

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف

سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی ایران

صادق شریفی، کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، ایران

سید فرزاد حسینی (نویسنده مسئول و مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، ایران

E-mail: farzad@hormozgan.ac.ir

حسن زارعی، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

چکیده

پایانه‌های کانتینری سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که در آن‌ها فرآیندهای تصمیم‌گیری حیاتی مرتبط با کنترل و برنامه‌ریزی تدارکات جریان دارد. تصمیم‌گیری در مورد زمان و مکان تخصیص کشتی‌های ورودی از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی گردانندگان پایانه‌های کانتینری و مدیران بنادر است که غالباً "مسئله تخصیص پهلوگاه اسکله" نامیده می‌شود. به علاوه، در طول دو دهه گذشته، حمل‌ونقل دریایی و ترافیک کانتینری در سراسر جهان رشد سریع و پیوسته‌ای را تجربه کرده است که این افزایش باعث شده موضوع سوخت مصرفی توسط کشتی‌ها تبدیل به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های خطوط کشتیرانی شود. بنابراین، این مقاله قصد دارد مسئله بهینه‌سازی تخصیص پهلوگاه‌های اسکله را در حالتی مورد بررسی قرار دهد که سوخت مصرفی مورد نیاز برای حرکت کشتی‌ها، توسط مدیران پایانه‌ها و خطوط کشتیرانی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به عملیات تخصیص کشتی‌ها، مد نظر قرار گیرد. برای بررسی این امر، بندر شهید رجایی انتخاب و پس از ارائه مدل ریاضی متناسب با ویژگی‌های فیزیکی و عملیاتی بندر شهید رجایی نسبت به حل آن با استفاده از روش دقیق اپسیلون محدودیت تکامل یافته (AEC) اقدام می‌شود. به دلیل پیچیدگی مدل ریاضی ارائه شده، برای حل مسائل با ابعاد واقعی از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II (الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب چندهدفه) نیز استفاده می‌شود. در پایان، نتایج بدست آمده و تحلیل‌های آماری انجام‌شده، حکایت از عملکرد قابل قبول مدل بهینه‌سازی چندهدفه ریاضی پیشنهادی به منظور کاهش زمان انتظار کشتی‌ها و مصرف سوخت آن‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: پایانه‌های کانتینری، حمل‌ونقل دریایی، مدل‌سازی ریاضی، مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله، بندر شهید رجایی ایران

۱. مقدمه

مشخص حمل و نقل، انبار و ذخیره‌سازی و سایر فعالیت‌های لجستیکی بندر مربوطه است.

به‌طور کلی، یک پایانه کانتینری، زیرساختی وسیع در بندر است که با هدف اتصال جریان محموله در خشکی و دریا از طریق تجهیزات جابجایی کانتینری، حمل و نقل و انبارداری ایفای نقش می‌کند. در واقع پایانه کانتینری را می‌توان به‌عنوان یک سیستم آزاد از جریان مواد در نظر گرفت. پهلوگاه‌ها به‌نوعی مهم‌ترین منابع موجود در یک پایانه هستند که به‌طور قابل توجهی با سایر برنامه‌ریزی‌های پایانه، مانند برنامه‌ریزی تخصیص جرثقیل‌های ساحلی و محوطه، چیدمان کانتینرها و مدیریت انبار، مسیریابی حرکت لیفتراک‌ها یا کامیون‌های داخلی و ... در ارتباط هستند. برنامه‌ریزی صحیح به‌منظور پهلودهی بهینه کشتی‌ها می‌تواند منجر به کاهش زمان حضور کشتی‌ها در بنادر و استفاده حداکثری از منابع موجود شود، که این امر نیز باعث افزایش جلب رضایت شرکت‌های کشتیرانی، بهره‌وری و سودمندی بالاتری خواهد شد. سیاست‌های پهلودهی که در اکثر بنادر مورد استفاده قرار می‌گیرد به این صورت است که کشتی‌هایی که زودتر وارد پهلوگاه شوند زودتر خدمت داده می‌شوند، که این امر مالکان کشتی‌ها را ترغیب می‌کند تا با حداکثر سرعت حرکت کنند. در واقع این چنین سیاست‌های قدیمی پهلودهی، عامل اصلی تراکم بنادر و افزایش مصرف سوخت کشتی‌هاست که در نتیجه باعث بروز عواقب نامطلوب اقتصادی، زیست‌محیطی و ایمنی می‌شود.

پایانه‌های کانتینری در سراسر جهان از لحاظ اندازه، موقعیت جغرافیایی و نوع عملیات کاملاً متنوع هستند. شمای کلی و نحوه چیدمان یک پایانه کانتینری در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشخص است ساختار کلی یک پایانه کانتینری را می‌توان به سه منطقه کاربردی اصلی ۱. جانب دریا، ۲. جانب خشکی و ۳. محوطه تقسیم نمود. منطقه جانب

حمل و نقل دریایی^۱ از جمله مهم‌ترین، پرکاربردترین و ارزان‌ترین روش‌های ترابری در سراسر جهان است که قرن‌های زیادی است به‌منظور برآورده ساختن نیازهای سیاحتی و تجاری بشر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طول دو دهه گذشته، با افزایش تقاضای تجارت دریایی در سراسر جهان، حمل و نقل کانتینری به‌دلیل نقش چشم‌گیری که در کاهش هزینه‌های حمل و نقل دارد، به‌عنوان هسته اصلی لجستیک نوین، معرفی و پایانه‌های کانتینری به‌عنوان گره‌های کلیدی حمل و نقل بین‌المللی مطرح شده‌اند. پایانه‌های کانتینری سیستم‌های پویای پیچیده‌ای هستند که با بسیاری از فعالیت‌ها در ارتباط هستند. از جمله مسئله تخصیص پهلوگاه^۲ یا اصطلاحاً BAP که به‌عنوان مهم‌ترین موضوع در کل فرآیند مدیریت بندر شناخته می‌شود. به‌طور خلاصه در BAP، هنگامی که یک کشتی به بندر مربوطه می‌رسد می‌بایست توسط برنامه‌ریزان پایانه در پهلوگاه مشخص تخصیص‌دهی شود. هدف اصلی در بنادر کانتینری، بالا بردن بهره‌وری با افزایش سرعت در خدمت‌دهی و به عبارتی دیگر، کاهش هزینه تأخیرات است. در سال‌های اخیر، با افزایش حمل و نقل دریایی، مسئله آلودگی حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط کشتی‌ها یکی از دغدغه‌های جدید مدیران بنادر است [UNCTAD, 2020].

امروزه نقش بنادر در مقایسه با عملکرد سنتی آن‌ها به‌طور گسترده‌ای متحول شده است و به‌عنوان حلقه وصل بین دریا و خشکی از طریق تسهیل عملیات تخلیه و بارگیری، به بخش مهمی در شبکه لجستیک جهانی تبدیل شده‌اند که به‌طور مؤثر و ایمن، جریان کالاها را مدیریت و خدمات لجستیکی با ارزش افزوده ارائه می‌دهند. در این راستا، یکی از چالش‌های اصلی عملیات لجستیکی بنادر، تسهیل برنامه‌ریزی، کنترل، هماهنگی و همکاری در میان اعضای مختلف بندر، به ویژه برای مدیریت فعالیت‌ها در مراحل

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

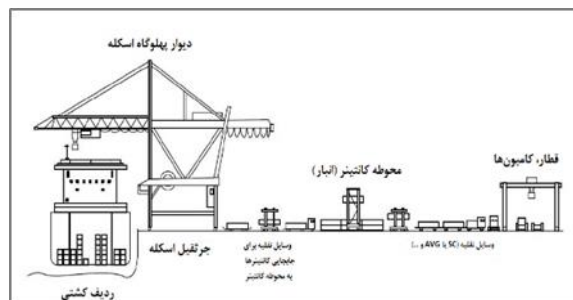
می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ به عددی مابین ۵۰ تا ۲۵۰ درصد وضع کنونی افزایش یابد [UNCTAD, 2020]. در این راستا، این مقاله به ارائه مدلی یکپارچه برای مسئله BAP با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها می‌پردازد.

سایر بخش‌های این مقاله بدین صورت تدوین می‌شوند: در بخش دوم مختصری از مطالعات پیشین نزدیک به حوزه مسئله تخصیص پهلوگاه بیان می‌شود. بخش سوم، بیان مسئله، فرضیات دخیل، نمادهای مدل‌سازی، فرآیند محاسباتی مصرف سوخت کشتی‌ها در مدل ریاضی مسئله تخصیص پهلوگاه و مدل ریاضی نهایی توصیف می‌شود. در بخش چهارم، رویکردهای حل مدل ریاضی پیشنهادی معرفی و در بخش پنجم، مطالعه موردی این پژوهش و نتایج محاسباتی گزارش می‌شوند. همچنین، تحلیل حساسیت در بخش ششم انجام می‌گیرد. در پایان، نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات به‌منظور کاهش‌های آینده نیز در بخش هفتم شرح داده می‌شوند.

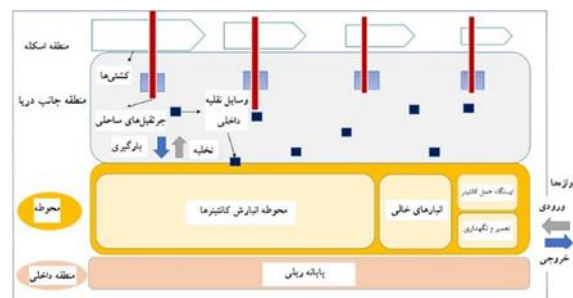
۲. مرور ادبیات

در مسائل تخصیص پهلوگاه، یک چیدمان اسکله به‌همراه مجموعه‌ای از کشتی‌ها که می‌بایست در یک افق برنامه‌ریزی معین خدمت‌دهی شوند، به برنامه‌ریز یا تصمیم‌گیرنده داده می‌شود. بدین‌صورت که کشتی‌ها باید در محدوده اسکله پهلودهی شوند و نمی‌توانند به‌صورت همزمان یک اسکله یکسان را اشغال کنند. در مسئله بهینه‌سازی اصلی (پایه‌ای)، موقعیت‌ها و زمان‌های پهلوگیری باید به همه کشتی‌ها اختصاص یابند، به‌طوری‌که یک تابع هدف مشخص بهینه شود. انواع مختلفی از مدل‌های بهینه‌سازی برای تخصیص اسکله در ادبیات ارائه شده است. در پژوهش انجام شده توسط بایرورت و مایزل (۲۰۱۰)، یک طرح کلی برای دسته‌بندی مدل‌های ارائه‌شده مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله با توجه به چهار ویژگی ۱. مکانی، ۲. زمانی، ۳. زمان خدمت‌دهی و ۴. ارزیابی

خشکی، در واقع حلقه وصل بین پایانه کانتینری دریایی با حمل‌ونقل زمینی محسوب می‌شود که معمولاً به خطوط راه‌آهن و پایانه کامیون‌ها تقسیم می‌گردد. همچنین، به منطقه اختصاص یافته برای ذخیره و انبار موقت کانتینرها، محوطه گفته می‌شود. منطقه جانب دریا نیز منطقه‌ای از پایانه کانتینری را شامل می‌شود که در آن کشتی‌های کانتینربر پس از پهلوگیری در اسکله، توسط زیرمجموعه‌ای از جرثقیل‌ها، تحت عملیات تخلیه و بارگیری قرار می‌گیرند [Cruz et al. 2019].



شکل ۱. بخش‌های مختلف یک پایانه کانتینری



شکل ۲. چیدمان کلی یک پایانه کانتینری [Amrou, Hassan, & Boulmakoul, 2018]

در سال‌های اخیر، افزایش قیمت سوخت یکی از دغدغه‌های اصلی مالکان کشتی‌هاست و از طرف دیگر، سوخت مصرف شده باعث انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای مانند کربن دی‌اکسید، اکسید نیتروژن، اکسید گوگرد، ذرات معلق و ... خواهد شد. براساس برآورد مشترک آژانس بین‌المللی انرژی^۳ و سازمان بین‌المللی دریایی^۴، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل دریایی

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

ممکن آنجا را ترک کنند و کشتی‌های بعدی جهت پهلوگیری مستقر گردند. در چنین شرایطی اعمال خواسته یا ناخواسته هرگونه وقفه یا ایجاد هزینه‌های غیرضروری در چرخه حمل و نقل دریایی کالا به نوبه خود می‌تواند منجر به حذف بسیاری از فعالان در بخش واردات و صادرات شود، به گونه‌ای که دیگر قادر به حفظ حاشیه درآمدی نخواهند بود و از چرخه اقتصاد خارج خواهند شد. به علاوه، روان‌سازی و بهبود روش‌ها و فرآیندها در این عرصه نیز می‌تواند آثار مثبت بر تعداد فعالان و در نتیجه افزایش رقابت داشته باشد.

یک طبقه‌بندی مختصر از مدل‌های بهینه‌سازی تخصیص اسکله و روش‌های حل آن‌ها در جدول (۱) ارائه می‌گردد. در ادامه به ذکر جزئیات بیشتری از مطالعات این حوزه به منظور آشنایی بیشتر با مفاهیم و اقدامات صورت گرفته پرداخته می‌شود.

عملکرد معرفی شده است. در مسئله تخصیص پهلوگاه مشخصه مکانی مربوط به چیدمان اسکله و مشخصه زمانی مربوط به زمان ورود، فرآیند پهلوگیری و خروج کشتی‌ها از اسکله است. همچنین، مشخصه زمان خدمت‌دهی اشاره به فرضیاتی دارد که برای زمان عملیات تخلیه و بارگیری کشتی‌ها در نظر گرفته می‌شود. مشخصه آخری که باید مدنظر قرار گیرد مشخصه ارزیابی عملکرد است که اشاره به هدفی دارد که مدل برای آن طراحی شده است [Bierwirth & Meisel, 2010].

