

## کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

عبدالرضا شیخ‌الاسلامی کندلوس<sup>۱</sup>، غلامرضا ایلاتی سراملو<sup>۲</sup>، محمد کباری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران [Sheikh@iust.ac.ir](mailto:Sheikh@iust.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانشجوی دکتری مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران [Hati@iust.ac.ir](mailto:Hati@iust.ac.ir)

<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران [Mohammad.kobari@gmail.com](mailto: Mohammad.kobari@gmail.com)

### چکیده

عملیات تخلیه و بارگیری شناورها و عملیات هندلینگ و نگهداری تعلیقی کانتینرها در محوطه انبار، دو رکن اساسی از کلیت عملیات بندری در پایانه‌های کانتینری دریایی را شکل می‌دهند. اقتضانات برنامه‌ریزی در این پایانه‌ها به قدری گسترده و پیچیده است که نمی‌توان انتظار داشت در یک رویکرد بهینه‌سازی، از سویی تمامی شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایانه به حداکثر میزان خود برسند و از سوی دیگر، همگی محدودیت‌های محیط واقعی به درستی لحاظ گردند. طرح مسائل بهینه‌سازی با توابع هدفی نظیر حداقل کردن زمان بازگشت کشتی، حداکثر کردن نرخ بهره‌برداری تجهیزات و امکانات پایانه (برای مثال جرثقیل‌های دروازه‌ای، جرثقیل‌های موقعیت‌های چینش و فضای انبارش)، حداقل کردن تعداد جابجایی‌های زائد و غیر بهره‌ور کانتینرها در محوطه انبار و در اسکله، و حداقل کردن ناسازگاری تجهیزات ساکن و متحرک، نمونه‌هایی از این رویکردهای متفاوت می‌باشند. در لحاظ کردن محدودیت‌ها نیز تفاوت فراوانی میان انواع مدل‌های پیشنهادی به چشم می‌خورد. در این مقاله ما به مرور کلی مسائل عملکردی موجود در تصمیم‌گیری‌های اجرایی پایانه‌های کانتینری دریایی، در دو فاز عملیات شناور و عملیات محوطه انبار می‌پردازیم. رویکردهای مختلف در طرح این مسائل بررسی شده و فهرستی از آثار منتشر شده پیرامون این مباحث ارائه می‌گردد.

**کلیدواژه:** پایانه کانتینری، تخصیص پهلوگاه، انبارش، لجستیک، بهینه‌سازی

## ۱. مقدمه

نیاز به بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات در امور پایانه کانتینری، در سال‌های اخیر اهمیت روز افزونی یافته است. این امر ناشی از این حقیقت است که لجستیک، به ویژه در پایانه‌های بزرگ کانتینری، هم‌اکنون به درجه‌ای از پیچیدگی رسیده است که بهبود بیشتر آن مستلزم روش‌های علمی است. تقابل روش‌های هم‌زمان لجستیکی و بهینه‌سازی، دیگر به تنهایی توسط کارشناسان عملیاتی قابل قضاوت نیست. اعمال روش‌های دقیق علمی برای پشتیبانی از تصمیمات ضروری است. راهکارهای لجستیکی<sup>۱</sup> مختلف، قواعد تصمیم‌گیری<sup>۲</sup> و الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌بایست پیش از پیاده‌سازی بر روی سیستم‌های واقعی، با شبیه‌سازی مقایسه گردند.

