Sheng, Ek Peng Chew, Loo Hay Lee. (2015) "(s,S) policy model for liner shipping refueling and sailing speed optimization problem", Transportation Research Part E 76–92.

UNCTAD (2010b). Review of Maritime Transportation 2010. United Nations.

Yao, Zhishuang. (2012) "A study on bunker fuel management for the shipping liner services", Computers & Operations Research 39,1160–117.

www.SID.ir

Archive of SID

Fleet deployment, ship routing and refueling optimization problem

Mahsa Lashgari*, Ali Akbar Akbari

Faculty of industrial engineering, Islamic Azad university south Tehran

(DOI): 10.22113/jmst.2019.135211.2174

Abstract

Marine transportation mainly includes fleet allocation, ship routing and refueling issues. It is noted that the issue of fleet allocation, route design and planning of ships is aimed at minimizing the costs. In recent years, most shipping companies have faced difficult market conditions in terms of refueling and fuel prices. Given that approximately 60 percent of the cost of the ship is dedicated to its fuel, so fleet fuel costs are considered as the largest shipping cost. In these issues often competitive conditions and uncertainty have been considered, that causes complexity of the problem. In this study a liner marine transportation company is evaluated, that transfers cargo between different ports. The company requires determining some decisions such as finding the optimal route, refueling and ship speed policy under price and fuel consumption uncertainty. Interactions of refueling and routing and allocation due to the need of refueling during the ship routes provides the importance and the need to examine these two issues together. So in this problem, we are going to define the ship routing while, we are going to determine the location of refueling and the speed of the ships based on the fuel prices.

Keywords: Ship Routing, Inventory , Fleet Deployment, Ship Speed Optimization

List of tables & figures

Fig1. The route of the ship (4,000 TEUs), with eight ports
Fig2. Results of the simulation hypothesis test in the MINITAB software
Chart1. Set, parameters and variables.
Chart 2. Example's Numerical parameters with eight ports
Chart 3.Example's Numerical results with eight ports
Chart 4. Results of a numerical example with eight ports
Chart 5. Time to arrive at ports, respectively, crossing ports
Chart 6. Simulation results
Chart 7. Comparison of the results of simulation and solved GAMS model

*Corresponding author, E-mail: Mahsa.lashgari@ymail.com

www.SID.ir