به‌طور کلی، مسئله تخصیص پهلوگاه، یک مسئله حیاتی برای کارآمد بودن عملیات هر پایانه کانتینری است و همان‌طور که بیان شد، در این مسئله، کشتی‌ها در طول زمان در پایانه موجود فراخوانی می‌شوند و برنامه‌ریزان پایانه یک محل پهلوگیری در طول اسکله و یک زمان پهلوگیری در افق برنامه‌ریزی به هر کشتی اختصاص می‌دهند. علت اصلی این است که کشتی‌ها بتوانند در زودترین زمان

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی ایران

جدول ۱. خلاصه‌ای از مقالات مرتبط با BAP

نوع فرمولاسیون	لحاظ فرض پنجره‌های زمانی، آبخور هر کشتی، اثر جزرومد	داده‌ها (مطالعه موردی)	روش حل و نرم‌افزار مورد استفاده	نوع زمان ورود کشتی‌ها	نوع چیدمان اسکله	نوع مسئله ریاضی	مقاله (نویسنده (گان) و سال انتشار)
مسئله تخصیص پهلوگاه	---	داده‌های تولیدی (تصادفی)	رویکرد ترکیبی بهینه‌سازی-شبیه‌سازی، کدنویسی در محیط نرم‌افزار ++C	---	گسسته	عدد صحیح آمیخته	[Alvarez, Longva, & Engebretsen, 2010]
مدل ریاضی سه هدفه، کاهش مخارج عملیاتی در طول افق برنامه‌ریزی مسئله، کاهش هزینه سوخت کشتی‌ها و جریمه‌های معطلی و لغو							
مسئله یکپارچه تخصیص پهلوگاه و جرثقیل‌های اسکله ^۶	---	داده‌های گروه مشاوره‌ای استارکرست ^۵	معیار جامع وزنی، نرم‌افزار متلب	پویا	پیوسته	عدد صحیح آمیخته غیرخطی	[Hu, Hu, & Du, 2014]
مدل ریاضی دو هدفه، کاهش مصرف سوخت کشتی‌ها و همچنین کاهش هزینه‌های عملیاتی بندر از جمله جریمه پهلوگیری در مکان غیربهینه، جریمه تأخیر خروجی کشتی‌ها و جریمه انتظار هر کشتی							
مسئله تخصیص پهلوگاه و جرثقیل‌های اسکله	✓	داده‌های بندر شانگهای کشور چین	الگوریتم ممتیک ^۷ ، نرم‌افزار متلب	---	گسسته	عدد صحیح آمیخته خطی	[He, 2016]
مدل ریاضی دو هدفه، کمینه‌سازی کل تأخیر خروجی تمامی کشتی‌ها و همچنین کاهش کل انرژی مصرفی کشتی‌ها و جرثقیل‌ها							
مسئله یکپارچه تخصیص پهلوگاه و جرثقیل‌های اسکله	---	استفاده از داده‌های غیرقطعی	الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ابتکاری الحاقی	ایستا	پیوسته	عدد صحیح آمیخته خطی	[Shang, Cao, & Ren, 2016]
مدل ریاضی تک هدفه، کاهش زمان عملیات وزنی کل، زمان انتظار تمام کشتی‌ها در طول افق برنامه‌ریزی با توجه به ضرایب وزنی معین							

صادق شریفی، سید فرزاد حسینی، حسن زارعی

نوع فرمولاسیون	لحاظ فرض پنجره‌های زمانی، آبخور هر کشتی، اثر جزرومد	داده‌ها (مطالعه موردی)	روش حل و نرم‌افزار مورد استفاده	نوع زمان ورود کشتی‌ها	نوع چیدمان اسکله	نوع مسئله ریاضی	مقاله (نویسنده (گان) و سال انتشار)
مسئله تخصیص پهلوگاه چندبندر	---	داده‌های پژوهش کوردنو و همکاران (۲۰۰۵)	کدنویسی در نرم‌افزار سیپلکس	پویا	گسسته	عدد صحیح آمیخته خطی	[Venturini et al. 2017]
مدل ریاضی تک هدفه، کاهش کل هزینه زمانی عملیات هر پایانه و خطوط کشتیرانی، کاهش هزینه مصرف سوخت کشتی‌ها							
مسئله یکپارچه تخصیص پهلوگاه، تخصیص و زمان‌بندی جرثقیل‌های اسکله	---	داده‌های واقعی بندر شهید رجایی (بندرعباس)	کدنویسی در نرم‌افزار گمز، الگوریتم ترکیبی ژنتیک و رقابت استعماری	ایستا	گسسته	عدد صحیح آمیخته خطی	[Hoseini et al. 2018]
مدل ریاضی تک هدفه، کمینه‌سازی حداکثر زمان خروج کشتی‌ها							
مسئله یکپارچه تخصیص پهلوگاه، تخصیص و زمان‌بندی جرثقیل‌های اسکله	✓ عمق آب و اثر جزرومد		الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات توپولوژی تصادفی ^۱	---	پیوسته	عدد صحیح آمیخته خطی	[Malekahmadi et al. 2020]
مدل ریاضی تک هدفه، کاهش مجموع زمان انتظار پیش از پهلوگیری یک کشتی در پایانه و مدت زمان انجام عملیات روی آن کشتی							
مسئله یکپارچه بهینه‌سازی مسیر حرکت کشتی‌ها و تخصیص پهلوگاه‌های اسکله	---	استفاده از داده‌های وب سایت ایورلدشپ ^۲	ترکیب دو الگوریتم تکرار شونده دو مرحله‌ای و روش منطقی فازی مبتنی بر محدودیت اپسیلون، سی شارپ و سیپلکس	---	---	عدد صحیح آمیخته خطی	[Zhen et al. 2020]
مدل ریاضی دو هدفه، بهینه‌سازی سرعت کشتی‌ها، کمینه‌سازی کل هزینه سوخت و انتشار گاز دی‌اکسید گوگرد							

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی ایران

نوع فرمولاسیون	لحاظ فرض پنجره‌های زمانی، آبخور هر کشتی، اثر جزرومد	داده‌ها (مطالعه موردی)	روش حل و نرم‌افزار مورد استفاده	نوع زمان ورود کشتی‌ها	نوع چیدمان اسکله	نوع مسئله ریاضی	مقاله (نویسنده (گان) و سال انتشار)
مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله	---	داده‌های تولیدی (تصادفی)	الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه و روش تصمیم‌گیری مبتنی بر اولویت	زمان ورود کشتی‌ها احتمالی	---	مدل بهینه‌سازی مشارکتی	[Peng et al. 2021]
مدل ریاضی دو هدفه، به حداقل رساندن کل هزینه راه‌اندازی و استفاده از سیستم‌های برق ساحلی و به حداکثر رساندن منافع زیست‌محیطی از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای							
تعداد و شرح اهداف:							
مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله	✓	داده‌های واقعی پایانه کانتینری شهید رجایی (بندرعباس)	اپسلون محدودیت تکامل یافته در گمز، الگوریتم فراابتکاری مرتب‌سازی نامغلوب مبتنی بر ژنتیک در نرم‌افزار متلب	پویا+ایستا	ترکیبی	برنامه‌ریزی عدد صحیح مرتبه دوم مخروطی مخلوط ^{۱۰}	پژوهش حاضر
مدل ریاضی دو هدفه، کاهش هزینه‌های عملیاتی بندر شامل تأخیر خروج کشتی‌ها، زمان بیکاری و تعرفه‌های مصوب بندری، کاهش مصرف سوخت کشتی‌ها							
تعداد و شرح اهداف:							

[2016]. هوانگ، ساپرایوگی و آریانتینی در سال ۲۰۱۶، یک مدل تخصیص اسکله پیوسته با چندین پهلوگاه برای تعیین برنامه پهلوگیری چرخشی کشتی‌ها در طول افق برنامه‌ریزی، ارائه دادند. هدف از مدل ریاضی پیشنهادی در این پژوهش، کمینه‌سازی میزان انحراف از برنامه پهلوگیری موردنظر خطوط کشتیرانی بیان گردیده است. همچنین از دو روش اکتشافی برای افزایش بکارگیری منابع و بهره‌وری عملیاتی پایانه‌های کانتینری استفاده شده که نتایج محاسباتی حاکی از اثربخش و کارا بودن رویکردهای حل پیشنهادی بوده است [Huang, Suprayogi, & Ariantini, 2016].

بودی پریانتو و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بررسی چگونگی تأثیر داشتن همکاری بین پایانه‌های اسکله بر عملکرد نهایی بندر در هنگام مواجهه با عدم قطعیت پرداختند. با توجه به پیچیدگی مسئله، این پژوهش از شبیه‌سازی پیشامد گسسته به‌منظور مدل‌سازی سیستم استفاده کرده است. در این مقاله همچنین دو سناریوی اصلی تحت عناوین پاسخ غیرمشارکتی و پاسخ مشارکتی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. منظور از پاسخ مشارکتی، به اشتراک گذاشتن منابع از قبیل اسکله، جرثقیل‌های اسکله و محوطه کانتینری بین دو پایانه، می‌باشد. در پایان، عملکرد بندر بر اساس زمان انتظار کشتی، زمان بارگیری و تحویل کانتینر و زمان کل اتمام عملیات کشتی، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استراتژی همکاری می‌تواند زمان‌های اشاره شده را کاهش دهد [Budipriyanto et al. 2017].

دول‌بیتز، گلیاس و میشر در سال ۲۰۱۸، یک سیاست تخصیص اسکله تحت تقاضای زیاد را توسعه دادند که در آن تقاضا می‌تواند از یک پایانه کانتینری چندکاربره^{۱۱} به یک پایانه کانتینری خارجی با اعمال هزینه اضافی، منتقل شود. در ادامه به دلیل پیچیدگی فرمولاسیون ریاضی ارائه شده، از الگوریتم ممتیک برای حل مسئله استفاده شده است. در پایان نتایج نشان می‌دهد که سیاست

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

لی و وانگ در سال ۲۰۱۰، به مطالعه مسئله یکپارچه تخصیص اسکله گسسته و زمان‌بندی جرثقیل و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته پرداختند. نتایج محاسباتی حاکی از مؤثر و کارآمد بودن الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل پیشنهادی بوده است [Lee & Qiu Wang, 2010].

دو و همکاران در سال ۲۰۱۱، به ارائه یک مدل دقیق و استاندارد شده‌تر نسبت به مطالعات پیشین، روی مسئله تخصیص اسکله با در نظر گرفتن مصرف سوخت، پرداخته‌اند. آن‌ها همچنین با استفاده از ساده‌سازی به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مرتبه دوم مخروطی مخلوط دست یافته‌اند که در نتیجه با این رویه، بر پیچیدگی حل مدل غیرخطی اولیه غلبه نمودند. علاوه بر این، در این مطالعه، محاسبات مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول مسیر حرکت کشتی‌ها با فاکتورهای انتشار پرکاربرد و همچنین مقدار انتشار در طول زمان پهلوگیری کشتی‌ها نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در پایان نتایج تجربی نشان‌دهنده کارایی رویکرد مدل پیشنهادی به‌منظور کاهش مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و همزمان حفظ سطح خدمت‌دهی پایانه بوده است [Du et al. 2011].

شین، دو و شا در سال ۲۰۱۶، مسئله تخصیص اسکله را با در نظر گرفتن تغییرات زمانی جزرومد، به‌منظور حداقل نمودن کل زمان وزنی خدمت‌دهی به تمام کشتی‌ها، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها یک روش ترکیبی مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح و برنامه‌ریزی محدودیت برای حل مسئله بیان نمودند [Qin, Du, & Sha, 2016]. کلاسن و کافکا در سال ۲۰۱۶، یک مدل شبیه‌سازی برای مدیریت پایانه‌های کانتینری با توجه به قوانین اولویت‌دهی به کشتی‌ها، پیشنهاد دادند. این مدل، امکان کنترل جریان‌های مواد و اطلاعات در پایانه‌های کانتینری و تعاملات زیرسیستم‌های بنادر در شرایط احتمالی را فراهم می‌آورد [Clausen & Kaffka,

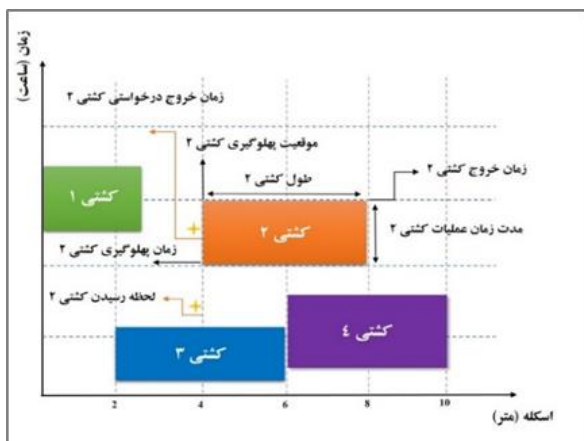
مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

کدام از پایانه‌های کانتینری بندر شهید رجایی دانست. همچنین در این تحقیق از کشتی‌های ناهمگن با زمان‌های ورود پویا که دارای ظرفیت باری یا تناژ متفاوتی هستند استفاده می‌شود.

۳. بیان مسئله

در واقع، در مسئله تخصیص پهلوگاه اسکله، برنامه‌ریزی نحوه و ترتیب استفاده از اسکله توسط کشتی‌هایی که ورود آن‌ها در یک بازه زمانی مشخص انتظار می‌رود، صورت می‌پذیرد. در بنادر مختلف، آپراتورهای هر پایانه با این مسئله مواجه هستند و بنابر تعریف فوق، آپراتور باید زمان و موقعیت پهلوگیری هر کشتی را تحت محدودیت‌های فیزیکی و زمانی حاکم، تعیین نماید. یک راه‌حل برای مسئله تخصیص پهلوگاه، استفاده از نمودار زمان-فضا^{۱۲} است که در آن محور افقی نمایانگر موقعیت‌های پهلوگیری و محور عمودی نشان‌دهنده زمان است. همچنین، هر کشتی با یک مستطیل نشان داده می‌شود که عرض و طول آن به ترتیب معرف زمان انجام عملیات تخلیه یا بارگیری و طول کشتی است. شکل (۳)، نمودار زمان-فضا برای یک طرح زمان‌بندی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار زمان-فضا برای یک مسئله فرضی

انواع مختلفی از مسئله تخصیص پهلوگاه را می‌توان در ادبیات یافت. با توجه به زمان ورود آن‌ها، مسئله BAP را می‌توان به‌عنوان

تخصیص اسکله پیشنهادی موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها در طول دوره‌های با تقاضای بیش از حد می‌شود [Dulebenets, Golias, & Mishra, 2018].

صالحی، السوفی و یانگ در سال ۲۰۱۹، پیشرفت‌های نظری و کاربردی بهینه‌سازی ترکیبی را ارائه نمودند. در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی یکپارچه که ترکیبی از سه مسئله متمایز شامل ۱. مسئله تخصیص اسکله، ۲. مسئله تخصیص جرثقیل و ۳. مسئله زمان‌بندی جرثقیل هست؛ مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته ارائه شده در این مقاله، کمینه‌نمودن تأخیر و نیز کاهش هزینه پهلوگیری کشتی‌ها در یک پایانه کانتینری با اسکله پیوسته معرفی شده است. در ادامه به‌منظور حل دقیق نمونه‌های نسبتاً کوچک مدل پیشنهادی از نرم افزار سیپلکس و برای نمونه‌های مقیاس بزرگتر از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [Salhi, Alsoufi, & Yang, 2019].

ابوکاظم، دیابات و چنگ در سال ۲۰۱۹، یک مدل ترکیبی از سه مسئله تخصیص پهلوگاه، تخصیص جرثقیل و زمان‌بندی جرثقیل با هدف به‌حداقل رساندن کل زمان اتمام عملیات کشتی‌های ورودی در پایانه کانتینری ابوظبی کشور امارات متحده عربی ارائه دادند. آن‌ها در مقاله خود، سیاست‌های مختلفی را از قبیل صدور مجوز در مقابل عدم صدور مجوز برای اولویت‌بندی کارها در مسئله زمان‌بندی جرثقیل و یا تخصیص جرثقیل ایستا در مقابل پویا در مسئله تخصیص جرثقیل‌های اسکله و ... را در نظر گرفته‌اند [Abou Kasm, Diabat, & Cheng, 2020].

