Archive of SID

ارائه یک مدل زمان‌بندی جرثقیل محوطه در ترمینالهای کانتینری

حسن جوانشیر، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
مرجان السادات فاطمی‌قمی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
سید محمدتقی فاطمی‌قمی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
E-mail: fatemi_marjan@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش:۹۱/۰۲/۰۹

چکیده

امروزه تجارت جهانی در بخش حمل و نقل کانتینری رشد و پیشرفت عظیمی داشته است. در این مقاله، مساله زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه بین بلوکهای مختلف در یک ترمینال کانتینری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اهداف این مطالعه، کمینه کردن مدت زمان جابجایی جرثقیلهای محوطه در بین بلوکها و حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در دوره‌های زمانی مختلف است. بنابراین، در این پژوهش، مساله زمان‌بندی جرثقیل محوطه به‌صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) فرموله می‌شود. این مدل می‌تواند جفت بلوکهایی را که جرثقیلهای محوطه در هر دوره زمانی بین آنها جابجا می‌شوند، تعیین کند. سپس مدل در نرم‌افزار لینگو کدنویسی شده و با استفاده از روش شاخه و کران حل می‌شود. نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل، توالی جابجایی جرثقیلها در هر دوره بین بلوکها را تعیین می‌کند، به طوری که کمینه زمان جابجایی برای جرثقیلهای محوطه و کمینه حجم کاری در هر دوره زمانی در هر بلوک به دست آید. همچنین نتایج حاصله نشانگر آن است که الگوریتم توسعه داده شده از کارآیی لازم برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: کانتینر، ترمینال کانتینری، حمل و نقل کانتینری، زمان بندی، جرثقیل محوطه.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

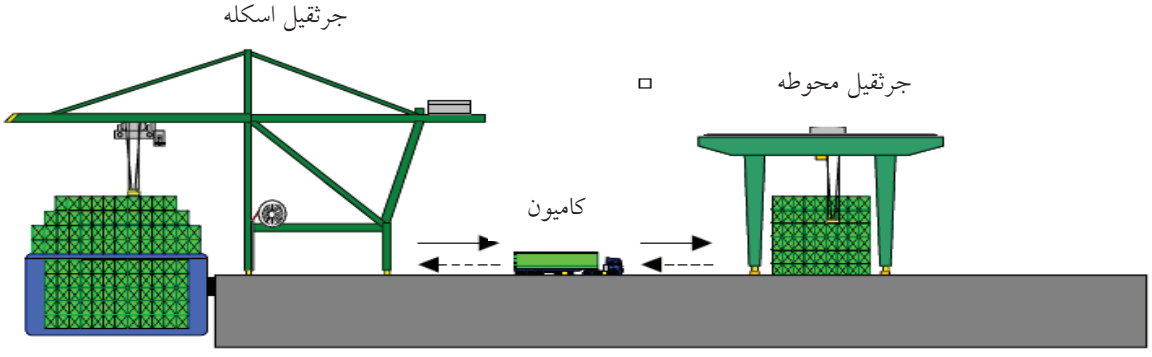
بر اساس نمودارهای ارائه شده توسط UNCTAD[1]، تجارت از طریق حمل و نقل کانتینری در سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۵، از میانگین رشد سالانه ۵/۳۲ درصدی برخوردار خواهد بود. [Legato, Canonaco and Mazza, 2009] امروزه اکثر محموله‌های بین‌المللی در بنادر دریایی، در کانتینرها قرارگرفته و جابجا می‌شوند. اخیراً رقابت شدید بین بندرهای مختلف بویژه در آسیا و اروپا باعث شده است تا بنادر مختلف به سمت فراهم آوردن امکانات وتسهیلات بیشتر حرکت کنند و بهبود کیفیت خدمات، کاهش هزینه خدمات و افزایش عملکرد ترمینال را مورد توجه قرار دهند [Huang, Liang and Yang, 2009]. سیستم حمل و نقل کانتینری نیازمند سرمایه زیادی است و کنترل زمان گردش کشتی‌ها در ترمینال کانتینری برای کاهش هزینه کلی شرکتهای کشتیرانی بسیار مهم تلقی می‌شود. آنچه سهم زیادی در زمان گردش کشتی دارد، زمان بارگیری و تخلیه است [Lee, Huan., Liang and Yang, 2009] و [Lee, 2010].

برای انجام عملیات بارگیری و تخلیه در ترمینالهای کانتینری، تعدادی از شناورها در طول اسکله قرار می‌گیرند و هر شناور توسط چندین جرثقیل اسکله خدمت‌دهی می‌شود که جرثقیلهای اسکله توسط تعداد زیادی ازجرثقیلهای محوطه[2] پشتیبانی می‌شوند [Legato, Canonaco and Mazza, 2009]. شکل ۱ جریان کانتینرها در ترمینالهای کانتینری را نشان می‌دهد. وقتی یک شناور به ترمینال می‌رسد، کانتینرها از شناور تخلیه و توسط جرثقیلهای اسکله روی کامیونها سوار می‌شوند و سپس توسط جرثقیلهای محوطه در مکانهای متفاوتی در محوطه انبار ذخیره می‌گردند. در مورد عملیات بارگیری، کانتینرها به کامیونها توسط جرثقیلهای محوطه منتقل می‌شوند و پس از آن جرثقیلهای اسکله کانتینرها را به شناورها انتقال می‌دهند [Ng and Mak, 2005].