خصوصیات عملیات پایانه کانتینری به گونه‌ای است که نیازمند تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی آن‌لاین (در زمان واقعی<sup>۳</sup>) است. این حقیقت از اینجا ناشی می‌شود که اغلب فرآیندهایی که در پایانه‌های کانتینری انجام می‌شوند، برای یک بازه زمانی بزرگ‌تر قابل پیش‌بینی نیستند - به طور کلی افق برنامه‌ریزی<sup>۴</sup> برای بهینه‌سازی بسیار کوتاه است. این نکته را باید با چند مثال تبیین نمود: اگرچه داده‌های کانتینرهایی که توسط کسنددها به پایانه تحویل داده می‌شوند، ممکن است با اِدی<sup>۵</sup> (EDI) پیش‌اطلاع‌رسانی شوند، اما زمان دقیق رسیدن کانتینرها به پایانه شناخته شده نیست. هنگام رسیدن می‌بایست کانتینرها از لحاظ آسیب‌دیدگی چک شوند، و داده‌های پیش‌اطلاع‌رسانی شده نیز ممکن است اشتباه باشند؛ هر دو مسأله بر روی موقعیت چینش هدف تأثیرگذار هستند. نظر به اینکه کسنددها باید برای برداشتن کانتینر توسط استرادال کریرها یا جرثقیل‌ها به نقاط انتقال<sup>۶</sup> بروند، ترتیب کسنددها در دروازه و نقاط انتقال، لزوماً یکسان نخواهد بود. بنابراین تنها آن بخش از کارهای کانتینری را می‌توان ترتیب‌دهی نمود که پیشتر، تجهیزات داخلی پایانه برای انجام آنها آزاد شده‌اند - که در حالت کلی تنها بخش کوچکی از کارها این چنین هستند. از آنجا که روند رسیدن کسنددها همواره ادامه خواهد داشت، بازمحاسبه را باید به صورت دوره‌ای در فواصل معین یا هنگام وقوع اتفاقات انجام داد. مشابه همین استدلال برای عملیات قطار نیز صادق است.

وضعیت مشابهی حین تخلیه و بارگیری کشتی‌ها وجود دارد. اگرچه عموماً داده‌های کانتینرها و موقعیت آنها در کشتی، پیشاپیش به دقت شناخته شده است و فرآیند پیش‌برنامه‌ریزی<sup>۷</sup> امکان محاسبه توالی کارها را فراهم می‌کند، اما باز هم اغلب به دلیل اختلالات عملیاتی نیاز به تغییر وجود دارد. از آنجا که شناورها ساکن نیستند و دائماً نوسان دارند (به دلایلی نظیر جذر و مد، شرایط آب و هوایی، و تعادل کشتی)، کانتینرهایی که در توالی

---

<sup>۱</sup> Logistic Concepts

<sup>۲</sup> Decision Rules

<sup>۳</sup> Real-Time

<sup>۴</sup> Planning Horizon

<sup>۵</sup> Electronic Data Interchange (EDI)

<sup>۶</sup> Transition Points

<sup>۷</sup> Preplanning Process

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

بعدی قرار دارند در دسترس گسترش‌گر<sup>۱</sup> جرثقیل نیستند. رانندگان جرثقیل تصمیم خود را می‌گیرند و ممکن است ترتیب پیش‌محاسبه‌شده‌ی تخلیه و بارگیری را شخصاً تغییر دهند. با توجه به جمع این مسائل، در ادامه بر روی آن مواردی از فرآیندهای برنامه‌ریزی پایانه‌های کانتینری دریایی، که به کمک روش‌های تحقیق در عملیات بهینه می‌گردند، مروری کلی خواهیم داشت. تحقیقات صورت گرفته پیرامون عملیات جانب اسکله و عملیات انبارش و چینش کانتینرها در محوطه انبار، به صورت طبقه‌بندی شده تشریح و ارائه می‌گردند.

## ۲. فرآیند برنامه‌ریزی کشتی

برنامه‌ریزی کشتی<sup>۲</sup> شامل سه زیرفرآیند است: برنامه‌ریزی پهلوگاه<sup>۳</sup>، برنامه‌ریزی انباشت<sup>۴</sup> و تفکیک جرثقیل<sup>۵</sup>.