با توجه به موارد فوق، نوآوری اصلی این مقاله را می‌توان ارائه مدلی بهینه جهت در نظر گرفتن همزمان کاهش آلودگی‌های ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای خروجی از کشتی‌ها در هنگام پهلوگیری و حرکت، ظرفیت محوطه انبارش هر پایانه برای پذیرش کانتینر جدید و تشکیل پنجره‌های زمانی برای تعیین بازه فعالیت هر

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

وارد بندر می‌شوند و باید به محض رسیدن در زودترین زمان ممکن پهلودهی شوند. به عبارتی زمان ورود کشتی‌ها پویا است.

۳. پهلوگاه‌ها بهره‌وری یکسانی ندارند و زمان‌های انجام عملیات حمل‌ونقل یک کشتی در تمامی پهلوگاه‌ها برابر نیست.

۴. هر کدام از پایانه‌های کانتینری موجود در بندر دارای عمق آب متفاوتی هستند.

۵. مقدار عمق آب‌خور هر کشتی، شامل عمق آب اضافی موردنیاز است که توسط آپراتور پایانه تعیین می‌شود.

۶. عمق آب در یک پهلوگاه در فاصله زمانی مشخص (از لحظه ورود برای پهلوگیری تا اتمام عملیات) ثابت است.

۷. تغییر پهلوگاه در زمان تخلیه و بارگیری مجاز نیست.

۸. هر کشتی در یک زمان خاص، فقط و فقط در یک پهلوگاه تحت عملیات تخلیه و بارگیری قرار می‌گیرد.

۹. بین کشتی‌های موجود در یک پهلوگاه، فاصله ایمنی مشخصی باید باشد که توسط آپراتور پایانه تعیین می‌شود.

۱۰. تمامی داده‌ها از جمله زمان ورود کشتی‌ها، زمان تخلیه و بارگیری هر کشتی و ... تحت شرایط قطعیت کامل هستند.

۱۱. در این مقاله اثرات سه نوع آلاینده مهم SO_x و NO_x ، CO_2 بر محوطه پایانه کانتینری مدنظر قرار می‌گیرد.

۳-۲ نمادها

اندیس‌ها:

مجموعه کل کشتی‌ها $V = \{1, 2, \dots, i\}$

مجموعه کل پایانه‌ها $Q = \{1, 2, \dots, k\}$

پارامترها:

L_k طول پایانه k

a_{ki}^0 زمان ورود تخمینی کشتی i به پایانه k

R_{ki} زمان خروج مقرر شده برای کشتی i واقع در پایانه k

پایانه k

ایستا، پویا، تصادفی و چرخه‌ای در نظر گرفت. در حالت ایستا، تمام کشتی‌ها قبل از شروع برنامه‌ریزی در بندر در حالت انتظار هستند و در نتیجه می‌توانند در هر زمانی پهلو بگیرند. در واقع، در این حالت هیچ زمان ورودی برای کشتی‌ها تعریف نمی‌شود و به‌عنوان محدودیت‌های نرم در مدل در نظر گرفته می‌شوند. در حالت پویا، کشتی‌ها در طول افق زمانی و با یک زمان ورود ثابت وارد بندرگاه می‌شوند. در این حالت کشتی‌ها اجازه پهلوگیری زودتر از زمان ورود از پیش اعلام‌شده را ندارند. زمان‌های ورود در حالت تصادفی از طریق سناریو و توزیع‌های تصادفی و در حالت چرخه‌ای از طریق تماس آپراتورهای هر کشتی با آپراتور پایانه‌ها تعیین می‌شوند.

علاوه بر حالت‌های فوق، مسئله تخصیص پهلوگاه بر حسب چیدمان اسکله پایانه کانتینری انواعی دارد. بدین معنی که بسته به ملاحظات اسکله، BAP می‌تواند به‌عنوان پیوسته، گسسته یا ترکیبی در نظر گرفته شود. در حالت پیوسته، اسکله دارای تقسیم‌بندی خاصی نیست (کشتی می‌تواند در هر مکانی از فضای اسکله پهلوگیری کند) ولی در حالت گسسته به بخش‌های مجزا تقسیم شده است (در هر موقعیت، پهلوگیری تنها یک کشتی امکان‌پذیر است). در حالت ترکیبی نیز اسکله به بخش‌هایی تقسیم شده است اما این قابلیت وجود دارد تا کشتی‌ها بر حسب طول آن‌ها، پهلوگاه‌ها را با یکدیگر به اشتراک بگذارند.

۳-۱ فرضیات

فرضیات کلی BAP در این پژوهش به‌صورت زیر است:

۱. پایانه‌های موجود در بندر دارای رویکرد پهلودهی ترکیبی هستند و هر پهلوگاه امکان پهلودهی به بیش از یک کشتی کانتینری را در صورت لزوم دارد.
۲. در ابتدای افق برنامه‌ریزی مسئله، هیچ کشتی‌ای در پهلوگاه‌ها مستقر نیست، یعنی کشتی‌ها در طول پنجره‌های زمانی تعیین شده

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

P_{ki}	زمان موردنیاز برای انجام عملیات تخلیه یا بارگیری کشتی i در پایانه k
l_i	طول کشتی i
L	طول کل اسکله پایانه کانتینری
D_k	عمق آب پایانه k
d_i''	عمق آبخور کشتی i
m_{ki}	مسافت یا فاصله کشتی i به سوی پایانه k
sp_i	سرعت حرکت کشتی i
CAP_i	ظرفیت یا مقدار محموله کشتی i
DEM_k	حداکثر ظرفیت انبارهای موجود در پایانه k (حداکثر محموله موردنیاز جهت تحویل/تخلیه در پایانه k)
DEN_k	حداقل ظرفیت انبارهای موجود در پایانه k (حداقل محموله موردنیاز جهت تحویل/تخلیه در پایانه k)
UT_k	کران بالای پنجره‌ی زمانی پایانه k
LT_k	کران پایین پنجره‌ی زمانی پایانه k
fc_{ki}	تعرفه‌های پایانه k برای کشتی i
w_i	بیانگر هزینه‌های انتظار واحد کشتی i
IC_{ki}	هزینه زمان بیکاری کشتی i در پایانه k
M	یک عدد اختیاری بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم‌گیری:

f_{ki}	موقعیت پهلوگیری کشتی i در پایانه k
s_{ki}	زمان پهلوگیری کشتی i در پایانه k
a_{ki}	زمان دقیق ورود کشتی i به پایانه k
r_{ki}	زمان خروج کشتی i از پایانه k

۳-۳ ارتباط بین مصرف سوخت و سرعت حرکت

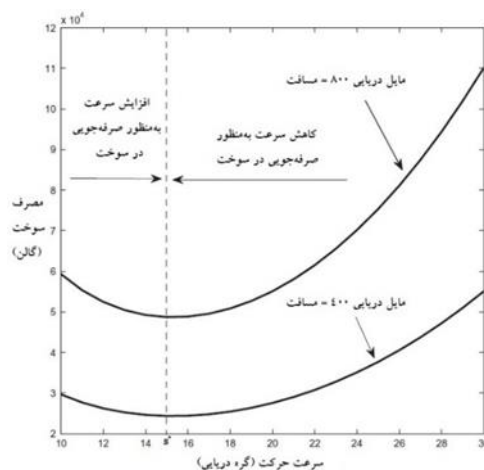
مصرف سوخت کشتی‌ها در وحله اول به طراحی و نوع کشتی بستگی دارد و در مرحله بعدی به سرعت حرکت کشتی ارتباط بسیار زیادی دارد و از آنجا که تحقیقات مختلف نشان داده است که نرخ مصرف سوخت با توان سوم سرعت رابطه دارد، در نتیجه با افزایش سرعت، مصرف سوخت کشتی به‌طور غیرخطی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، خطوط کشتیرانی سعی در کمینه‌سازی مصرف سوخت از طریق بهینه‌سازی (کم یا زیاد کردن) سرعت حرکت کشتی‌های در طول سفر خود هستند. به‌منظور آشکارسازی این قضیه به شکل (۴) دقت شود. محور افقی این نمودار، سرعت حرکت برحسب گره دریایی و محور عمودی این نمودار، میزان مصرف سوخت برحسب گالن را نمایش می‌دهد. مطابق شکل (۴)، سرعت حرکت بهینه تقریباً برابر ۱۵ گره دریایی است. نتایج مطالعات پیشین و تجربیات گردانندگان کشتی‌ها نشان داده است که میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت با کم کردن سرعت چشم‌گیرتر از زمانی است که با افزایش سرعت سعی در صرفه‌جویی سوختی داشته‌اند.

بر اساس این رابطه مشخص می‌شود که هر کشتی می‌تواند به منظور ذخیره و صرفه‌جویی در سوخت مصرفی خود، با سرعت کمتری حرکت کند. در واقع این امر می‌تواند هنگامی رخ دهد که سرعت فعلی کشتی بیشتر از مقدار بهینه آن S^* باشد. هم‌چنین، با توجه به رابطه S^* می‌توان فهمید که مقدار سرعت بهینه مستقل از مسافت مورد پیمایش کشتی بوده و حساسیت چندانی هم نسبت به سایر پارامترها در ریشه μ ندارد. دو و همکاران (۲۰۱۱)، با بکارگیری داده‌های واقعی بندر تیانجین^{۱۳} در کشور چین توانستند مقادیر ضرایب رگرسیونی c^0 و c^1 را برای یک کشتی کانتینری متوسط با ظرفیت ۵۷۰۰ واحد کانتینر، به ترتیب از راست به چپ ۶۹۹ و ۰،۰۰۴۲۳۸ محاسبه نمایند. شایان ذکر است که برنامه‌ریزان پایانه بر اساس زمان‌های ورود موردانتظار کشتی‌ها، موقعیت و زمان پهلوگیری آن‌ها را مشخص می‌کنند. به عبارتی، آپراتور پایانه یا زمان ورود هر کشتی را به‌عنوان یک ثابت شناخته‌شده در نظر می‌گیرد و یا در مورد آن تصمیم‌گیری خواهد کرد. به‌طور کلی دو رویکرد در این زمینه بیان شده است [Du et al. 2011]:

۱. زمان ورود ثابت^{۱۴} (CAT): آپراتور پایانه زمان ورود کشتی را یک متغیر ثابت فرض می‌کند.
۲. زمان ورود متغیر^{۱۵} (VAT): آپراتور پایانه زمان ورود کشتی را یک متغیر تصمیم‌گیری در نظر می‌گیرد.

حال نکته‌ای که حائز اهمیت است این است که در رویکرد دوم برای i امین کشتی در پایانه k آپراتور پایانه و خط کشتیرانی می‌توانند زمان دقیق ورود (a_{ki}) آن را در طول بازه $[a_{ki}, \bar{a}_{ki}]$ با تنظیم سرعت حرکت کشتی کنترل کند. در اینجا، \underline{a}_{ki} (کمترین زمان ورود) و \bar{a}_{ki} (بیشترین زمان ورود) به ترتیب بر اساس بیشترین و کمترین سرعت کشتی تعیین می‌شود. علاوه بر این، از آنجائی‌که رویکرد دوم منجر به سهولت حل بهینه‌سازی مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد، در این مقاله از این

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱



شکل ۴. نمودار سرعت-مصرف سوخت برای یک کشتی فرضی [Du et al. 2011]

به‌طور کلی، میزان مصرف سوخت در واحد زمان برای هر کشتی (F_F) مستقیماً از طریق سرعت کشتی (S) بدست می‌آید و سرعت اولیه همبستگی مثبتی با سرعت ثانویه دارد. دو و همکاران (۲۰۱۱)، تابع (۱) را برای محاسبه میزان مصرف سوخت یک کشتی معرفی نمودند [Du et al. 2011]:

$$F = (c^0 + c^1 \cdot s^\mu) \cdot \frac{m}{s} = \frac{c^0 \cdot m}{s} + c^1 \cdot m \cdot s^{\mu-1} \quad (1)$$

بطوریکه در رابطه (۱)، c^0 و c^1 ضرایب ثابت رگرسیونی مثبت و غیرصفر، m مسافت مورد پیمایش و μ نیز توان سرعت است که بسته به نوع کشتی می‌تواند یک عدد عضو مجموعه $\{3.5, 4, 4.5\}$ می‌باشد. هنگامی $\mu = 3.5$ است که کشتی‌های فیدر مد نظر باشد، $\mu = 4$ هنگامی که کشتی‌های با اندازه متوسط مد نظر باشد و در نهایت هنگامی $\mu = 4.5$ است که کشتی‌های بسیار بزرگ مورد بررسی قرار می‌گیرد. با مشتق گرفتن از رابطه (۱) نسبت به S و اثبات محذب بودن این رابطه، مقدار سرعت بهینه به‌صورت زیر (رابطه (۲)) بدست می‌آید:

$$S^* = \left(\frac{c^0}{c^1(\mu-1)} \right)^{\frac{1}{\mu}} \quad (2)$$

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

گام پنجم: حال با توجه به $a_{ki}, Q_{ki} \succ 0$ ، رابطه (۵) را می‌توان به‌طور معادل تبدیل به گروهی از محدودیت‌های مسئله برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم^{۱۶} کرد. مسائل برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم یا اصطلاحاً SOCP از جمله مسائل بهینه‌سازی محدب هستند. در ابتدا فرض می‌کنیم که $\mu_i = 4.5$ است، داریم:

$$1 \leq Q_{ki} \times a_{ki}^{7/2} \quad \forall i \in V_J, k \in Q \quad (6)$$

گام ششم: V_J را مجموعه کشتی‌های با اندازه بزرگ در نظر می‌گیریم و با به توان ۲ رساندن طرفین رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$1 \leq Q_{ki}^2 \times a_{ki}^7 \quad \forall i \in V_J, k \in Q \quad (7)$$

گام هفتم: در این مرحله رابطه (۷) را به‌صورت مجموعه‌ای از نابرابری‌های هذلولوی^{۱۷} بازنویسی می‌کنیم:

$$\begin{aligned} & \text{if } \rightarrow \exists a_{ki}, Q_{ki} \succ 0, \\ & u_{ki1}, u_{ki2}, u_{ki3}, u_{ki4} \geq 0, \\ & i \in V_J \rightarrow \text{Then: } u_{ki1}^2 \leq a_{ki}, \\ & u_{ki2}^2 \leq u_{ki1} \cdot Q_{ki}, \quad u_{ki3}^2 \leq u_{ki2} \cdot a_{ki}, \\ & u_{ki4}^2 \leq u_{ki3}, \quad 1 \leq u_{ki3} \cdot u_{ki4} \end{aligned}$$

در نتیجه معادله مطرح‌شده در گام ششم به ازای تمامی کشتی‌های عضو V_J و $\mu_i = 4.5$ همواره برقرار خواهد بود.