به طور معمول برای جابجایی کانتینرها در محوطه انبار ترمینالهای کانتینری، از تجهیزاتی چون گنتری کرین ریلی[3]، گنتری کرین چرخ لاستیکی[4]، استرادل کریر و فورک لیفتراک استفاده می‌کنند. بنابراین، دو نمونه از جرثقیلهای محوطه وجود دارند که عبارتند از: گنتری کرین ریلی و گنتری کرین چرخ لاستیکی. یک گنتری کرین ریلی، بر روی ریل‌ها در یک بلوک انبار حرکت می‌کند، در حالی که یک گنتری کرین چرخ لاستیکی که بر روی چرخهای لاستیکی حرکت می‌کند می‌تواند در میان بلوکهای انبار نیز حرکت کند [Zhang et al. 2002]. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، جرثقیل محوطه برای جابجایی در یک بلوک[5] ذخیره با ٦ مسیر استفاده می‌شود. یکی ازمسیرها در یک طرف بلوک برای برداشتن کانتینرها و تحویل به کامیونها اختصاص داده می‌شود و بقیه مسیرها برای ذخیره کانتینرها در پشته[6] مورد استفاده قرار می‌گیرند. در محوطه کانتینری، هر بلوک ذخیره از راهرو[7] و چندین کانتینر در ارتفاع[8] و bay تشکیل شده است. هر bay بخش عمودی از یک بلوک است (۵ کانتینر در ارتفاع x ٦ راهرو) [Legato, Canonaco and Mazza, 2009].

به طور کلی جرثقیلهای محوطه، خدمات متنوعی را در ترمینالهای کانتینری ارائه می‌کنند که به صورت زیر است [He et al, 2010]:

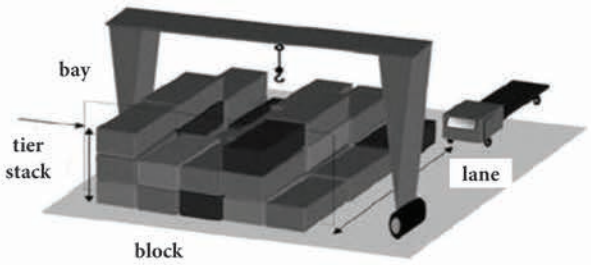
۱) برداشتن کانتینرهای ورودی از روی کامیونهای داخلی ترمینال



شکل ۱. فرآیند تخلیه و بارگیری کانتینرها در ترمینال کانتینری [Ng and Mak, 2005].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمایش بلوک ذخیره و جرثقیل محوطه
[Legato, Canonaco and Mazza, 2009]

و ذخیره آنها در محلهای انبار.

۲) برداشتن کانتینرهای خروجی از روی کامیونهای خارجی و ذخیره آنها در محلهای انبار.

۳) بازیابی کانتینرهای داخلی و گذاشتن آنها برروی کامیونهای خارجی برای تحویل به مشتریان.

٤) بازیابی کانتینرهای خروجی و گذاشتن آنها بر روی کامیونهای داخلی برای ارسال آنها به شناورهای مورد نظر.

۵) مرتب کردن مجدد کانتینرها در بلوکها.

جرثقیلهای محوطه، مطلوب‌ترین وسیله برای بارگیری و تخلیه کانتینردر بنادر هستند. اگرچه این تجهیزات حجیم بوده و معمولاً دارای حرکت کندی هستند که باعث ایجاد گلوگاه در ترمینال می‌شود [Seyedalizadeh Ganji, Babazadeh and Ar-abshahi, 2010]. بنابراین بدون یک برنامه‌ریزی مؤثر برای جرثقیلهای محوطه، ممکن است که کامیونها در محوطه منتظر مانده و در نتیجه جرثقیلهای اسکله به دلیل منتظر ماندن برای رسیدن کامیونها بیکار بمانند. این چنین زمانهای انتظاری میزان کارآیی جرثقیلهای اسکله را کاهش می‌دهد. بنابراین، برای دستیابی به بهره‌وری بالا، استفاده از جرثقیلهای محوطه باید با برنامه‌ریزی صورت پذیرد [Seyedalizadeh Ganji, Javanshir and Vaseghi, 2009]. همچنین زمان‌بندی صحیح و منطقی جرثقیل محوطه در بهبود راندمان فعالیتهای بارگیری، و تخلیه و کاهش هزینه‌های عملیاتی نقش مهمی دارد. در این پژوهش از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) برای زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه در انبارهای کانتینری استفاده می‌شود و سپس مدل برای مساله نمونه‌ای با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل می‌شود. در بخش بعد مطالعات انجام شده در این زمینه مرور می‌شود. در بخش ۳ مدل زمان‌بندی جرثقیل محوطه ارائه می‌شود. بخش ٤ نتایج محاسباتی را ارائه می‌کند و در نهایت، بخش ۵ به نتیجه‌گیری این تحقیق می‌پردازد.

۲. پیشینه تحقیق

در هر دو مورد فعالیتهای بارگیری و تخلیه در ترمینالهای کانتینری، توزیع منابع و زمان‌بندی تجهیزات از مسائل کلیدی برنامه‌ریزی هستند. زمانی‌که فعالیتهای جابجایی توسط جرثقیلهای اسکله شروع می‌شود، این جرثقیلها فعالیتهای جابجایی را برای کامیونها و جرثقیلهای محوطه ایجاد می‌کنند. همچنین جرثقیلهای محوطه کار جای‌گیری و یا بازیابی کانتینرها را در بلوکهای ذخیره انجام می‌دهند [Amin and Golchubian, 2009].