### ۲-۱. تخصیص پهلوگاه

قبل از رسیدن یک کشتی، باید پهلوگاهی را به آن کشتی تخصیص داد. برنامه‌ریزی زمانی شناورهای بزرگ خارجی، از حدود یک سال پیشتر شناخته شده است. آنها به وسیله ادی از خطوط کشتیرانی به اپراتور پایانه انتقال می‌یابند. تخصیص پهلوگاه<sup>۶</sup>، به طور ایده‌آل پیش از رسیدن نخستین کانتینرهایی که به یک کشتی اختصاص می‌یابند، آغاز می‌گردد - یعنی تقریباً ۲ تا ۳ هفته پیش از رسیدن کشتی. در کنار داده‌های فنی کشتی‌ها و جرثقیل‌های اسکله - هر جرثقیل اسکله‌ای نمی‌تواند بر روی هر کشتی‌ای کار کند - سایر معیارها مانند طول کشتی و طول بازوی متحرک جرثقیل<sup>۷</sup> نیز باید لحاظ گردند. باید همه کشتی‌هایی که در طول دوره زمانی مربوطه قصد لنگر انداختن دارند، در سیستم‌های تخصیص پهلوگاه بازتاب یابند. اهداف متعددی برای بهینه‌سازی تخصیص پهلوگاه وجود دارد. از یک نقطه نظر کاربردی، مجموع کل فواصل ساحل تا محوطه انبار برای همه کانتینرهایی که تخلیه و بارگیری می‌شوند، باید به حداقل برسد. این امر باید با حداکثر بهره‌وری عملیات کشتی انطباق داده شود. تخصیص اتوماتیک و بهینه‌ی پهلوگاه، به ویژه در مورد تأخیرهای کشتی اهمیت دارد، زیرا در حالی که کانتینرها در آن زمان در محوطه انبار چینش یافته‌اند، باید یک موقعیت پهلوگیری جدید به کشتی تخصیص یابد.

### ۲-۲. بررسی نوشتجات پیرامون تخصیص پهلوگاه

<sup>۱</sup> Spreader

<sup>۲</sup> Ship Planning

<sup>۳</sup> Berth Planning

<sup>۴</sup> Stowage Planning

<sup>۵</sup> Crane Split

<sup>۶</sup> Berth Allocation

<sup>۷</sup> Crane Jib

مسائل برنامه‌ریزی پهلوگاه را می‌توان برحسب اهداف و محدودیت‌های ویژه‌ای که باید لحاظ گردد، به صورت مسائل مختلف بهینه‌سازی ترکیبی فرموله نمود. به عنوان مثال می‌توان به امکان مدل کردن برنامه‌ریزی پهلوگاه به کمک مسأله برنامه‌ریزی زمانی پروژه دارای محدودیت منابع<sup>۱</sup> اشاره کرد. محدودیت‌ها ممکن است به تجهیزات ویژه‌ای که برای عملیات مشخصی مورد نیاز هستند، اشاره داشته باشد، در شرایط موجود برای مثال می‌توان به مورد آماده نبودن تجهیزات ناشی از شرایط نگهداری یا مورد کشتی‌های رورو<sup>۲</sup>، که در آنها تریلرهای تراکتوری<sup>۳</sup> نیز به رانندگی تا درون کشتی دارند، اشاره کرد (یک کشتی رورو کشتی‌ای است که به روش مستقیم بارگیری می‌شود، یعنی وسایل نقلیه ترابری می‌توانند از طریق یک سطح شیب‌دار در پاشنه کشتی وارد آن شوند). ارتباط برنامه‌ریزی پهلوگاه به مسائل تخصیص و به ویژه به مسأله نیمه-تخصیص درجه دوم<sup>۴</sup> در [۱] مورد تأکید قرار گرفته است. با توجه به اتکاء متقابل گسترده، برنامه‌ریزی پهلوگاه و محوطه انبار در موارد بسیاری در یک مدل بهینه‌سازی مشترک مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند [۲، ۳، ۴].

لی و دیگران<sup>۵</sup> [۵] مسأله کلی‌تر «برنامه‌ریزی زمانی با الگوی چندین وظیفه بر روی یک پردازنده»<sup>۶</sup> با هدف به حداقل رساندن بازه‌بندی<sup>۷</sup> برنامه‌ریزی زمانی را به بحث گذاشتند. در حالی که شناورها نماد وظایف هستند، یک پردازنده را می‌توان یک پهلوگاه تفسیر نمود. آزمایشات محاسباتی، کارآمدی یک روش ابتکاری با نتایج نزدیک به بهینه را نشان می‌دهند.