گام هشتم: یک نامساوی هذلولوی به شکل $v_1^2 \leq v_2 \cdot v_3$; $v_1, v_2, v_3 \geq 0$ را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\|(2v_1, v_2 - v_3)\|_2 \leq v_2 + v_3; \quad v_1, v_2, v_3 \geq 0 \quad (8)$$

که در رابطه فوق، $\|\bullet\|_2$ نمایانگر نرم اقلیدسی^{۱۸} است. نرم اقلیدسی به‌صورت $\|(x, y)\|_2 = \sqrt{x^2 + y^2}$ بیان می‌شود.

گام نهم: هر کدام از روابط ارائه‌شده در گام هفتم را به‌صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

رویکرد بهره برده‌ایم. از جمله منافی که یک آپراتور پایانه با در نظر گرفتن a_{ki} (زمان رسیدن کشتی i به پایانه k) به‌عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری، ممکن است بدست آورد به‌طور خلاصه شامل دو مورد زیر است:

۱. اولین منفعت: زمان تأخیر خروج ممکن است در مقایسه با مسئله BAP اولیه کاهش یابد.

۲. دومین منفعت: وقتی اسکله مشغول است، آپراتور پایانه ممکن است زمان انتظار کشتی‌ها را با پیشنهاد کم کردن سرعت کشتی‌هایی که هنوز به پایانه نرسیده‌اند، کاهش دهد.

حال با فرض اینکه زمان برنامه‌ریزی اسکله از صفر شروع شود، مصرف سوخت کشتی i در حرکت به‌سوی پایانه k به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$F_{ki} = c_i^0 \times a_{ki} + c_i^1 \times m_{ki}^{\mu_i} \times a_{ki}^{1-\mu_i} \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۳) بند $a_{ki}^{1-\mu_i}$ منجر به غیرخطی شدن مدل می‌شود، لذا به‌منظور خطی‌سازی تقریبی این بخش، مطابق روش پیشنهادی در پژوهش دو و همکاران (۲۰۱۱) عمل می‌کنیم [Du et al. 2011]:

گام اول: شناسایی عنصر غیرخطی‌ساز؛ عبارت $a_{ki}^{1-\mu_i}$ منجر به غیرخطی شدن F_{ki} شده است.

گام دوم: جایگزینی عبارت $a_{ki}^{1-\mu_i}$ با متغیر کمکی Q_{ki} .

گام سوم: F_{ki} را به‌صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$F_{ki} = c_i^0 \times a_{ki} + c_i^1 \times m_{ki}^{\mu_i} \times Q_{ki} \quad (4)$$

$$\text{s.t. } a_{ki}^{1-\mu_i} \leq Q_{ki} \quad \forall i \in V, k \in Q$$

گام چهارم: از آنجایی که $a_{ki} \succ 0$ است، پس با تقسیم طرفین رابطه بالا بر عبارت مثبت $a_{ki}^{1-\mu_i}$ داریم:

$$1 \leq Q_{ki} \times a_{ki}^{\mu_i-1} \quad \forall i \in V, k \in Q \quad (5)$$

طرح پهلوگاه توسط زمان بندی حمل و نقل تعیین می شوند، و از طرف دیگر، ترافیک بنادر در حال حاضر اصلی ترین دلیل عدم اطمینان زمان بندی حمل و نقل است. این ارتباط تنگاتنگ میان زمان بندی پهلوگاه اسکله و زمان بندی سفر کشتی ها نیازمند همکاری مؤثر پایانه و خطوط کشتیرانی است. به عنوان نمونه، پایانه بهتر است به جای برنامه ریزی جداگانه عملیات خود، بازده عملیاتی مشتریان خود و خطوط کشتیرانی را در تصمیم گیری ها مدنظر قرار دهد، و یا خطوط کشتیرانی به منظور تعیین زمان ورود کشتی ها به پایانه، سرعت حرکت کشتی ها را کنترل و به اطلاع اپراتورهای پایانه ها برسانند.

با توجه به آنچه در این بخش ذکر شد، مدل نهایی این پژوهش که در واقع یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مرتبه دوم مخروطی مخلوط یا اصطلاحاً MISOCP است و مراحل خطی سازی آن (رابطه ریاضی میان سوخت و سرعت) به طور مفصل در بخش (۳-۳) ذکر شد، به صورت روابط (۲۲) تا (۴۰) ارائه می شود.

تابع هدف (۲۲) هزینه های عملیاتی بندر را کمینه می کند و از سه جزء تشکیل شده است. عبارت اول، تأخیر خروج کل کشتی ها، عبارت دوم، هزینه زمان بیکاری و عبارت سوم، تعرفه های خدمات بندری و دریایی را کمینه سازی می کند. تابع هدف (۲۳) میزان مصرف سوخت کشتی ها را از طریق بهینه سازی سرعت حرکت آن ها کمینه سازی می نماید. مجموعه محدودیت های (۲۴) تا (۲۷) تضمین می کنند که هیچگونه تداخلی در منحنی فضا-زمان برنامه ریزی پهلوگاه وجود نداشته باشد. محدودیت (۲۸) تضمین می کند که هر کشتی فقط در یک پایانه پهلو داده شود. مجموعه محدودیت های (۲۹) و (۳۰) مربوط به زمان ورود کشتی ها در پایانه هستند و تضمین می کنند که هیچ کشتی قبل از ورود به بندر، پهلو داده نمی شود. در واقع ابتدا کشتی باید وارد بندر شود و سپس پهلو بگیرد. مجموعه محدودیت های (۳۱) و (۳۲) مربوط به محاسبه

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

$$u_{ki1}^2 \leq a_{ki} \cdot 1 \Rightarrow \|(2u_{ki1}, a_{ki} - 1)\|_2 \leq a_{ki} + 1 \quad (9)$$

$$u_{ki2}^2 \leq u_{ki1} \cdot Q_{ki} \Rightarrow \|(2u_{ki2}, u_{ki1} - Q_{ki})\|_2 \leq u_{ki1} + Q_{ki} \quad (10)$$

$$u_{ki3}^2 \leq u_{ki2} \cdot a_{ki} \Rightarrow \|(2u_{ki3}, u_{ki2} - a_{ki})\|_2 \leq u_{ki2} + a_{ki} \quad (11)$$

$$u_{ki4}^2 \leq u_{ki1} \cdot 1 \Rightarrow \|(2u_{ki4}, u_{ki1} - 1)\|_2 \leq u_{ki1} + 1 \quad (12)$$

$$1 \leq u_{ki3} \cdot u_{ki4} \Rightarrow \|(2, u_{ki3} - u_{ki4})\|_2 \leq u_{ki3} + u_{ki4} \quad (13)$$

$$a_{ki}, Q_{ki} \succ 0, u_{ki1}, u_{ki2}, u_{ki3}, u_{ki4} \geq 0, \\ i \in V_J \text{ or } \mu_i = 4.5 \quad (14)$$

گام دهم و نهایی: V_F و V_M را به ترتیب مجموعه کشتی های با اندازه متوسط و کوچک در نظر می گیریم و در ادامه گام های فوق را به طور مشابه در زمانی که $\mu_i = 4$ و $\mu_i = 3.5$ است، تکرار می کنیم:

$$u_{ki1}^2 \leq a_{ki} \cdot Q_{ki} \Rightarrow \|(2u_{ki1}, a_{ki} - Q_{ki})\|_2 \leq a_{ki} - Q_{ki} \quad (15)$$

$$1 \leq a_{ki} \cdot u_{ki1} \Rightarrow \|(2, a_{ki} - u_{ki1})\|_2 \leq a_{ki} + u_{ki1} \quad (16)$$

$$a_{ki}, Q_{ki} \succ 0, u_{ki1} \geq 0, i \in V_M \text{ or } \mu_i = 4 \quad (17)$$

$$u_{ki1}^2 \leq a_{ki} \cdot 1 \Rightarrow \|(2u_{ki1}, a_{ki} - 1)\|_2 \leq a_{ki} + 1 \quad (18)$$

$$u_{ki2}^2 \leq u_{ki1} \cdot Q_{ki} \Rightarrow \\ \|(2u_{ki2}, u_{ki1} - Q_{ki})\|_2 \leq u_{ki1} + Q_{ki} \quad (19)$$

$$1 \leq a_{ki} \cdot u_{ki2} \Rightarrow \|(2, a_{ki} - u_{ki2})\|_2 \leq a_{ki} + u_{ki2} \quad (20)$$

$$a_{ki}, Q_{ki} \succ 0, u_{ki1}, u_{ki2} \geq 0, \\ i \in V_F \text{ or } \mu_i = 3.5 \quad (21)$$

۳-۴ مدل ریاضی

همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، بنادر به دنبال افزایش سطح خدمت دهی به مشتریان از طریق کمینه نمودن زمان انتظار کشتی ها هستند. با این حال، برنامه ریزی عملیاتی پایانه ها و زمان بندی های حمل و نقل خطوط کشتیرانی در ارتباط نزدیکی با یکدیگر هستند. از یک طرف، زمان های ورود کشتی ها به عنوان پارامترهای کلیدی

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

حداکثر محموله موردنیاز پهلوگاه‌ها می‌باشد. به عبارتی، کشتی i در صورتی در پایانه k پهلو می‌گیرد که پایانه موردنظر فضای کافی برای پذیرش مقدار محموله کشتی را در محوطه انبار خود داشته باشد. مجموعه محدودیت‌های (۳۷) و (۳۸) بیانگر پنجره‌های زمانی پهلوگیری کشتی‌ها در پایانه‌ها هستند. به طوری که، به ترتیب نشان‌دهنده کران بالا و کران پایین این پنجره‌ها هستند. در آخر، محدودیت‌های (۳۹) و (۴۰) نوع و محدوده مجاز متغیرهای مسئله را نشان می‌دهند.

زمان اتمام عملیات هر کشتی هستند و بیان می‌کنند که کشتی‌ها اجازه پهلوگیری زودتر از زمان خروج کشتی‌های قبلی در یک پایانه را ندارند و می‌بایست بعد از خروج کشتی‌های قبلی مورد پهلو دهی واقع شوند. محدودیت‌های (۳۳) و (۳۴) تضمین می‌کنند که طول یک کشتی کاملاً در یک پایانه واقع شود، به عبارت دیگر اگر پاشنه ی کشتی i در پایانه k واقع شد حتماً می‌بایست سر کشتی i نیز در پایانه k واقع شود. محدودیت (۳۵) بیان می‌کند که عمق آب‌خور هیچ کشتی بیشتر از عمق پایانه‌ای که در آن پهلو داده می‌شود نباشد. محدودیت (۳۶) بیانگر ظرفیت بار کشتی‌ها و همچنین حداقل و

$$\text{Min } f_1 \sum_{k \in Q} \sum_{i \in V} w_i \times (s_{ki} + p_{ki} - R_{ki}) + \sum_{k \in Q} \sum_{i \in V} IC_{ki} \times (s_{ki} - a_{ki}) + \sum_{k \in Q} \sum_{i \in V} fc_{ki} \times x_{ki} \quad (22)$$

$$\text{Min } f_2 \sum_{k \in Q} \sum_{i \in V} c_i^0 \times a_{ki} + c_i^1 \times m_{ki}^{\mu_i} \times Q_{ki} \quad (23)$$

$$\text{SOCP Dependent constranits: } \begin{cases} \mu_i = 4.5 & 9-14 \\ \mu_i = 4 & 15-17 \\ \mu_i = 3.5 & 18-21 \end{cases}$$

BAP – TIME Dependent constranits:

$$s_{ki} + p_{ki} \leq s_{kj} + M(1 - II_{kij}) \quad \forall i, j \in V \ \& \ i \neq j \ \& \ k \in Q \quad (24)$$

$$f_{ki} + l_i \leq f_{kj} + M(1 - III_{kij}) \quad \forall i, j \in V \ \& \ i \neq j \ \& \ k \in Q \quad (25)$$

$$II_{kij} + II_{kji} + III_{kij} + III_{kji} \geq 2 \times (x_{ki} + x_{kj} - 1) \quad \forall i, j \in V \ \& \ i < j \ \& \ k \in Q \quad (26)$$

$$II_{kij} + II_{kji} + III_{kij} + III_{kji} \leq x_{ki} + x_{kj} \quad \forall i, j \in V \ \& \ i < j \ \& \ k \in Q \quad (27)$$

$$\sum_{k \in Q} x_{ki} = 1 \quad \forall i \in V \quad (28)$$

$$\underline{a}_{ki} \leq a_{ki} \leq \bar{a}_{ki} \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (29)$$

$$s_{ki} \geq a_{ki} \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (30)$$

$$s_{ki} + p_{ki} \leq r_{ki} \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (31)$$

$$r_{ki} \leq s_{kj} + M(1 - II_{kij}) \quad \forall i, j \in V \ \& \ i \neq j \ \& \ k \in Q \quad (32)$$

$$f_{ki} \geq x_{ki} \times L_{k-1} \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \ \& \ k > 1 \quad (33)$$

$$f_{ki} + l_i \leq \sum_{k \in Q} x_{ki} \times L_k \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (34)$$

$$(d_i^n - D_k) \times x_{ki} \leq 0 \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (35)$$

$$DEN_k \leq \sum_{i \in V} CAP_i \times x_{ki} \leq DEM_k \quad \forall k \in Q \quad (36)$$

$$s_{ki} - M(1 - x_{ki}) \leq UT_k \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (37)$$

$$s_{ki} + M(1 - x_{ki}) \geq LT_k \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (38)$$

$$II_{kij}, III_{kij}, x_{ki} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \ \& \ i \neq j \ \& \ k \in Q \quad (39)$$

$$s_{ki}, f_{ki}, r_{ki}, a_{ki} \geq 0 \quad \forall i \in V \ \& \ k \in Q \quad (40)$$

محدودیت‌های اولیه مسئله به‌علاوه محدودیت‌های مربوط به اهداف دیگر بجز هدف انتخاب‌شده است.

فرم کلی یک مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه^{۲۲} یا اصطلاحاً MODM به صورت زیر است:

$$Min(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \quad (41)$$

$$s.t. \ x \in X$$

که در آن، x بردار متغیرهای تصمیم، $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ توابع هدف و X فضای شدنی است. حال فرض کنید هدف اول به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده و سایر اهداف به کران بالای اپسیلون (در مسائل بیشینه‌سازی به کران پایین اپسیلون) محدود شوند. در این صورت، روش اپسیلون-محدودیت بکار گرفته و مدل تک‌هدفه زیر حاصل می‌شود:

$$Min f_1(x) \quad s.t. \ x \in X \quad (42)$$

$$f_i(x) \leq e_i, \quad \forall i = 2, 3, \dots, n$$

که در آن هدف اول به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و اهداف دوم تا n ام به مقدار حداکثر e_i محدود می‌شوند. لازم به توضیح است اگر یکی از اهداف (مثلاً $f_k(x)$) به صورت بیشینه‌سازی بود، آنگاه با تعریف $f'_i(x) = -f_i(x)$ و جای‌گذاری آن به عنوان هدف k ام باز هم می‌توان از فرم کلی فوق استفاده کرد.