تحقیقات زیادی در ارتباط با زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه انجام شده است. در این رابطه کیم و کیم[9] در سال ۱۹۹۹ مجموع زمان آماده‌سازی و زمان حرکت جرثقیلها در یک بلوک ذخیره کانتینر را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح(MIP) ، کمینه کردند. در مورد مشابه، کیم و کیم در سال ۲۰۰۳ از الگوریتمهای ابتکاری استفاده کردند. ژانگ[10] و همکاران در سال ۲۰۰۲ برای یافتن حرکات بهینه جرثقیلها در بین بلوکهای مختلف در محوطه ترمینال، در هر دوره زمانی، از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) استفاده کردند. هدف آنها در این مدل کمینه کردن حجم کاری باقی‌مانده در پایان هر دوره زمانی بود و این مدل با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ[11] حل شده است [Zhang et al. 2002]. لین[12] و همکاران در سال ۲۰۰۳ مدلی بر اساس برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کردند که حرکت جرثقیلها بین بلوکها در جهت کمینه شدن حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها است [Linn et al., 2003]. کیم و همکاران در سال ۲۰۰۳ برای تعیین توالی فعالیتهای جرثقیلهای محوطه از مدل برنامه‌ریزی پویا استفاده کردند و سپس با استفاده از چندین روش ابتکاری به حل مدل پرداختند. آنها در نهایت با استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

از روش شبیه‌سازی، به‌مقایسه چندین روش حل مذکور پرداختند [Kim, Lee and Hwang, 2003]. انجی و مک در سال ۲۰۰۵ مساله زمان‌بندی جرثقیل محوطه را با هدف کمینه سازی مجموع زمان تکمیل کارها با استفاده از مدل برنامه‌ریزی صفر ویک مطرح کردند. آنها زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه را در داخل یک بلوک بررسی و مدل حاصله را با روش انشعاب و تحدید حل کردند [Ng and Mak, 2005].

همچنینNg در سال ۲۰۰۵ زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه را در داخل بلوکهای همجوار مورد بررسی قرار داد. این پژوهشگربا بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی صفر و یک به کمینه‌سازی مجموع زمان تکمیل کارها پرداخت. مدل مذکور با استفاده از یک روش ابتکاری بر مبنای برنامه‌ریزی پویا حل شده است [Ng, 2005].

جانگ[۱۳] و کیم در سال ۲۰۰۶ روشی برای زمان‌بندی فعالیت بارگیری کانتینرها با در نظر گرفتن چندین جرثقیل محوطه در یک بلوک ارائه کردند. لی[۱۴] و همکاران در سال ۲۰۰۷ مساله زمان‌بندی سیستمی با دو جرثقیل محوطه را با هدف کمینه‌سازی کل زمان بارگیری در ناحیه پشته‌ها با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مورد بررسی قرار دادند. چن و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل زمان‌بندی یکپارچه‌ای با استفاده از جستجوی ممنوع ارائه کردند [Lee, Cao and Meng, 2007]. در سال ۲۰۰۹، لجاتو[۱۵] و همکاران با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه را بین بلوکهای مختلف بررسی کردند. هدف از این مطالعه یافتن جفت بلوکهایی است که هزینه انتقال جرثقیل محوطه بین آن دو بلوک و همچنین هزینه فعال سازی جرثقیل مورد نظر به کمینه میزان خود برسد. آنها برای حل مدل از روش شبیه‌سازی بهره جستند [Legato, Canonaco and Mazza, 2009].

همچنین لی و کیم در سال ۲۰۰۹ به مقایسه زمان سیکل جرثقیلهای محوطه تحت قوانین مختلف توالی پرداختند و در هر مورد، زمان انتظار کامیونها را محاسبه کردند. آنها با توجه به هر یک از قوانین توالی، فرمولی برای محاسبه زمان سیکل جرثقیلهای محوطه معرفی کردند [Lee and Kim, 2009] هوانگ، لیانگ و یانگ[۱۶] در سال ۲۰۰۹ با استفاده از یک مدل ریاضی چند هدفه مسیر بهینه جرثقیلهای محوطه برای انجام فعالیتهای بارگیری و تخلیه را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [Huan, Liang and Yang, 2009]. در سال ۲۰۱۰ هی و همکاران با استفاده از رویکرد پوششی، مدلی برای زمان‌بندی جرثقیل محوطه ارائه کردند که هدف آنها کمینه کردن حجم کاری دارای تاخیر در میان بلوکها و کمینه کردن زمان کل حرکت جرثقیل محوطه از یک بلوک به بلوک دیگر درطی افق برنامه‌ریزی بوده است. سپس این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است [He et al, 2010].

همچنین در سال ۲۰۱۰ ، پارک و همکاران زمان‌بندی دو جرثقیل محوطه را در یک بلوک بررسی کردند. آنها از روش جستجوی محلی و روشی ابتکاری برای حل مساله استفاده، و ادعا کردند که در صورت همکاری دو جرثقیل محوطه در یک بلوک، زمان انتظار کامیونها در ترمینال به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. [Park et al. 2010]

۳. مدل زمان‌بندی جرثقیل محوطه

برای درک بهتر مدل مورد نظر، ابتدا به تشریح مساله پرداخته می‌شود.

۳-۱ تعریف مساله

کانتینرها، تا زمانی که توسط کامیونها حمل شوند و یا به شناورها بارگیری شوند، در محوطه ذخیره ترمینالهای کانتینری انبار می‌شوند. یک محوطه بزرگ در ترمینال کانتِنری، به تعدادی ناحیه بزرگ تقسیم می‌شود که هر ناحیه یک منطقه[۱۷] نامیده می‌شود. در هر منطقه، کانتینرها در کنار هم و روی هم ذخیره می‌شوند و به‌این ترتیب مستطیلهایی شکل می‌گیرد که هر یک از آنها بلوک نامیده می‌شود. ذخیره و جابجایی کانتینرها در محل انبار نیز توسط جرثقیل محوطه انجام می‌گیرد.

به عبارت دیگر در یک منطقه، جرثقیل محوطه، برای اجرای فعالیتهای جابجایی که توسط شناورهای مختلف ایجاد می‌شود،

www.SID.ir

Archive of SID

آزادانه حرکت می‌کند. نرخ فیزیکی جابجایی جرثقیل محوطه تقریباً نصف جرثقیل اسکله است. غالباً جریان کارها در یک ترمینال کانتینری به علت حرکت آرام و کند جرثقیلهای محوطه دچار تاخیر می‌شوند. از این‌رو زمان بندی موثر جرثقیل محوطه باعث کاهش زمان انتظار کامیونها و افزایش جریان کاری بین شناور و ترمینال می‌شود که در نتیجه آن، بازده ترمینال افزایش می‌یابد. تصمیم‌گیری در ارتباط با این که چه تعداد جرثقیل محوطه و کدام یک از آنها به‌یک بلوک تخصیص یابد، به حجم کاری روزانه پیش‌بینی شده و ظرفیت کل مورد نیاز جرثقیل، بستگی دارد.