لیم<sup>۸</sup> [۶] مسأله را به صورت شکل محدود شده‌ای از مسأله بسته‌بندی دو بعدی<sup>۹</sup> بازفرموله کرد و یک نمایش تئوریک گراف<sup>۱۰</sup> را ارائه نمود. جهت بازفرموله کردن، نشان داده شد که این مسأله خاص برنامه‌ریزی پهلوگاه، NP-Complete است. یک الگوریتم ابتکاری کارآمد برای حل مسأله - اعمال شده بر روی داده‌های آزمایشات پیشینی - پیشنهاد گردید.

لگاتو و ماتزا<sup>۱۱</sup> [۷] یک مدل شبکه صف‌بندی<sup>۱۲</sup> و یک آزمایش شبیه‌سازی فرآیندهای لجستیکی (رسیدن، پهلوگیری و رهسپار شدن شناورها) در پایانه کانتینری را ارائه نمودند.

نیشیمورا و دیگران<sup>۱۳</sup> [۸] بر روی مسأله تخصیص دینامیکی پهلوگاه<sup>۱</sup> به کشتی‌ها در سیستم عمومی پهلوگاه تمرکز کردند (نه تنها بر روی بنادر کانتینری؛ آنها به طور کلی بر روی این نوع سیستم‌ها تأکید داشتند، و

<sup>۱</sup> Resource Constrained Project Scheduling Problem

<sup>۲</sup> Roll-On Roll-Off Ship (RoRo-Ship)

<sup>۳</sup> Tractor Trailers

<sup>۴</sup> Quadratic Semi-Assignment Problem

<sup>۵</sup> Li et al.

<sup>۶</sup> Scheduling with Multiple-Job-On-One-Processor

<sup>۷</sup> Makespan

<sup>۸</sup> Lim

<sup>۹</sup> Two-Dimensional Packing Problem

<sup>۱۰</sup> Graph Theoretical Representation

<sup>۱۱</sup> Legato and Mazza

<sup>۱۲</sup> Queuing Network Model

<sup>۱۳</sup> Nishimura et al.

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

بنابراین نتایج به دست آمده ممکن است برای اغلب بنادر عمده کانتینری در کشورهای بزرگ مناسب نباشند). فرآیندی ابتکاری و قابل انطباق با برنامه‌های کاربردی رایج، بر مبنای الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> (GA) توسعه یافت. مشابه [۸]، آیمی و دیگران<sup>۳</sup> [۹] مطالعاتی پیرامون تخصیص پهلوگاه و بهینه‌سازی بهره‌برداری پهلوگاه با استفاده از فرآیندی ابتکاری، که بر مبنای فرمولاسیون برنامه‌ریزی مختلط – عدد صحیح<sup>۴</sup> (MIP) در نسخه‌های استاتیکی و دینامیکی مسأله تخصیص و رهاسازی لاگرانژین<sup>۵</sup> آن قرار داشت، انجام دادند. همین نویسندگان، یک فرآیند ابتکاری بر مبنای GA را جهت حل مسأله غیرخطی تخصیص پهلوگاه برای شناورهای با اولویت خدمت<sup>۶</sup> متفاوت توسعه دادند [۱۰]. آیمی و دیگران [۱۱] تخصیص پهلوگاه را به مسائل برنامه‌ریزی زمانی ماشین‌ها مرتبط کرده و یک مسأله بهینه‌سازی غیرخطی دوهدفه را که زمان انتظار کشتی و بهره‌برداری پایانه را در نظر می‌گرفت، مطرح نمودند.

بر مبنای [۱۲]، کیم و مون<sup>۷</sup> [۱۳] یک مدل MIP را جهت تعیین زمان‌های پهلوگیری و موقعیت‌های شناورها در بنادر کانتینری با پهلوگاه‌های به شکل خط مستقیم، فرموله کردند. آنها یک الگوریتم سرد و گرم کردن شبیه‌سازی شده<sup>۸</sup> (SA) را توسعه داده و نتایج نزدیک به بهینه‌ای را به دست آوردند.

گوان و چئونگ<sup>۹</sup> [۱۴] یک روند درخت جستجو<sup>۱۰</sup> و روش‌های ابتکاری ترکیبی‌ای را برای مسائل با ابعاد بزرگ پیشنهاد داده تا مجموع کلی زمان جریان وزن داده شده را به حداقل برسانند. کارآیی روش با آزمایشات محاسباتی نشان داده شده است.