۴. رویکردهای حل مدل پیشنهادی

به‌طور کلی، در برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه^{۲۳}، بیش از یک تابع هدف وجود دارد و در واقع هیچ راه‌حل یگانه‌ای وجود ندارد که بتواند همزمان همه توابع هدف را بهینه کند. در این موارد، تصمیم‌گیرندگان به دنبال ارجح‌ترین راه‌حل هستند. در این پژوهش، به‌منظور دستیابی به بهترین جواب‌های ممکن، از روش حل دقیق محدودیت اپسیلون تکامل‌یافته استفاده می‌شود. علاوه بر این، از آنجایی که مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به‌طور عام پیچیده و یا NP-hard است و روش‌های دقیق برای حل این مسئله در ابعاد بزرگ ضعف دارند، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب چندهدفه^{۲۴} یا اصطلاحاً NSGA-II، نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه جزئیات بیشتری از این رویکردها و نحوه بکارگیری آن‌ها برای حل مدل پیشنهادی پژوهش ارائه خواهد شد.

۴-۱ روش محدودیت اپسیلون تکامل‌یافته

در روش اپسیلون-محدودیت^{۲۱} یا EC، اطلاعات اولیه در مورد ترجیحات از تصمیم‌گیرنده گرفته می‌شود و به‌طور خلاصه یک هدف بهینه می‌شود و سایر اهداف وارد فضای محدودیت می‌شوند. به‌عبارتی، فضای محدودیت‌های جدید شامل فضای

ضعیف گفته می‌شود. به عبارت دیگر، این روش تضمینی برای محاسبه جواب کارای قوی نمی‌دهد.

۳. برای مسائل با بیش از دو تابع هدف، فضای تحلیل حساسیت مسئله می‌تواند بسیار بزرگ باشد و به دنبال آن حل مسئله دشوارتر و زمان‌بر تر شود.

با وجود این عیوب در روش اپسیلون-محدودیت، امروز از این روش کمتر برای حل مسائل چندهدفه استفاده می‌شود. برای رفع این عیوب از روش لکسیکوگراف (در روش لکسیکوگراف، توابع هدف اولویت‌بندی می‌شوند و یکی از توابع هدف که اولویت بیشتری دارد را انتخاب و مسئله را در آن فضا حل می‌کنیم. در صورتی که به تعدادی از جواب‌های مشابه رسیدیم، به دنبال توابع هدف دیگر رفته و مسئله را مجدد حل می‌کنیم) در EC استفاده می‌کنیم و نام این روش را بهینه‌سازی لکسیکوگراف در روش EC یا روش اپسیلون-محدودیت تکامل‌یافته^{۳۳} یا اصطلاحاً AEC می‌نامیم. تنها فرق روش AEC با روش EC در گام اول است [Coello, Lamont, & Van Veldhuizen, 2007]. حال با توجه به مطالب بیان‌شده، مسئله (۴۲) به شکل مسئله (۴۳) تغییر داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1(x) - \sum_{i=2}^n \phi_i s_i \\ \text{s.t. } x \in X, s_i \geq 0 \\ f_i(x) + s_i = e_i, \quad \forall i = 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (43)$$

که در آن s_i ها متغیرهای نامنفی برای کمبود، و ϕ_i یک پارامتر برای نرمال‌سازی مقدار تابع هدف اول نسبت به هدف i است ($\phi_i = \frac{R(f_1)}{R(f_i)}$). در پایان جواب‌های پارتویی یافته‌شده گزارش می‌شود. اطلاعات بیشتر پیرامون معرفی و پیاده‌سازی روش محدودیت اپسیلون تکامل‌یافته در پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط ماوروتاس (۲۰۰۹)، قاضی جهانی و همکاران (۲۰۲۰) و

با تغییر در مقادیر سمت راست محدودیت‌های مربوط به توابع هدف (e_i) ، جواب‌های کارای مسئله محاسبه می‌شوند. به منظور استفاده از این روش ابتدا باید دامنه هر تابع هدف یا حداقل دامنه $n - 1$ تابع هدف که به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده‌اند، محاسبه گردد. عمومی‌ترین روش محاسبه این دامنه‌ها استفاده از جدول بازده است. برای محاسبه جدول بازده، هر تابع هدف $f_i(x)$ را به صورت جداگانه در فضای اصلی مسئله حل نموده و جواب بهینه آن را به دست می‌آوریم. فرض می‌کنیم این جواب بهینه x^i باشد. سپس با استفاده از بردار جواب x^i مقادیر سایر توابع هدف را محاسبه می‌کنیم که برابر $f_1(x^i), f_2(x^i), \dots, f_{i-1}(x^i), f_{i+1}(x^i), \dots, f_n(x^i)$ خواهد شد. دامنه هر تابع هدف با تعیین بیشینه و کمینه هر ستون مربوطه در جدول بازده به دست می‌آید.

در ادامه، دامنه توابع هدف $f_2(x), \dots, f_n(x)$ را به ترتیب به q_2, \dots, q_n فاصله‌ی مساوی تقسیم می‌کنیم که این فاصله‌ها شامل $(q_2 - 1), \dots, (q_n - 1)$ نقطه شبکه‌ای میانی با فاصله یکسان می‌شوند. با در نظر گرفتن نقاط بیشینه و کمینه اهداف، تعداد نقاط شبکه‌ای برای هر تابع هدف برابر $i = 2, \dots, n: q_i + 1$ نقطه خواهد بود. بنابراین، برای به دست آوردن مجموعه جواب‌های کارا باید $\prod_{i=2}^n q_i + 1$ زیرمسئله‌ی بهینه‌سازی را حل نماییم که با حل هر زیرمسئله یک جواب کارا برای مسئله اصلی محاسبه می‌شود. ممکن است برخی از این زیرمسئله‌های ایجاد شده دارای فضای نشدنی باشند که در این صورت از فرآیند حل کنار گذاشته می‌شوند.

شایان ذکر است که روش EC دارای سه ضعف اصلی است:

۱. ممکن است دامنه توابع هدف که از طریق جدول بازده محاسبه می‌شوند روی مجموعه جواب‌های کارا قرار نگیرد.

۲. ممکن است جواب‌های حاصل از حل برخی زیرمسئله‌ها توسط سایر جواب‌ها مغلوب شوند که به آن‌ها جواب کارای

نیکاس و همکاران (۲۰۲۰) آورده شده است [Mavrotas, 2009; Gazijahani et al. 2020; Nikas et al. 2020]

۴-۲ الگوریتم NSGA-II

الگوریتم NSGA-II (یکی از حالت‌های چندهدفه الگوریتم ژنتیک) نسخه جدید و بهبود یافته‌ای از الگوریتم NSGA برای حل مسائل چندهدفه است که نخستین بار توسط دب و همکاران در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ ارائه شد. همچنین به‌طور خلاصه، الگوریتم NSGA اصلاح دیگری بر روش رتبه‌دهی است که نخستین بار توسط گلدبرگ پیشنهاد شده است. این الگوریتم مبتنی بر چندین لایه طبقه‌بندی از افراد است. قبل از انجام عملیات انتخاب، جمعیت بر اساس غلبه‌ناپذیری رتبه‌بندی و کلیه افراد سلطه‌ناپذیر در یک گروه متناسب با ارزش فرضی آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. در مرحله بعدی به‌منظور حفظ تنوع جمعیت، این افراد طبقه‌بندی شده در گروه‌های دیگری به اشتراک گذاشته خواهند شد و این روند تا زمان طبقه‌بندی همه افراد ادامه می‌یابد. این الگوریتم به‌عنوان پایه و اساس سایر الگوریتم‌های طراحی مسائل چندهدفه مطرح می‌شود.

گام‌های اصلی اجرای الگوریتم NSGA-II، برای حل مسئله پژوهش حاضر عبارت‌اند از: ۱. ایجاد جمعیت اولیه بر مبنای مقیاس و قیود مسئله، ۲. محاسبه معیارهای برازندگی و ارزیابی جمعیت تولید شده با توجه به توابع هدف مسئله موردنظر، ۳. مرتب‌سازی نامغلوب جمعیت و محاسبه فاصله‌ی ازدحامی^{۲۴}، ۴. انتخاب جمعیت والدین برای تولید مثل، ۵. انجام عملگر تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید، ۶. تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت بدست آمده از تقاطع و جهش، ۷. جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل، ۸. تمامی مراحل تا نسل و یا شرایط بهینگی موردنظر تکرار می‌شود.

۴-۲-۱ شیوه نمایش جواب‌ها

در این بخش شیوه نمایش جواب‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ایجاد جمعیت اولیه در الگوریتم NSGA-II، ابتدا باید چندین کروموزوم یا به‌عبارت دیگر چندین ترکیب مختلف از مشخصه‌ها به‌صورت تصادفی بکار گرفته شوند. بدین منظور، ابتدا به‌طور تصادفی، کروموزوم‌هایی به طول تعداد کشتی‌ها ایجاد می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر تعداد کشتی‌ها ۶ باشد، طول کروموزوم برابر با ۶ است. مقدار هر ژن از کروموزوم به‌صورت تصادفی از طریق تولید اعداد تصادفی به تعداد پهلوگاه‌ها تولید می‌شود. برای مثال، اگر تعداد پهلوگاه‌ها برابر با ۳ باشد، اعداد تصادفی تولیدشده بین مجموعه ۱ تا ۳ خواهد بود، یعنی مقادیر داخل این ژن‌ها بیانگر پهلوگاه تخصیص‌یافته به این کشتی‌هاست. بنابراین، برای هر پهلوگاه، مجموعه‌ای از کشتی‌ها برای سرویس‌دهی وجود دارد.

۲	۳	۱	۳	۱	۲
---	---	---	---	---	---

کشتی ۶ کشتی ۵ کشتی ۴ کشتی ۳ کشتی ۲ کشتی ۱

شکل ۵. نمونه‌ای از یک کروموزوم با تعداد ۶ ژن

پس از تولید جواب‌های اولیه (به تعداد اندازه جمعیت) و بررسی شدنی‌بودن جواب‌ها، اعداد برازش برای هر کدام از کروموزوم‌ها با توجه به توابع هدف، مشخص می‌شود. بنابراین، برای هر کروموزوم، به میزان تعداد توابع هدف، اعداد برازندگی به‌دست می‌آید. از میان جواب‌های هر نسل برای انجام عمل تقاطع، به تعداد n_c از جمعیت با استفاده از روش انتخاب تورنومنت دودویی (دو بار)، دو کروموزوم انتخاب می‌شود. در روش انتخاب دودویی، دو جواب به تصادف از میان جمعیت انتخاب و سپس میان این دو جواب، مقایسه انجام می‌گیرد. در نهایت هر کدام که بهتر باشد، به‌عنوان یکی از والدها انتخاب می‌شود. معیارهای انتخاب در الگوریتم NSGA-II در درجه اول، رتبه جواب و در درجه دوم فاصله تراکمی مربوط به جواب است. هر قدر رتبه جواب کمتر و دارای فاصله تراکمی بیشتری باشد، مطلوب‌تر است. برای انجام

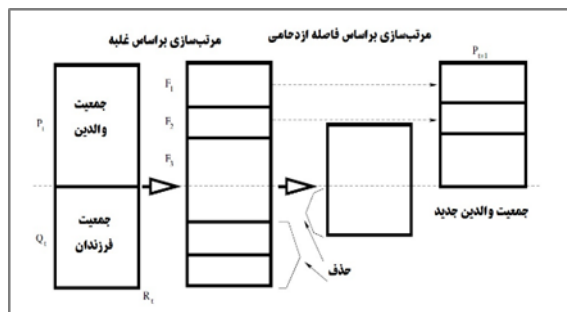
مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

کروموزوم اولیه	۲	۳	۱	۳	۱	۲
کروموزوم یک‌بار جهش یافته	۲	۳	۲	۳	۱	۱

شکل ۷. نمونه‌ای از عملکرد اپراتور جهش تصادفی کروموزوم

شکل (۸)، روند کاری الگوریتم NSGA-II را به صورت کلی نشان می‌دهد [Deb et al. 2000]. همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است، P_t نشان‌دهنده جمعیت والدین و Q_t نشان‌دهنده جمعیت فرزندان نسل t است. همچنین، F_1 بهترین راه‌حل (جواب) برای جمعیت ترکیبی (والدین و فرزندان) است. F_2 دومین راه‌حل بهترین و به‌همین ترتیب تا آخر. اطلاعات بیشتر در پژوهش وانگ، چو و چن (۲۰۱۵) آورده شده است [Wang, Tu, & Chen, 2015]



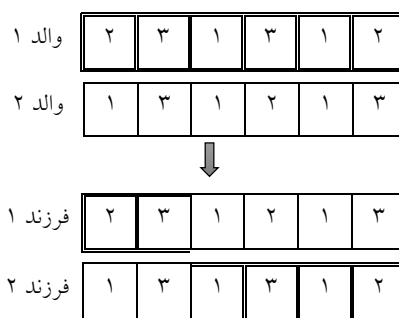
شکل ۸. جریان فرآیند کاری الگوریتم NSGA-II

۵. نتایج محاسباتی

۵-۱ معرفی مطالعه موردی (بندر شهید رجایی)

بندر شهید رجایی در استان هرمزگان و در ۲۳ کیلومتری غرب مرکز استان یعنی بندرعباس واقع شده است. بهره‌مندی از این موقعیت جغرافیایی منحصر به فرد، دسترسی به آب‌های آزاد بین‌المللی از طریق خلیج فارس و دریای عمان، اتصال به شبکه بین‌المللی جاده‌ای و ریلی، نزدیکی به مناطق آزاد جزیره کیش، قشم و بنادر منطقه خلیج فارس، مصون بودن از امواج بلند دریای عمان و خلیج

عمل تقاطع، باید دو والد در هر مرحله انتخاب شوند. همچنین در این الگوریتم نرخ (ضریب) تقاطع ۰,۷ در نظر گرفته می‌شود. در واقع، با تعیین این نرخ که عددی مابین صفر و یک است، درصدی از جمعیت فعال حاضر که باید در عمل تقاطع شرکت کنند معین می‌شود. برای این عمل، از روش تقاطع تک‌نقطه‌ای استفاده می‌شود. ابتدا به‌طور تصادفی در فاصله بین ژن اول و ژن آخر، نقطه موردنظر انتخاب شده، دو کروموزوم از محل موردنظر با یکدیگر ادغام می‌شوند. شکل (۶) بیانگر این امر است.