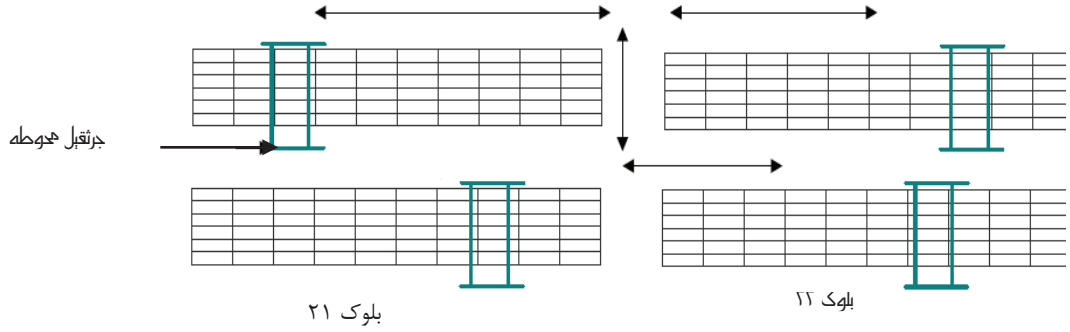
جابجایی جرثقیلهای محوطه شامل جابجایی بین بلوکهای همجوار و غیرهمجوار است. در این شرایط جابجایی و تخصیص جرثقیلهای محوطه به بلوکها، زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه نامیده می‌شوند. چنان که در شکل ۳ نشان داده شده است اگر دو بلوک، همانند بلوکهای ۱۱ و ۲۲ همجموار نباشند، آنگاه جرثقیل محوطه برای جابجا شدن نیاز به دو بار تغییر زاویه حرکت دارد. این نوع جابجایی نسبت به جابجایی‌هایی که بین بلوکهای همجوار همانند بلوکهای ۱۱ و ۱۲ انجام می‌شوند، مدت زمان طولانی‌تری دارند. همچنین برای جلوگیری از تداخل جرثقیلها به هنگام جابجایی از یک بلوک به بلوک دیگر، ابتدا یکی از جرثقیلها جابجا می شوند و سپس جابجایی جرثقیل دوم صورت می پذیرد. به عبارت دیگر، مدت زمان جابجایی برای جرثقیل دوم طولانی‌تر می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن مقادیرمناسب مدت زمان جابجایی جرثقیلها، از تداخل آنها در خارج از بلوکها جلوگیری می‌شود. جرثقیلهای محوطه به علت اندازه بزرگ و حرکت آرام فضای زیادی از محوطه ذخیره کانتینرها را اشغال می‌کنند که این مشکل در مورد فعالیتهایی که دارای زمان طولانی هستند، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. به عبارت دیگر این موضوع باعث ایجاد گلوگاه در بعضی از بلوکها و تاخیر در سایر عملیات ترمینال می‌شود. همچنین حرکت بلوک به بلوک ناکارآ باعث کاهش کارآیی جرثقیل محوطه می‌شود.

مدل ارائه شده در این مقاله سعی می‌کند بر عدم توازن بار کاری در میان بلوکها، زمانی که نیاز به جابجایی جرثقیلها در بین بلوکهاست، غلبه کند که این تلاش در جهت افزایش مطلوبیت جرثقیلهای محوطه است. به عبارت دیگر جرثقیلها با توجه به حجم کاری موجود در بلوکها، در بین آنها (بلوکها) جابجا می‌شوند. در بیشتر ترمینالهای کانتینری، زمان‌بندی جرثقیل محوطه توسط سرپرستان بندر و بر مبنای تجربه انجام می‌شود و کارکنان، جرثقیلهای محوطه بیکار را برای کاهش تراکم کاری به بلوکهای مورد نیاز می‌فرستند .[He et al., 2010]

بنابراین، برای غلبه بر این مشکل در ترمینالها، مساله زمان‌بندی جرثقیل محوطه در ادامه به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) فرموله می‌شود. مدل پیشنهاد شده بر اساس مدل لجاتو و همکاران در سال ۲۰۰۹ است.

برای توسعه مدل لجاتو و همکاران، موارد زیر در مدل پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته است:

۱. تابع هدف بر مبنای زمان است. در مدل لجاتو تابع هدف برمبنای هزینه است. از آنجا که تخمین هزینه‌ها نسبت به تخمین زمان در یک ترمینال کانتینری پیچیده‌تر است، بنابراین تابع هدف



شکل ۳. نمایش حرکت جرثقیل محوطه [He et al, 2010]

www.SID.ir

Archive of SID

بر مبنای زمان محاسبه شده است. بنابراین مدل پیشنهادی توالی جابجایی جرثقیلهای محوطه را با توجه به کمینه کردن مدت زمان جابجایی جرثقیلها و مدت زمان مورد نیاز برای انجام کارهای ناتمام، ارائه می کند.

۲. در مدل پیشنهادی حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در تابع هدف، محاسبه و کمینه می‌شود که این معیار در مدل لجاتو مورد توجه قرار نگرفته است.