پارک و کیم [۱۵] یک رویکرد تخصیص پهلوگاه را با ملاحظات ظرفیت جرثقیل‌های اسکله ترکیب نمودند.

مراجع دیگری پیرامون برنامه‌ریزی پهلوگاه، برای مثال عبارتند از [۱۶، ۱۷، ۱۸].

## ۳-۲. برنامه‌ریزی انباشت

برنامه‌ریزی انباشت، هسته مرکزی برنامه‌ریزی کشتی است. برنامه‌ریزی انباشت یک کشتی، فرآیندی دو مرحله‌ای است. گام نخست، توسط خط کشتیرانی اجرا می‌گردد. طرح انباشت<sup>۱۱</sup> خط کشتیرانی باید برای تمامی بنادر مسیر گردش شناور طراحی گردد. موقعیت‌هایی برای همه کانتینرها و تمامی بنادر مسیر گردش باید در کشتی انتخاب شوند. برنامه‌ریزی انباشت یک خط کشتیرانی اغلب با کانتینرهای مشخص و دارای تعداد معلوم

<sup>۱</sup> Dynamic Berth Assignment

<sup>۲</sup> Genetic Algorithm (GA)

<sup>۳</sup> Imai et al.

<sup>۴</sup> Mixed-Integer Programming (MIP)

<sup>۵</sup> Lagrangian Relaxation

<sup>۶</sup> Service Priorities

<sup>۷</sup> Kim and Moon

<sup>۸</sup> Simulated Annealing (SA)

<sup>۹</sup> Guan and Cheung

<sup>۱۰</sup> Tree-Search Procedure

<sup>۱۱</sup> Stowage Plan

سر و کار ندارد، بلکه بر مبنای طبقه‌بندی کانتینرها کار می‌کند. این ارقام با ویژگی‌ها عبارت‌اند از: طول یا نوع یک کانتینر، بندر تخلیه و وزن یا کلاس وزنی کانتینرها. کانتینرهای دارای این ویژگی‌ها، به موقعیت‌های مشخصی درون کشتی تخصیص می‌یابند. هدف بهینه‌سازی از دیدگاه خط کشتیرانی، حداقل کردن شمار انتقال‌های غیر مفید و زائد در خلال عملیات بندری (انتقال‌های کشتی به کشتی یا کشتی به ساحل) و حداکثر کردن بهره‌برداری کشتی است. اغلب محدودیت‌هایی که می‌بایست ارضاء گردند، از تعادل<sup>۱</sup> کشتی ریشه می‌گیرند.

طرح انباشت خط کشتیرانی به وسیله ادی به اپراتورهای پایانه فرستاده می‌شود. دستورالعمل انباشت خط کشتیرانی در سیستم پایانه ضبط و بایگانی گردیده و به عنوان یک دستورالعمل کاری یا طرح اولیه<sup>۲</sup> برای برنامه‌ریز کشتی پایانه به کار می‌رود. دستورالعمل انباشت خط کشتیرانی، با تخصیص کانتینرهایی از مجموعه‌های دارای ویژگی‌های مشخص به اسلات‌های<sup>۳</sup> کشتی توصیف می‌شوند. بر مبنای همین دستورالعمل، برنامه‌ریز پایانه کانتینرهای معین با شمار معلوم را به اسلات‌های مربوطه تخصیص می‌دهد. مجموعه ویژگی‌های اسلات و کانتینر انتخاب شده در محوطه انبار باید با یکدیگر تطابق داده شوند. بنابراین، سیستم‌های برنامه‌ریزی انباشت پایانه کانتینری، هم بخش‌هایی از کشتی که برای آنها برنامه‌ریزی می‌شود و هم موقعیت محوطه انبار را نشان می‌دهند. برخی سیستم‌ها امکان تخصیص اتوماتیک و بهینه‌سازی را فراهم می‌آورند. اهداف متفاوتی از بهینه‌سازی متصور است، برای مثال، حداکثر کردن بهره‌وری جرثقیل، حداقل کردن هزینه، یا به حداقل رساندن بازچینش‌های<sup>۴</sup> محوطه انبار. از یک دیدگاه کاربردی، حداقل کردن بازچینش‌های محوطه انبار نقش مهمی بازی می‌کند. بازچینش هنگامی رخ می‌دهد که برای دسترسی یافتن به یک کانتینر، نخست باید سایر کانتینرهایی که بر روی آن قرار دارند را برداشت. بازچینش کردن زمان‌گیر است و موجب افزایش بی‌دلیل زمان حمل و نقل بین موقعیت‌های چینش و ساحل می‌گردد که بهره‌وری عملیات کشتی را خواهد کاست. از آنجا که طرح انباشت، پیش از آغاز بارگیری کشتی تولید گشته است، این نوع از بهینه‌سازی را بهینه‌سازی آفلاین<sup>۵</sup> (برون خط) می‌نامند.