شکل ۶. نمونه‌ای از عملکرد اپراتور تقاطع تک‌نقطه‌ای

حال برای انجام عمل جهش، از بین فرزندان تولیدشده (از طریق عملگر تقاطع)، به تعداد n_m از جمعیت با استفاده از روش تورنومنت دودویی، یک کروموزوم برای عمل جهش انتخاب می‌شود. عمل جهش برای فرار از به دام افتادن الگوریتم در بهینه محلی بسیار مفید است. در این الگوریتم نرخ جهش ۰,۴ در نظر گرفته می‌شود. عمل جهش در این مسئله به این ترتیب انجام می‌شود که ابتدا دو کشتی به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند (کشتی‌های شماره ۳ و ۶)، سپس پهلوگاه تخصیص یافته به آن‌ها (پهلوگاه‌های شماره ۱ و ۲) با یکدیگر تعویض (جابجا) می‌شوند. این عمل تا رسیدن به کروموزوم جهش یافته نهایی ادامه می‌یابد. شکل (۷) بیانگر این امر است.

به منظور بررسی اثربخشی رویکردهای حل پیشنهادی، ۱۲ مجموعه مسئله در سه مقیاس کوچک (آزمایش‌های ۱ تا ۴)، متوسط (آزمایش‌های ۵ تا ۸) و بزرگ (آزمایش‌های ۹ تا ۱۲) مطابق جداول (۲) و (۳) در نظر گرفته شده است. علاوه بر اطلاعات جداول (۲) و (۳)، هزینه مدت زمان بیکاری در همه پایانه‌ها ثابت و برابر ۲۰۰ دلار بر ساعت است. همچنین جریمه به‌ازای هر ساعت تأخیر (تعلیق) در پهلوگاه برای کشتی‌های با تناژ کمتر از ۱۰۰۰ TEU برابر با ۳۰۰ دلار و برای سایر کشتی‌ها ۴۰۰ دلار مفروض است.

۳-۵ اعتبارسنجی الگوریتم NSGA-II

همان‌طور که اشاره شد، مدل این مقاله NP-hard است و روش حل AEC در نرم‌افزار GAMS برای مسائلی با ابعاد کوچک و متوسط کاربرد دارد. برای حل مدل در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ذکر شده استفاده می‌شود. در این پژوهش برای اعتبارسنجی الگوریتم فراابتکاری و اطمینان از کارایی آن، ۶ مسئله نخست از جداول (۲) و (۳) را با استفاده از روش‌های دقیق و فراابتکاری حل نموده‌ایم که نتایج خروجی در جداول (۴) تا (۷) ارائه می‌گردد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش فراابتکاری NSGA-II جواب‌هایی نزدیک به جواب دقیق AEC ارائه کرده است. از اینرو می‌توان برای حل مسائل در ابعاد مختلف و بزرگ‌تر به خروجی‌های این الگوریتم اعتماد کرد.

فارس و ... بندر شهید رجایی را تبدیل به یک مکان منحصر به فرد و استراتژیک نموده است.

شرایط بندر شهید رجایی به گونه‌ایست که کشتی‌ها به محض رسیدن به نزدیکی بندر، در مکانی خارج از حوضچه اسکله، بنام لنگرگاه متوقف می‌شوند، تا از طرف مدیریت بندر برای آن‌ها فرمان پهلوگیری صادر گردد. پس از صدور فرمان پهلوگیری کشتی‌ها توسط یدک‌کش‌های بندر در پهلوگاه تعیین شده پهلو داده می‌شوند و عملیات تخلیه و بارگیری از آن لحظه آغاز می‌گردد. با توجه به اینکه زمان رسیدن کشتی‌ها طبق برنامه اعلام شده از سوی شرکت‌های کشتیرانی تعیین شده و در اختیار مدیریت بندر قرار می‌گیرد، زمان اتمام عملیات نیز توسط بندر پیش‌بینی شده و به شرکت کشتیرانی مربوطه اعلام می‌گردد.

در ادامه، ابتدا اطلاعات و داده‌های گردآوری‌شده از بندر شهید رجایی ارائه و سپس مدل پیشنهادی پژوهش، از طریق کدنویسی روش AEC در نرم‌افزار GAMS با نسخه ۲۵/۱/۲ و کدنویسی الگوریتم NSGA-II در نرم‌افزار MATLAB با نسخه R2019b و در یک رایانه شخصی با مشخصات سیستم عامل ۶۴ بیت، RAM ۴ گیگابایت، CPU ۲،۲۰ گیگاهرتز و Intel(R) Core(TM) i3-2330M پیاده‌سازی و حل شده است.

۲-۵ طراحی مسئله

جدول ۲. داده‌های ورودی

ردیف	ابعاد مسئله‌ها (اسکله * کشتی)	طول کشتی‌ها (متر)	آبخور کشتی‌ها (متر)	تناژ کشتی‌ها (کانتینر ۲۰-فوتی)	سرعت حرکت کشتی‌ها (گره دریایی)	زمان پردازش کشتی‌ها (ساعت)
(۱)	۱۰ × ۳	[۴۵, ۱۰۰]	[۵, ۸]	[۵۰, ۲۰۰]	[۱۰, ۲۴]	[۶, ۳۰]
(۲)	۱۰ × ۴	[۴۵, ۱۰۰]	[۵, ۸]	[۵۰, ۲۰۰]	[۱۰, ۲۴]	[۶, ۳۰]
(۳)	۱۵ × ۴	[۴۵, ۱۰۰]	[۵, ۸]	[۲۰۰, ۵۰۰]	[۱۰, ۲۴]	[۶, ۳۰]
(۴)	۱۵ × ۵	[۴۵, ۱۰۰]	[۵, ۸]	[۲۰۰, ۵۰۰]	[۱۰, ۲۴]	[۶, ۳۰]
(۵)	۲۰ × ۷	[۱۰۰, ۱۷۰]	[۸, ۱۲]	[۵۰۰, ۸۰۰]	[۱۲, ۲۸]	[۱۰, ۵۴]

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

آزمایش‌ها	ابعاد مسئله‌ها (اسکله*کشتی)	طول کشتی‌ها (متر)	آبخور کشتی‌ها (متر)	تناژ کشتی‌ها (کانتینر ۲۰-فوتی)	سرعت حرکت کشتی‌ها (گره دریایی)	زمان پردازش کشتی‌ها (ساعت)
(۶)	۲۵ × ۷	[۱۰۰, ۱۷۰]	[۸, ۱۲]	[۵۰۰, ۸۰۰]	[۱۲, ۲۸]	[۱۰, ۵۴]
(۷)	۲۵ × ۸	[۱۰۰, ۱۷۰]	[۸, ۱۲]	[۵۰۰, ۸۰۰]	[۱۲, ۲۸]	[۱۰, ۵۴]
(۸)	۳۰ × ۹	[۱۰۰, ۱۷۰]	[۸, ۱۲]	[۵۰۰, ۸۰۰]	[۱۲, ۲۸]	[۱۰, ۵۴]
(۹)	۳۵ × ۱۲	[۱۷۰, ۲۳۰]	[۱۲, ۱۵]	[۸۰۰, ۱۰۰۰]	[۱۴, ۳۰]	[۲۰, ۳۸]
(۱۰)	۴۰ × ۱۳	[۲۳۰, ۳۰۰]	[۱۲, ۱۵]	[۱۰۰۰, ۱۵۰۰]	[۱۴, ۳۰]	[۲۰, ۳۸]
(۱۱)	۴۵ × ۱۴	[۳۰۰, ∞)	[۱۲, ۱۵]	[۱۵۰۰, ∞)	[۱۴, ۳۰]	[۲۰, ۳۸]
(۱۲)	۵۰ × ۱۵	[۳۰۰, ∞)	[۱۲, ۱۵]	[۱۵۰۰, ∞)	[۱۴, ۳۰]	[۲۰, ۳۸]

جدول ۳. داده‌های ورودی

آزمایش‌ها	ابعاد مسئله‌ها (اسکله*کشتی)	ضریب رگرسیون اولیه	ضریب رگرسیون ثانویه	هزینه تعرفه‌های بندری (دلار بر ساعت)
(۱)	۱۰ × ۳	[۴۷۷/۴, ۷۱۹/۹]	[۰/۰۱۵۱, ۰/۰۲۴۵]	[۱۰۰, ۲۰۰]
(۲)	۱۰ × ۴	[۴۷۷/۴, ۷۱۹/۹]	[۰/۰۱۵۱, ۰/۰۲۴۵]	[۱۰۰, ۲۰۰]
(۳)	۱۵ × ۴	[۴۷۷/۴, ۷۱۹/۹]	[۰/۰۱۵۱, ۰/۰۲۴۵]	[۱۰۰, ۲۰۰]
(۴)	۱۵ × ۵	[۴۷۷/۴, ۷۱۹/۹]	[۰/۰۱۵۱, ۰/۰۲۴۵]	[۱۰۰, ۲۰۰]
(۵)	۲۰ × ۷	[۵۸۰/۷, ۷۱۸/۶]	[۰/۰۰۳۷۰۹, ۰/۰۰۴۲۹۹]	[۲۰۰, ۲۵۰]
(۶)	۲۵ × ۷	[۵۸۰/۷, ۷۱۸/۶]	[۰/۰۰۳۷۰۹, ۰/۰۰۴۲۹۹]	[۲۰۰, ۲۵۰]
(۷)	۲۵ × ۸	[۵۸۰/۷, ۷۱۸/۶]	[۰/۰۰۳۷۰۹, ۰/۰۰۴۲۹۹]	[۲۰۰, ۲۵۰]
(۸)	۳۰ × ۹	[۵۸۰/۷, ۷۱۸/۶]	[۰/۰۰۳۷۰۹, ۰/۰۰۴۲۹۹]	[۲۰۰, ۲۵۰]
(۹)	۳۵ × ۱۲	[۴۹۱/۷, ۷۰۹/۲]	[۰/۰۰۰۸۶۴, ۰/۰۰۰۹۷۲]	[۲۵۰, ۴۰۰]
(۱۰)	۴۰ × ۱۳	[۴۹۱/۷, ۷۰۹/۲]	[۰/۰۰۰۸۶۴, ۰/۰۰۰۹۷۲]	[۲۵۰, ۴۰۰]
(۱۱)	۴۵ × ۱۴	[۴۹۱/۷, ۷۰۹/۲]	[۰/۰۰۰۸۶۴, ۰/۰۰۰۹۷۲]	[۲۵۰, ۴۰۰]
(۱۲)	۵۰ × ۱۵	[۴۹۱/۷, ۷۰۹/۲]	[۰/۰۰۰۸۶۴, ۰/۰۰۰۹۷۲]	[۲۵۰, ۴۰۰]

جدول ۷. مقایسه زمان حل روش‌های دقیق و فراابتکاری

میانگین زمان	میانگین زمان	درصد اختلاف	مستله‌ها
اجرای روش	اجرای الگوریتم		
AEC	NSGA-II		
(دقیقه)	(دقیقه)		
مسئله (۱)	۴/۹۵	۱/۲۸	٪ ۲۸۶
مسئله (۲)	۷/۰۱	۳/۱۷	٪ ۱۲۱
مسئله (۳)	۱۰/۲۰	۴/۴۴	٪ ۱۳۰
مسئله (۴)	۱۳/۹۰	۵/۲۹	٪ ۱۶۳
مسئله (۵)	۱۴/۱۲	۶/۳۶	٪ ۱۲۲
مسئله (۶)	۱۵/۸۰	۷/۰۸	٪ ۱۲۳

۴-۵ تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II

کیفیت (بهترین پاسخ، زمان حل و ...) هر روش فراابتکاری برای بهینه‌سازی یک مسئله، به شدت متأثر از مقدار تنظیم‌شده برای پارامترهای آن است. به عنوان مثال در الگوریتم NSGA-II که یکی از روش‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه است، حداکثر تکرار (*MaxIt*)، جمعیت اولیه در نسل (*NPOP*)، نرخ جهش (*PM*)، و نرخ تقاطع (*PC*)، چهار عامل تأثیرگذار بر کیفیت روش حل هستند. تغییر در مقدار هر کدام از این عوامل ممکن است سبب بهبود یا عدم‌بهبود کیفیت گردد. به‌عنوان مثال، اگر تعداد تکرارها افزایش یابد، پر واضح است که کیفیت جواب از منظر بهترین پاسخ بهبود می‌یابد هرچند که کیفیت جواب از منظر زمان حل بهبود نخواهد داشت. نسبت به عامل جمعیت نیز تحلیل مشابه با عامل تکرار است. اما نسبت به دو عامل نرخ جهش و نرخ تقاطع نمی‌توان روند بهبودی را از قبل انتظار داشت. به عبارت دیگر، ممکن است با افزایش نرخ جهش / نرخ تقاطع تا مقداری مشخص، کیفیت پاسخ بهبود یابد ولی از آن مقدار به بعد، کیفیت نه تنها بهبود پیدا نکند بلکه از کیفیت جواب‌ها کاسته شود.