۳. در مدل توسعه یافته نسبت به مدل پایه، دوره‌های زمانی متفاوت در نظر گرفته شده است. بنابراین دوره‌های زمانی برای یک روز کاری به شش دوره زمانی چهار ساعته تقسیم شده و به صورت زیر است:۰۰:۰۰-۰٤:۰۰، ۰٤:۰۰-۰۸:۰۰، ۰۸:۰۰-۱۲:۰۰، ۱۲:۰۰-۱٦:۰۰، ۱٦:۰۰-۲۰:۰۰، ۲۰:۰۰-۲٤:۰۰. هر روز بعد از ظهر حجم کاری پیش‌بینی شده بلوکها برای روز بعد محاسبه می‌شود. سپس برنامه عملیات جرثقیلهای محوطه برای شش دوره زمانی برنامه‌ریزی می‌شود.

۳-۲ فرضیات

- ظرفیت جرثقیلها بر مبنای دقیقه اندازه‌گیری می‌شود و ظرفیت در دسترس برای همه جرثقیلها در یک دوره زمانی چهار ساعته برابر با ۲٤۰ دقیقه است. در حالت مشابه حجم کاری موجود در هر بلوک، کمبود ظرفیت جرثقیلها و ظرفیت اضافی آنها بر مبنای دقیقه پیش‌بینی و محاسبه می‌شوند.

- به دلیل ایجاد تداخل در بین جرثقیلها و محدودیت اندازه بلوکها، بیش از دو جرثقیل به طور همزمان نمی‌توانند در یک بلوک خدمت رسانی کنند.

- در پایان هر دوره کاری، حجم کار باقی‌مانده به دوره بعدی انتقال می‌یابد. بنابراین در هر دوره حجم کاری یک بلوک به‌صورت حاصل جمع حجم کاری موجود در همان دوره و حجم کاری انتقال یافته از دوره قبل محاسبه می‌شود.

در مدل پیشنهادی، جفت بلوکهایی که جرثقیل محوطه می‌تواند بین آنها جابجا شوند، تعیین می‌شود. هدف از این مدل کمینه کردن کل مدت زمان جابجایی جرثقیلها و حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها است.

۳-۳ پارامترهای ورودی

i: اندیس بلوک دارای ظرفیت اضافی جرثقیل ؛

j: اندیس بلوک دارای کمبود ظرفیت جرثقیل ؛

t: اندیس دوره زمانی جابجایی جرثقیلها بین بلوکها؛

M: تعداد بلوکها دارای ظرفیت اضافی جرثقیل؛

N: تعداد بلوکها دارای کمبود ظرفیت جرثقیل؛

k: ماکزیمم تعداد جرثقیلها به طور همزمان در یک بلوک؛

C: کل مدت زمان در دسترس برای جرثقیل در یک دوره؛

a_{it}: مقدار جرثقیل اضافی در بلوک i در دوره t؛

b_{jt}: مقدار جرثقیل مورد نیاز در بلوک j در دوره t؛

t_{ij}: مدت زمان مورد نیاز برای حرکت جرثقیل از بلوک i به بلوک j؛

۳-٤ متغیرهای تصمیم

X_{ijt}: برابر یک است اگر جرثقیل در دوره t از بلوک i به بلوک j برود و در غیر این صورت صفر است.

W_{jt}: حجم کاری باقی مانده در بلوک j در دوره t ؛

۳-۵ مدل ریاضی

در حقیقت تابع هدف مدل ریاضی زیر به دنبال کمینه کردن مدت زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها و حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در دوره‌های زمانی مختلف است. برای محاسبه پارامترهای ورودی a_{it} و b_{jt} ، همان‌طور که گفته شد هر روز بعد از ظهر حجم کاری پیش‌بینی شده بلوکها برای روز بعد محاسبه می‌شود و تعداد جرثقیلهای مورد نیاز برای هر بلوک با توجه به ظرفیت هر جرثقیل که در هر دوره ۲٤۰ دقیقه است محاسبه می‌شود. در صورتی که جرثقیلی در هر دوره کمتر از ۲٤۰ دقیقه کار داشته باشد، مقدار مازاد با استفاده از مدل پیشنهادی به بلوکهای دیگر که دارای کمبود ظرفیت جرثقیل هستند، تخصیص داده می‌شود. مقدار کمبود جرثقیل برای هر بلوک نیز با توجه به حجم کاری بلوک مورد نظر و بیشینه ظرفیت جرثقیل در آن دوره که ۲٤۰ دقیقه است، تعیین می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\min \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} t_{ij} \times X_{ijt} + \sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} W_{jt} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{M} a_{it} \times X_{ijt} \geq b_{jt} \quad j = 1,..., N \quad t = 1,..., T \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{M} X_{ijt} \leq k \qquad j = 1,..., N \quad t = 1,..., T \qquad (۳)$$

$$W_{j(t-1)} + b_{jt} - \sum_{i=1}^{M} a_{it} \times X_{ijt} - W_{jt} = 0 \qquad (٤)$$
$$j = 1,..., N \quad t = 1,..., T$$

$$a_{it} \leq C - t_{ij} \times X_{ijt} \qquad (٥)$$
$$j = 1,..., N \quad i = 1,..., M \quad t = 1,..., T$$

$$X_{ijt} \in \{0,1\} \qquad (٦)$$

$$W_{jt} \geq 0 \qquad (٧)$$

محدودیت ۲ تضمین می‌کند که ظرفیت جرثقیلی که از بلوک i به بلوک j در دوره t می‌رود، باید ظرفیت مورد نیاز بلوک j در دوره t را ارضا کند. محدودیت ۳ تضمین می‌کند که تعداد جرثقیلهایی که به طور همزمان در بلوک j در دوره t هستند نمی‌توانند از مقدار k تجاوز کنند. محدودیت ٤ تعادل بین حجم کاری که باید انجام شود ($W_{i(t-1)}+b_{jt}$) و حجم کاری که می‌تواند انجام شود ($\sum_{i=1}^{M} a_{it} \times X_{ijt}$) را به وسیله حجم کاری باقی‌مانده (W_{jt}) در هر دوره زمانی ایجاد می‌کند. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که مقدار اضافه ظرفیت جرثقیل در بلوک i در دوره t از ظرفیت خالص کل یک جرثقیل نمی‌تواند تجاوز کند. محدودیتهای ٦ و ۷، محدودیتهای صحیح و غیرمنفی هستند.

٤. نتایج محاسبات

در این بخش برای به دست آوردن جواب بهینه دقیق از نرم‌افزار لینگو و روش شاخه و کران استفاده شده است. صحت عملکرد مدل پیشنهادی و نرم‌افزار بکار گرفته شده با حل مساله نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی مدل حاضر یک مساله با ۱۳ بلوک در نظر گرفته شده است که ۵ عدد از این بلوکها دارای ظرفیت اضافی جرثقیل و ۸ عدد از آنها دارای کمبود جرثقیل مورد نیاز هستند. مقادیر اضافه ظرفیت جرثقیلها (a_{it}) در بلوکها با استفاده از تابع توزیع یکنواخت (۸۰،۱۰) و مقادیر کمبود ظرفیت جرثقیلها (b_{jt}) در بلوکها از طریق تابع توزیع یکنواخت (۱۰،٦۰) به دست می‌آید. همچنین مقادیر t_{ij} با استفاده از تابع توزیع یکنواخت (٤۰،۱۰۰) تعیین می‌شود. تعداد کل دوره‌های زمانی ٦ است. بنابراین کل زمان در دسترس برای یک جرثقیل در یک دوره زمانی ۲٤۰ دقیقه می‌شود. در این مثال عددی مقدار k یا بیشینه تعداد جرثقیلهایی که به طور هم‌زمان می‌توانند در یک بلوک قرار بگیرند، برابر ۲ است. نتایج نرم‌افزار لینگو از حل مدل پیشنهادی برای کمینه کردن مجموع زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها و حجم کاری باقی مانده در پایان دوره‌های زمانی در بلوکها، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. نتایج کلی مربوط به حل مدل پیشنهادی

کلاس مدل	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MIP)
روش حل	الگوریتم شاخه و کران
تعداد متغیرهای تصمیم	۲۸۸
تعداد تکرار	۹۰
زمان حل مدل	۵ ثانیه
مقدار تابع هدف	٤۸۹۱
مجموع مدت زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها	۳۱۰۳
مجموع حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها	۱۷۸۸

مقدار تابع هدفی که از حل مساله نمونه به دست آمده، برابر ٤۸۹۱ است که مجموع مدت زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها برابر با ۳۱۰۳ و مجموع حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در دوره‌های زمانی مختلف، ۱۷۸۸ است. چنان که مشخص است بیشترین سهم مقدار تابع هدف مربوط به جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها است که به علت حرکت کند و اندازه بزرگ جرثقیلهای محوطه است.

www.SID.ir

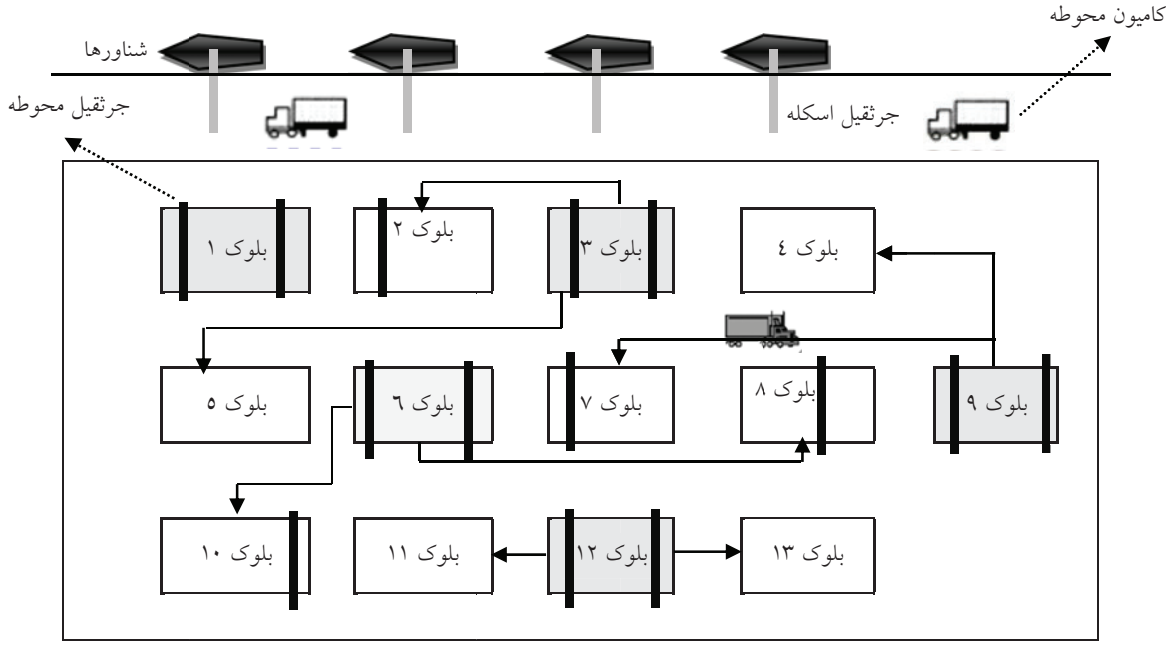
Archive of SID

همچنین نتایج حاصل از حل این مدل نشان می‌دهد که جرثقیلها در هر دوره چگونه بین بلوکها جابجا شوند.