۴-۵-۱ معیارهای اندازه‌گیری عملکرد

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

جدول ۴. نتایج خروجی هزینه‌های عملیاتی بنادر

درصد اختلاف	NSGA-II	AEC	مستله‌ها
	$\times 10^6$	$\times 10^6$	
٪ ۰/۸۸	۱/۹۸۰۳	۱/۹۶۳۰	مسئله (۱)
٪ ۰/۳۸	۱/۷۶۷۹	۱/۷۶۱۲	مسئله (۲)
٪ ۰/۴۱	۱/۴۵۵۱	۱/۴۴۹۲	مسئله (۳)
٪ ۸/۳	۳/۰۲۱۰	۲/۷۹۰۳	مسئله (۴)
٪ ۸	۲/۸۱۱۳	۲/۶۰۲۰	مسئله (۵)
٪ ۱۵/۲	۲/۵۰۹۱	۲/۱۷۷۱	مسئله (۶)

جدول ۵. نتایج خروجی مصرف سوخت کشتی‌ها

درصد اختلاف	NSGA-II	AEC	مستله‌ها
	$\times 10^7$	$\times 10^7$	
٪ ۰/۲۸	۳/۲۷۰۱	۳/۲۶۱۰	مسئله (۱)
٪ ۰/۳۲	۳/۰۱۱۶	۳/۰۰۲۰	مسئله (۲)
٪ ۰/۲۲	۲/۶۳۵۷	۲/۶۳۰۰	مسئله (۳)
٪ ۴/۴۴	۴/۸۹۱۸	۴/۶۸۴۰	مسئله (۴)
٪ ۲/۸	۴/۳۴۹۱	۴/۲۳۰۰	مسئله (۵)
٪ ۵/۲۲	۴/۲۹۸۲	۴/۰۸۵۱	مسئله (۶)

جدول ۶. نتایج خروجی مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای

درصد اختلاف	NSGA-II	AEC	مستله‌ها
	$\times 10^4$	$\times 10^4$	
٪ ۲/۵۴	۰/۰۶۴۷	۰/۰۶۳۱	مسئله (۱)
٪ ۲/۹	۰/۰۴۶۱	۰/۰۴۴۸	مسئله (۲)
٪ ۴	۰/۰۳۶۴	۰/۰۳۵۰	مسئله (۳)
٪ ۱/۶	۶/۹۵۹۷	۶/۸۵۰۰	مسئله (۴)
٪ ۱/۶۲	۶/۷۸۹۷	۶/۶۸۱۴	مسئله (۵)
٪ ۴/۹۲	۶/۵۸۹۲	۶/۲۸۰۳	مسئله (۶)

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

معیارهای کمی:

$$DM = \frac{\sqrt{(maxf_{1i} - minf_{1i})^2} + \sqrt{(maxf_{2i} - minf_{2i})^2} + \sqrt{(maxf_{3i} - minf_{3i})^2}}{\quad} \quad (48)$$

حال با توجه به تأثیر بسیار زیاد تنظیم پارامتر بر عملکرد یا کیفیت الگوریتم‌های فراابتکاری و بدست آوردن نتایج دقیق‌تر و پایدارتر، در این مقاله توجه ویژه‌ای به آن شده و بدین منظور روش تاگوچی انتخاب می‌شود. روش تاگوچی از جمله شیوه‌های FFE³⁰ برای تنظیم پارامتر و یا کنترل سطح بهینه عوامل است که در سال ۱۹۷۸ ارائه شده است. روش تاگوچی دو مزیت مهم دارد، اول آنکه نیازی به بررسی تمام آزمایشات ممکن برای عوامل ندارد و تنها کسر مشخصی از آزمایشات بررسی می‌شوند و دوم آنکه از کسر بررسی شده مقدار مناسبی اطلاعات استخراج می‌شود و با استفاده از اطلاعاتی نسبتاً خوب تنظیم عوامل صورت می‌پذیرد. در روش تاگوچی، عوامل تأثیرگذار بر نتیجه آزمایش به دو دسته غیرقابل کنترل (که اصطلاحاً اختلال³¹ (N) نامیده می‌شود) و قابل کنترل (که اصطلاحاً سیگنال³² (S) نامیده می‌شود) تقسیم می‌شود. سپس یک متغیر S/N تعریف می‌شود که نسبت سیگنال به اختلال است. روش تاگوچی در تنظیم پارامترها، عوامل را در سطوحی تنظیم می‌کند که نسبت S/N بیشینه شود [Behnamian, Fatemi Ghomi, & Zandieh, 2009]

همان‌طور که اشاره شد، در الگوریتم NSGA-II چهار پارامتر *PM*, *PC*, *NPOP*, *MaxIt* باید در سطوح بهینه تنظیم شوند. برای این منظور، نخست از بین ۱۲ مسئله طراحی شده که در قسمت (۱-۵) مشخصات آن‌ها ارائه شده است، مسئله ۶م آموخته برای تنظیم پارامتر انتخاب می‌شود، برای هر پارامتر سه سطح کم (۱) متوسط (۲) و زیاد (۳)، تعریف می‌شود. سپس مجموعه آزمایش‌های پیشنهادی روش تاگوچی برای چهار عامل در سه سطح محاسبه

۱. معیار میانگین فاصله ایده‌آل^{۳۶}: معادله معیار میانگین فاصله ایده‌آل مطابق رابطه (۴۴) تعریف می‌شود [Jolai et al. 2013]:

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (44)$$

در رابطه‌ی (۴۴)، n تعداد جواب‌های پارتو (جواب‌های غیرمغلوب) است و مقدار c_i از رابطه‌ی (۴۵) محاسبه می‌شود:

$$c_i = \sqrt{f_{1i}^2 + f_{2i}^2 + f_{3i}^2} \quad (45)$$

با توجه به اینکه تابع هدف اول، دوم و سوم از نوع کمینه‌سازی هستند، واضح است که هرچه معیار MID کمتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر است.

۲. معیار میزان دستیابی دوهدف به‌طور همزمان^{۳۷}: معادله RAS در رابطه (۴۶) نشان داده شده است. مقصود از F_i در رابطه‌ی (۴۶)، بهترین مقدار هر تابع هدف است [Jolai et al. 2013]:

$$RAS = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{1i} - F_1}{F_1} \right) + \left(\frac{f_{2i} - F_2}{F_2} \right) + \left(\frac{f_{3i} - F_3}{F_3} \right)}{n} \quad (46)$$

معیارهای کیفی:

۱. معیار گسترش راه‌حل‌های نامغلوب^{۳۸}: معادله‌ی ریاضی معیار SNS به‌صورت رابطه (۴۷) تعریف می‌شود. بالا بودن مقدار SNS به منزله‌ی بهتر بودن الگوریتم و نشانگر راه‌حل‌های با کیفیت بالاتر است [Jolai et al. 2013]:

$$SNS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MID - c_i)^2}{n - 1}} \quad (47)$$

۲. معیار بیشترین گستردگی یا ماتریس تنوع^{۳۹}: این معیار به‌عنوان شاخص تنوع، از رابطه (۴۸) محاسبه می‌شود. هر چه این مقدار بزرگتر باشد، بهتر است.

[Ghomi, & Zandieh, 2009]. نتیجه کلی تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II برای حل مدل پیشنهادی این مقاله در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸. نتیجه تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II

پارامتر	Maxit	nPop	PC	PM
مقدار	۱۵۰	۶۰	۰/۷	۰/۲۵

۶. تحلیل حساسیت

در این بخش با تغییر پارامترهای اثرگذار بر مدل ریاضی پیشنهادی، به مشاهده و بررسی رفتار هر کدام در تغییر نتایج خروجی خواهیم پرداخت. بدین منظور، پارامترهای حیاتی که برای تحلیل حساسیت انتخاب می‌شوند عبارتند از: سرعت حرکت، پنجره‌های زمانی، نوع پارامتر زمان ورود به بندر و هزینه هر دوره زمانی انتظار برای پهلوگیری پس از ورود به بندرگاه.

۶-۱ تأثیر پارامتر هزینه زمان بیکاری

در مسئله‌های طراحی شده، IC_{ki} برابر ۲۰۰ دلار بر ساعت لحاظ می‌شود. در این بخش به منظور بررسی اثر این پارامتر بر توابع هدف، ۱۰ بار مدل ریاضی پیشنهادی را اجرا و در هر اجرا ۲۰۰ واحد به مقدار قبلی هزینه اضافه شده است. تغییرات حاصله مطابق شکل (۹) می‌باشد. همان‌طور که مشخص است با افزایش IC_{ki} ، هزینه‌های عملیاتی افزایش داشته است.

شده، که ۹ حالت مختلف بدست می‌آید. لازم به ذکر است که هر آزمایش ۱۰ مرتبه انجام شده و میانگین آن‌ها ثبت شده است. حال به منظور ایجاد یک خروجی از هر آزمایش با استفاده از روش زیر همی شاخص‌ها به یک پاسخ تبدیل خواهند شد: ابتدا ماهیت هر شاخص مبنی بر منفی (کمتر - بهتر) یا مثبت بودن (بیشتر - بهتر) باید مشخص شود که در این مورد شاخص Diversity هر چه بیشتر باشد بهتر است و سایر شاخص‌ها ماهیتی منفی دارند. در مرحله دوم، مقادیر حاصل شده شاخص‌ها را از تکنیک بی واحد نمودن فازی مطابق فرمول‌های (۴۹) و (۵۰) نرمالیزه می‌کنیم.

$$x_j^+ \rightarrow R_{ij} = \frac{r_{ij} - \min(r_{ij})}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (49)$$

$$x_j^- \rightarrow R_{ij} = \frac{\max(r_{ij}) - r_{ij}}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (50)$$

در این روش نرمال سازی، شاخص‌های با ماهیت منفی ماهیتی مثبت پیدا خواهند کرد. با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی، شاخص‌ها بر حسب اهمیت اولویت بندی می‌شوند و متناسب با آن وزنی برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود که در این مقاله اهمیت هر وزن از روش معرفی شده در مقاله جولای و همکاران (۲۰۱۳) اقتباس شده است. آنگاه با توجه به ضرایب اهمیت، مجموع وزن شاخص‌های هر آزمایش در معادله (۵۱) محاسبه می‌گردد [Jolai et al. 2013].

$$Response = \sqrt[3]{(MID)^2 + (RAS)^2 + (SNS)^1 + (Diversity)^1} \quad (51)$$

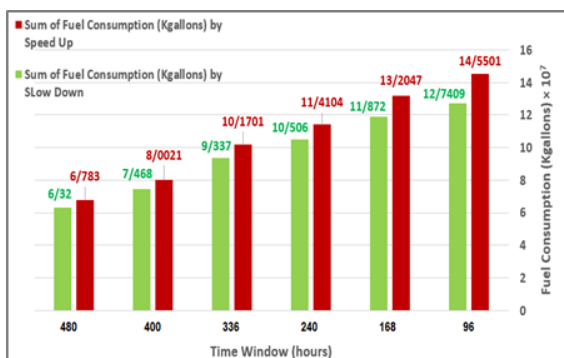
حال بر اساس مقادیر $Response$ الگوریتم، نرخ $\frac{S}{N}$ محاسبه شده و بر اساس آن، سطوح هریک از پارامترهای ورودی مشخص می‌گردد. برای این کار $Response$ حاصل شده به عنوان پاسخ نهایی برای آزمایشات ارائه و از فرمول بیشتر-بهرتر تاگوجی برای محاسبه نسبت S/N استفاده می‌شود [Behnamian, Fatemi

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

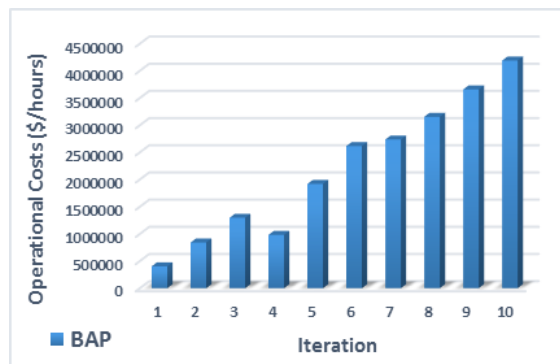
ایران

تعریف‌شده در این پژوهش را نمایش می‌دهند. همان‌طور که مشخص است با افزایش پنجره زمانی، مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی به تدریج کاهش می‌یابند.

از شکل‌های (۱۱) و (۱۲) می‌توان استنباط کرد که در حالت کاهش سرعت، مصرف سوخت از $12/74 \times 10^7$ کیلوگالن در پنجره زمانی ۹۶ ساعته به $6/32 \times 10^7$ کیلوگالن در پنجره زمانی ۴۸۰ ساعته کاهش پیدا کرده است. به عبارتی، افزایش ۳۸۴ ساعت به حد بالای پنجره زمانی منجر به کاهش تقریبی ۲۰۰ درصدی در مصرف سوخت و صرفه‌جویی ارزی تقریبی ۴۳۰ هزار دلار بر ساعت از هزینه‌های عملیاتی کشتی شده است. علاوه بر این، هنگامی که پنجره زمانی گسترده‌تر می‌شود، اختلاف بین مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی در دو حالت با افزایش و کاهش سرعت به تدریج کمتر می‌شود. همان‌طور که مشخص است اختلاف مصرف سوخت از مقدار $1/8092 \times 10^7$ کیلوگالن در پنجره زمانی ۹۶ ساعته به مقدار $0/4630 \times 10^7$ کیلوگالن در پنجره زمانی ۴۸۰ ساعته و همچنین، اختلاف هزینه‌های عملیاتی از مقدار $1/2281 \times 10^6$ دلار بر ساعت در پنجره زمانی ۹۶ ساعته به مقدار $0/5056 \times 10^6$ دلار بر ساعت در پنجره زمانی ۴۸۰ ساعته تنزیل پیدا کرده است. چنانچه پنجره زمانی افزایش یابد، این اختلاف‌ها به تدریج از بین می‌رود که این امر ناشی از برابر شدن سرعت حرکت کشتی‌ها در دو حالت است.



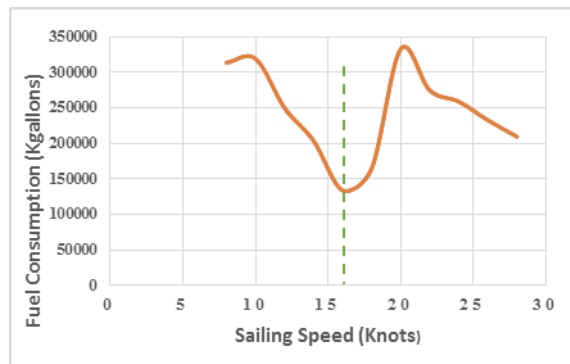
شکل ۱۱. تأثیر پنجره زمانی روی مصرف سوخت کشتی



شکل ۹. مقایسه هزینه‌های عملیاتی

۲-۶ تأثیر پارامتر سرعت روی میزان مصرف سوخت

همان‌طور که از شکل (۱۰) می‌توان استنباط نمود، سرعت بهینه حرکت برای کشتی‌های کانتینری مدنظر این پژوهش تقریباً ۱۶ گره دریایی است. از اینرو، کشتی‌های با سرعت حرکت کنونی بیشتر از ۱۶ گره (کمتر از ۱۶ گره) به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت خود می‌بایست سرعت حرکت خود را کاهش (افزایش) دهند.



شکل ۱۰. ارتباط میان مصرف سوخت و سرعت حرکت کشتی‌ها

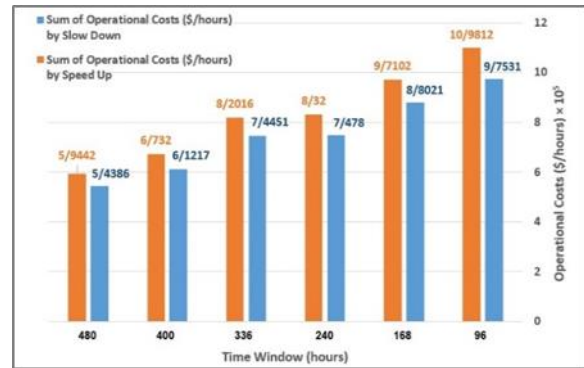
۳-۶ تجزیه و تحلیل پنجره زمانی

در این بخش، به منظور مطالعه و بررسی تأثیر زمان سفر روی نتایج بهینه‌سازی سرعت، مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی کشتی در دو حالت با افزایش یا کاهش سرعت حرکت در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اشکال (۱۱) و (۱۲)، به ترتیب مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی ۳۰ کشتی تحت تأثیر پنجره‌های زمانی فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

برای کاهش یا افزایش سرعت و افزایش بهره‌وری انرژی کشتی فراهم آورد.