شکل ٤ نمای کلی یک ترمینال کانتینری را نشان می‌دهد که چگونگی جابجایی جرثقیلها در دوره ١ در این شکل نمایش داده شده است. در این شکل بلوکهایی که دارای اضافه ظرفیت جرثقیل هستند به رنگ خاکستری و بلوکهایی که دارای کمبود ظرفیت جرثقیل هستند به رنگ سفید نمایش داده شده‌اند. همان طور که مشخص است جرثقیلها از بلوکهایی با ظرفیت اضافه به سمت بلوکهایی که دارای کمبود ظرفیت جرثقیل هستند جابجا می‌شوند به طوری که بیش از ٢ جرثقیل محوطه در یک زمان در یک بلوک قرار نمی‌گیرد. در این مساله نمونه در دوره ١، جرثقیلها از بلوک ١ که دارای ظرفیت اضافه است، به سمت بلوکهای ٤ و ١٠ که دارای کمبود ظرفیت هستند، جابجا می‌شوند. این جابجاییها با فلشهایی در شکل ٤ نمایش داده شده است. نمودار حرکت جرثقیلها را می‌توان برای دوره‌های دیگر رسم کرد و چگونگی جابجایی جرثقیلها را نمایش داد.

مقدار حجم کاری باقی‌مانده در بلوکهای با کمبود ظرفیت در دوره‌های ابتدایی بیشتر از دوره‌های انتهایی است. به عبارت دیگر مقدار کمبود ظرفیت جرثقیل در تمامی بلوکها با افزایش دوره زمانی رو به کاهش است و در نهایت در دوره ٦، مقدار ظرفیت مورد نیاز جرثقیل به صفر رسیده است. این روند کاهشی را می‌توان در نمودار ١ برای تمامی بلوکها در دوره‌های مختلف با هم مقایسه کرد.

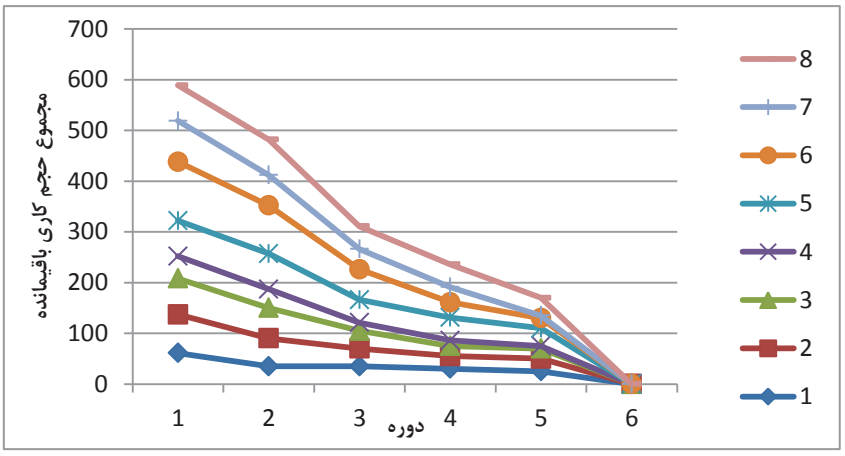
در ادامه مجموع حجم کاری باقی‌مانده در مسائل مختلف و در دوره‌های زمانی مختلف مقایسه شده است. به عبارت دیگر مدل حاضر جابجایی جرثقیلها را به‌گونه‌ای انجام می‌دهد که اولاً در هر دوره، هر بلوک که دارای کمبود ظرفیت است کمترین حجم کاری باقی‌مانده را داشته باشد. ثانیاً تمامی کمبود ظرفیتها به طور کامل پوشش داده می‌شود. نمودار ٢ مجموع حجم کاری باقی‌مانده برای چهار مساله نمونه m x n را در شش دوره زمانی نشان می‌دهد. در این مسائل، n تعداد بلوکهای دارای کمبود ظرفیت جرثقیل و m تعداد بلوکهای دارای ظرفیت اضافی جرثقیل هستند. چنان که مشخص است این نمودارها دارای روند نزولی است و در پایان دوره ششم حجم کاری باقی مانده در هر مساله برابر با صفر است. به عبارت دیگر از آنجا که کل حجم کاری ناتمام در دوره ششم مقدار صفر را دارد، جرثقیلهای محوطه به بلوکها به صورت بهینه تخصیص یافته است.



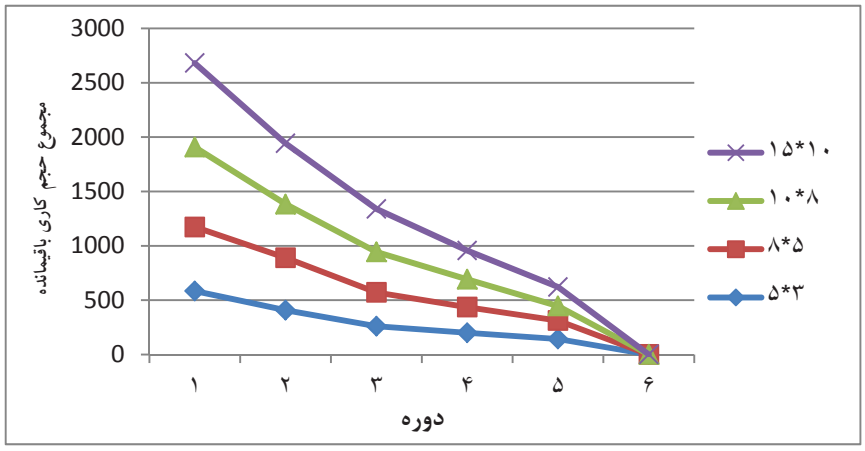
شکل٤. جابجایی جرثقیلها در دوره ١

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱. مقدار حجم کاری باقی‌مانده در بلوک‌های با کمبود ظرفیت در هر دوره زمانی در مساله نمونه



نمودار ۲. مقدار مجموع حجم کاری باقی‌مانده برای مسائل مختلف در هر دوره زمانی

۵. نتیجه‌گیری

– این مقاله بر روی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی جرثقیلهای محوطه متمرکز شده است. در این مقاله مساله زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه در ترمینالهای کانتینری به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) فرموله شده است و برای نشان دادن کارآیی مدل توسعه داده شده، از یک مساله نمونه بهره جستیم. در این مدل تابع هدف بر مبنای زمان است وهدف نهایی دستیابی به حداقل زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها و حداقل حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در دوره‌های زمانی مختلف است. همچنین دوره‌های زمانی متعدد در این مساله در نظر گرفته شده است.

به طور کلی موارد زیر از نتایج مطالعه حاضر قابل برداشت است که لزوم بکارگیری آنها و توضیحات لازم در ادامه ارائه شده است:

– با توجه به نتایج به دست آمده، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای حل مساله زمان‌بندی جرثقیلهای محوطه در ترمینالهای کانتینری قابل استفاده بوده و کارآیی خوبی دارد. همچنین روش شاخه و کران و نرم‌افزار لینگو، ابزار مناسبی برای حل مساله مذکور است.

– مدل حاضر جفت بلوکهایی را که جرثقیلهای محوطه بین آنها جابجا می‌شوند، به گونه‌ای تعیین می‌کند که مقدار ظرفیت جرثقیل مورد نیاز را ارضا کند و همچنین حداقل مدت زمان جابجایی جرثقیلها در بین بلوکها و حداقل حجم کاری باقی‌مانده در بلوکها در دوره‌های زمانی مختلف به دست آید.

– مدل ارائه شده مقدار کمبود ظرفیت در بلوکهایی با کمبود

www.SID.ir

Archive of SID

ظرفیت جرثقیل را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که در مساله نمونه نشان داده شده است، با افزایش دوره‌های زمانی در هر بلوک، مقدار کمبود ظرفیت کاهش می‌یابد تا این که در آخرین دوره به مقدار صفر می‌رسد.

– همچنین یکی دیگر از نتایج حل مساله نمونه تعیین توالی جابجایی جرثقیلها در بین بلوکهایی با ظرفیت اضافی و بلوکهایی با کمبود ظرفیت در هر دوره زمانی است.

شایان ذکر است که این مساله را می‌توان به گونه‌ای توسعه داد که راندمان کاری جرثقیلهای محوطه را نیز در نظر بگیرد. در این خصوص، به پژوهشگران برنامه‌ریزی حمل و نقل دریایی، انجام تحقیقات مرتبط پیشنهاد می‌شود.

٦. پی نوشتها

1- United Nation Conference on Trade and Development
2- Yard Crane
3- Rail Mounted Gantry Crane (RMGC)
4- Rubber Tyred Gantry crane (RTGC)
5- Block
6- Stack
7- Lane
8- Tier
9- Kim and Kim
10- Zhang
11- Lagrangean relaxation
12- Linn
13- Jung
14- Lee
15- Legato
16- Huang, Liang, Yang
17- Zone

٧. مراجع

- Amin, G. R. and Golchubian, H. (2009) "The optimal number of yard cranes in container terminal", Journal of Industrial Engineering International, Vol. 5, No. 8, pp.71-76.

- Javanshir, H. and Seyedalizadeh-Ganji, S. R. (2010) "Yard crane scheduling in port container terminals using genetic algorithm", Journal of Industrial Engineering International, Volume 6, Number 11.

- He, J., Chang, D., Mi, W. and Yan, W. (2010) "A hybrid parallel genetic algorithm for yard crane scheduling", Transportation Research Part E 46, pp. 136–155.

- Huang, Y., Liang, C. and Yang, Y.(2009) "The optimum route problem by genetic algorithm for loading/unloading of yard crane", Computers & Industrial Engineering, 56, pp. 993–1001.

- Kim, K., Lee, K. and Hwang, H. (2003) "Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals", Int. J. Production Economics 84, pp. 283–292.

- Lee, Y. and Lee, Y. J. (2010) "A heuristic for retrieving containers from a yard", Computers & Operations Research, 37, pp.1139–1147.

- Legato, P., Canonaco, P. and Mazza, R. (2009) "Yard crane management by simulation and optimization", Maritime Economics & Logistics, Vol. 11, pp. 36–57.

- Lee, D. H., Cao, Z. and Meng, Q. (2007) "Scheduling of two-transtainer systems for loading outbound containers in port container terminals with simulated annealing algorithm", Int. J. Production Economics, 107, pp.115–124.

- Lee, B. and Kim, K. (2009) "Comparing operation cycle times of container yard cranes under various sequencing rules", International Journal of Management Science, No 2, Vol. 15.

- Linn, R., Liu, J. Y., Wan, Y.W., Zhang, C., G. and Murty, K. (2003) "Rubber tired gantry crane deployment for container yard operation", Computers & Industrial Engineering, 45, pp. 429–442.

- Ng, W.C. (2005) "Crane scheduling in container yards with inter crane interferences", European Journal of Operational Research 164, pp.64–78.

- Ng, W. C. and Mak, K. L. (2005) "Yard crane scheduling in port container terminals", Applied Mathematical Modeling,29 , pp. 263–276.

www.SID.ir

Archive of SID

- Park, T., Choe, R., Ok, M. and Ryu, K. (2010) "Real-time scheduling for twin RMGs in an automated container yard", OR Spectrum,32 , pp.593–615.

- Seyedalizadeh Ganji, S. R., Babazadeh, A. and Arabshahi, V. (2010) "Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using genetic algorithm", Journal of Marine Science and Technology, Vol. 15, No. 4, pp. 408-416.

- Seyedalizadeh Ganji, S. R., Javanshir, H. and Vaseghi, F. (2009) "Nonlinear mathematical programming for optimal management of container terminals", International Journal of Modern Physics B, 23 (27), pp. 5333.

- Zhang, C., Liu, J., Wan Y., Liu, J. and Linn, R. J. (2002) "Dynamic crane deployment in container storage yards", Transportation Research Part B 36 (6), pp.537–555.

www.SID.ir