۶-۴ مقایسه در دو حالت زمان ورود متغیر (VAT) و زمان ورود ثابت (CAT)

هنگامی که تعداد کشتی‌های کانتینری در افق برنامه‌ریزی رو به افزایش است بدیهی است که هزینه عملیاتی بندر و میزان مصرف سوخت کشتی‌ها نیز افزایش می‌یابد (مطابق جدول (۹)). مطابق جدول (۹) می‌توان استنباط کرد که مقادیر هزینه عملیاتی و مصرف سوخت در حالت VAT نسبت به حالت CAT کاهش چشمگیری داشته و بنابراین از نظر کاهش در توابع هدف اول و دوم، رویکرد VAT خروجی بهتری ارائه کرده است.



شکل ۱۲. تأثیر پنجره زمانی روی هزینه‌های عملیاتی کشتی

با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که بهینه‌سازی سرعت یک کشتی نسبت به پنجره زمانی بسیار حساس است و محدودیت پنجره زمانی بزرگ‌تر (حد بالای بزرگ‌تر) می‌تواند پتانسیل بیشتری

جدول ۹. مقایسه هزینه عملیاتی و مصرف سوخت برحسب نوع پارامتر زمان ورود کشتی‌ها

تعداد کشتی‌ها	f_1^{VAT}	f_2^{VAT}	f_1^{CAT}	f_2^{CAT}	$f_1^{CAT} - f_1^{VAT}$	$f_2^{CAT} - f_2^{VAT}$
	× ۱۰ ^۵	× ۱۰ ^۷	× ۱۰ ^۵	× ۱۰ ^۷	× ۱۰ ^۵	× ۱۰ ^۷
۱۰	۱/۷۳۶۲	۲/۹۵۵۷	۴/۵۶۷۴	۳/۲۴۳۷	۲/۸۳۱۲	۰/۲۸۸۰
۱۵	۲/۷۸۸۹	۴/۵۴۰۰	۳/۲۴۰۷	۴/۹۴۵۰	۰/۴۵۱۸	۰/۴۰۵۰
۲۰	۳/۳۹۷۵	۶/۶۷۳۹	۵/۹۷۱۴	۷/۱۴۰۰	۲/۵۷۳۹	۰/۴۶۶۱
۲۵	۵/۶۳۲۲	۸/۲۹۴۷	۷/۸۶۴۳	۸/۸۷۰۲	۲/۲۳۲۱	۰/۵۷۵۵
۳۰	۷/۴۴۵۱	۹/۳۳۷۰	۱۰/۵۶۸۹	۱۰/۱۲۰۰	۳/۱۲۳۸	۰/۷۸۳۰
۳۵	۹/۰۹۲۸	۱۱/۱۸۱۲	۱۲/۴۸۰۰	۱۲/۲۰۹۰	۳/۳۸۷۲	۱/۰۲۷۸
۴۰	۱۱/۸۲۵۹	۱۳/۶۹۷۱	۱۵/۱۲۰۹	۱۴/۵۵۶۰	۳/۲۹۵۰	۰/۸۵۸۹
۴۵	۱۳/۰۱۷۱	۱۵/۰۴۱۳	۱۸/۴۱۰۸	۱۵/۷۰۳۵	۵/۳۹۳۷	۰/۶۶۲۲
۵۰	۱۵/۲۴۹۴	۱۷/۲۰۳۵	۱۹/۳۲۱۰	۱۸/۱۰۳۰	۴/۰۷۱۶	۰/۸۹۹۵

سوخت کشتی‌های کانتینری در بندر شهید رجایی بوده است. علاوه بر این، به دلیل وجود رابطه غیرخطی میان مصرف سوخت و سرعت کشتی‌های کانتینری، تکنیک SOCP به منظور خطی‌سازی مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به توانایی بالای روش

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

به‌طور کلی، توجه اصلی این مقاله روی ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مسئله تخصیص پهلوگاه با در نظر گرفتن مصرف

3. International Energy Agency (IEA)
4. International Maritime Organization (IMO)
5. The Starcrest Consulting Group (2010)
6. The Integrated Berth Allocation and Quay Crane Assignment Problem (BACAP)
7. Memetic Algorithm
8. Random Topology Particle Swarm Optimization Algorithm (RTPSO)
9. Website of Eworldship
10. Mixed Integer Second Order Cone Programming (MISOCP) Model
11. Multi-user Maritime Container Terminal
12. Space-Time Diagram
13. Tianjin Port
14. Constant Arrival Time (CAT)
15. Variable Arrival Time (VAT)
16. Second Order Cone Programming (SOCP)
17. Hyperbolic Inequalities
18. Euclidean Norm
19. Multi-Objective Mathematical Programming (MMP)
20. Non Dominated Sorting Genetic Algorithm – II
21. Epsilon Constraint Method (EC)
22. Multi-Objective Decision Making (MODM)
23. Augmented Epsilon Constraint Method (AEC)
24. Crowding Distance
25. Twenty-foot Equivalent Unit (TEU)
26. Mean Ideal Distance (MID)
27. The Rate of Achievement to Two Objectives Simultaneously (RAS)
28. Spread of Non-Dominance Solutions (SNS)
29. Diversification Matrix (DM)
30. Fractional Factorial Experiments (FFEs)
31. Noise
32. Signal

محدودیت اپسیلون تکامل یافته در محاسبه مجموعه جواب‌های کارا، در پژوهش حاضر نیز از همین روش برای حل مدل دوهدفه پیشنهادی استفاده شده است. همچنین، باتوجه به NP-Hard بودن مدل در ابعاد متوسط و بزرگ، رسیدن به جواب‌های بهینه که روی جبهه سراسری قرار می‌گیرند امری غیر ممکن است. لذا برای مرتفع ساختن این مشکل، الگوریتم NSGA-II بکار گرفته شد. در ادامه پس از معرفی الگوریتم مورد استفاده در پژوهش، به تنظیم پارامترهای آن با استفاده از روش تاگوچی پرداخته شد. علاوه بر این، نتایج تحلیل حساسیت ارائه شده در انتهای این پژوهش حاکی از آن است که مدل پیشنهادی نقش مؤثری در بهبود کارایی بنادر دارد و موضوعات مطرح شده می‌توانند به‌عنوان یک بینش مفید برای مقابله با مسائل موجود در بندر شهید رجایی مؤثر واقع شوند.

به‌عنوان ایده بسط می‌توان در مطالعات آتی، شرایط ذکر شده در این پژوهش را میان چندین بندر با چندین پایانه (یک شبکه کشتیرانی جامع) بررسی نمود. علاوه بر این، افزودن توابع هدف دیگر به توابع هدف کنونی از جمله کمینه‌سازی هزینه تخصیص جرثقیل‌ها به کشتی‌های ورودی و یا کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کشتی‌ها و کارکرد جرثقیل‌ها نیز از دیگر نکاتی است که می‌تواند مد نظر قرار بگیرد.

در نظر گرفتن عدم قطعیت برای یک یا چند پارامتر به‌کار گرفته شده در مدل ارائه شده نیز می‌تواند نتایج قابل توجهی را در پی داشته باشد. چرا که در محیط‌های واقعی حوادث پیش‌بینی نشده‌ای از جمله خرابی جرثقیل‌ها، وضعیت نامساعد جوی و ... بر برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های راهبردی مدیران بنادر تأثیرگذار است.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Maritime Transportation
2. Berth Allocation Problem (BAP)

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره سوم (۵۲) / بهار ۱۴۰۱

Shipping and Logistics, Vol. 33, No. 3, pp. 127-139.

- Clausen, U., & Kaffka, J. (2016) "Development of priority rules for handlings in inland port container terminals with simulation", Journal of Simulation, Vol. 10, No. 2, pp. 95-102.

- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Van Veldhuizen, D. A. (2007) "Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems", New York: Springer.

- Cruz, R., Bergsten Mendes, A., Bahiense, L., & Wu, Y. (2019) "Integrating berth allocation decisions in a fleet composition and periodic routing problem of platform supply vessels", European Journal of Operational Research, Vol. 275, No. 1, pp. 334-346.

- Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2000) "A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II", International Conference on Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI, Paris: 18-20 September 2000.

- Du, Y., Chen, Q., Quan, X., Long, L., & Fung, R. Y. (2011) "Berth allocation considering fuel consumption and vessel emissions", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 47, No. 6, pp. 1021-1037.

- Dulebenets, M. A., Golias, M. M., & Mishra, S. (2018) "A collaborative agreement for berth

- Abou Kasm, O., Diabat, A., & Cheng, T. C. E. (2020) "The integrated berth allocation, quay crane assignment and scheduling problem: mathematical formulations and a case study", Annals of Operations Research, Vol. 291, No. 1, pp. 435-461.

- Alvarez, J. F., Longva, T., & Engebretsen, E. S. (2010) "A methodology to assess vessel berthing and speed optimization policies", Maritime Economics & Logistics, Vol. 12, No. 4, pp. 327-346.

- Amrou, M., Hassan, B., & Boulmakoul, A. (2018) "Process Mining for port container terminals: The state of the art and issues", 12th Edition of the Conference on Advances of Decisional Systems, ASD 2018: Big Data and Applications, Marrakech: 2-3 May 2018.

- Behnamian, J., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Zandieh, M. (2009) "A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective scheduling in a realistic hybrid flowshop using a hybrid metaheuristic", Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 8, pp. 11057-11069.

- Bierwirth, C., & Meisel, F. (2010) "A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals", European Journal of Operational Research, Vol. 202, No. 3, pp. 615-627.

- Budipriyanto, A., Wirjodirdjo, B., Pujawan, I. N., & Gurning, S. (2017) "A simulation study of collaborative approach to berth allocation problem under uncertainty", The Asian Journal of

- Jolai, F., Asefi, H., Rabiee, M., & Ramezani, P. (2013) "Bi-objective simulated annealing approaches for no-wait two-stage flexible flow shop scheduling problem", *Scientia Iranica*, Vol. 20, No. 3, pp. 861-872.
- Lee, D.-H., & Qiu Wang, H. (2010) "Integrated discrete berth allocation and quay crane scheduling in port container terminals", *Engineering Optimization*, Vol. 42, No. 8, pp. 747-761.
- Malekahmadi, A., Alinaghian, M., Hejazi, S. R., & Saidipour, M. A. A. (2020) "Integrated continuous berth allocation and quay crane assignment and scheduling problem with time-dependent physical constraints in container terminals", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 147, No. 1, 106672.
- Mavrotas, G. (2009) "Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 213, No. 2, pp. 455-465.
- Nikas, A., Fountoulakis, A., Forouli, A., & Doukas, H. (2020) "A robust augmented ϵ -constraint method (AUGMECON-R) for finding exact solutions of multi-objective linear programming problems", *Operational Research - An International Journal (ORIJ)*, Vol. 20, No. 1, pp. 1-42.
- Peng, Y., Dong, M., Li, X., Liu, H., & Wang, W. (2021) "Cooperative optimization of shore power allocation and berth allocation: A balance allocation under excessive demand", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 69, No. 1, pp. 76-92.
- Gazijahani, F. S., Ajoulabadi, A., Ravadanegh, S. N., & Salehi, J. (2020) "Joint energy and reserve scheduling of renewable powered microgrids accommodating price responsive demand by scenario: A risk-based augmented epsilon-constraint approach", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 262, No. 1, 121365.
- He, J. (2016) "Berth allocation and quay crane assignment in a container terminal for the trade-off between time-saving and energy-saving", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 30, No. 3, pp. 390-405.
- Hoseini, S. F., Mohammadpour Omran, M., Márquez, A. C., & Makui, A. (2018) "Simultaneous optimisation of seaside operations in container terminals: a case study of the iranian rajae port", *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, Vol. 10, No. 5/6, pp. 587-617.
- Hu, Q.-M., Hu, Z.-H., & Du, Y. (2014) "Berth and quay-crane allocation problem considering fuel consumption and emissions from vessels", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 70, No. 1, pp. 1-10.
- Huang, K., Suprayogi, & Ariantini. (2016) "A continuous berth template design model with multiple wharfs", *Maritime Policy & Management*, Vol. 43, No. 6, pp. 763-775.

- Wang, H. S., Tu, C. H., Chen, K. H. (2015) "Supplier selection and production planning by using guided genetic algorithm and dynamic nondominated sorting genetic algorithm-II approaches", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 1-15.
- Zhen, L., Hu, Z., Yan, R., Zhuge, D., & Wang, S. (2020) "Route and speed optimization for liner ships under emission control policies", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 110, No. 1, pp. 330-345.
- between cost and environmental benefit", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, No. 1, 123816.
- Qin, T., Du, Y., & Sha, M. (2016) "Evaluating the solution performance of IP and CP for berth allocation with time-varying water depth", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 87, No. 1, pp. 167-185.
- Salhi, A., Alsoufi, G., & Yang, X. (2019) "An evolutionary approach to a combined mixed integer programming model of seaside operations as arise in container ports", *Annals of Operations Research*, Vol. 272, No. 1-2, pp. 69-98.
- Shang, X. T., Cao, J. X., & Ren, J. (2016) "A robust optimization approach to the integrated berth allocation and quay crane assignment problem", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 94, No. 1, pp. 44-65.
- United Nations' Conference on Trade and Development - UNCTAD. (2020) "Review of Maritime Transport 2019", United Nations Publications, New York, United States of America, 31 January 2020.
- Venturini, G., Iris, Ç., Kontovas, C. A., & Larsen, A. (2017) "The multi-port berth allocation problem with speed optimization and emission considerations", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 54, No. 1, pp. 142-159.

مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن مصرف سوخت کشتی‌ها، مطالعه موردی: بندر شهید رجایی

ایران

صادق شریفی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۶ از مرکز آموزش عالی فیروزآباد فارس اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۹۹ موفق به کسب درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع - بهینه‌سازی سیستم‌ها از دانشگاه هرمزگان گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان زمان‌بندی و مدیریت پروژه، تحقیق و توسعه، شرکت‌های دانش بنیان، لجستیک دریایی، مدیریت پایانه‌های کانتینری، مدیریت و طراحی شبکه زنجیره تأمین و الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر کارشناس اداره آموزش، پژوهش و فناوری در سازمان صنعت، معدن و تجارت استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.



سید فرزاد حسینی، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع - صنایع را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ از دانشگاه هرمزگان و دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۹۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع - صنایع از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان کارآفرینی، لجستیک دریایی، مدیریت پایانه‌های کانتینری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه هرمزگان می‌باشد.



حسن زارعی در سال ۱۳۷۳ موفق به اخذ مدرک کارشناسی مهندسی صنایع گرایش تولید صنعتی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران شد و در سال ۱۳۷۷ مقطع فوق لیسانس مهندسی صنایع خود را در دانشگاه تربیت مدرس تهران با موفقیت به پایان رساند و در دانشگاه هرمزگان شروع به کار نمود؛ نامبرده در سال ۱۳۹۳ پس از اخذ درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع و سیستم‌ها از دانشگاه پوترای کشور مالزی به دانشگاه هرمزگان بازگشت؛ زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان توسعه و کاربرد پذیری محصول، مدل‌های کسب و کار الکترونیکی، شبیه‌سازی سیستم‌های پویا، لجستیک دریایی، مدیریت پایانه‌های کانتینری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه هرمزگان می‌باشد.