اگرچه برنامه‌ریزی انباشت در عملیات واقعی پایانه هم به صورت دستی و هم به صورت فرآیند بهینه‌سازی آفلاین وجود دارد، ساختار فرآیند بارگیری کشتی بهینه‌سازی آفلاین را می‌طلبند. این همه به این دلیل است که فرآیند بارگیری و حمل و نقل از موقعیت‌های چینش به ساحل، پیچیده‌تر از آن چیزی است که تاکنون توصیف گشته است. جهت دستیابی به بهره‌وری بالا برای عملیات جرثقیل‌ها، باید کانتینرها در زمان مقرر و نیز مطابق ترتیب بارگیری به اسکله برسند؛ به عبارت دیگر، ترتیب بارگیری و ترتیب حمل و نقل افقی باید بر یکدیگر منطبق بمانند. در غیر این صورت، زمان‌های انتظار جرثقیل و / یا صف‌بندی وسایل نقلیه ترابری رخ

<sup>۱</sup> Stability

<sup>۲</sup> Pre-Plan

<sup>۳</sup> Slots

<sup>۴</sup> Reshuffles

<sup>۵</sup> Offline

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

خواهد داد. هر دوی این عوامل منجر به کاهش بهره‌وری جرثقیل و گسترش زمان پهلوگیری کشتی می‌گردند. به عنوان یک عارضه‌ی معمول، کانتینرها کمابیش در محوطه انبار پراکنده شده‌اند و دارای فواصل متفاوتی از جرثقیل هستند؛ کانتینرهای خاص مانند کانتینرهای دارای وزن بیش از حد نیاز به تجهیزات ویژه‌ای دارند که باید پیش از انتقال آنها نصب گردند، کانتینرهای یخچالی باید از مدار الکتریکی جدا گردند، و بازچینش‌های محوطه انبار همواره درصدی از انتقال‌ها را تشکیل خواهد داد. همه این موارد، زمان حمل و نقل را افزایش می‌دهند. عملکرد سیستم‌های دارای راننده، علاوه بر موارد مذکور، به مهارت راننده و تصمیم‌گیری اینکه از کدام مسیر حرکت کند، نیز بستگی دارد. همچنین اختلالات فنی و عملیاتی در کار جرثقیل نیز پیش می‌آیند که این هم تغییر ترتیب بارگیری را ایجاب خواهد نمود. بنابراین، حتی اگر تجهیزات اتوماتیک به کار گرفته شوند، باز هم زمان‌های حمل و نقل را نمی‌توان به دقت محاسبه نمود. همه دلایل مذکور روی هم رفته نشان می‌دهند که طرح انباشتی که پیشاپیش آماده شده، می‌تواند زیر-بهینه<sup>۱</sup> باشد. برنامه‌ریزی انباشت آن‌لاین راهی برای حذف کردن یا دست کم، کاستن از این مشکلات است. در برنامه‌ریزی انباشت آن‌لاین، یک طرح انباشت که کانتینرهای مشخصی را به موقعیت‌های کشتی تخصیص دهد، دیگر وجود نخواهد داشت. در عوض، کانتینرها با توجه به ویژگی‌هایی که در دستورالعمل انباشت خط کشتیرانی، به موقعیت‌های کشتی تخصیص یافته، برای حمل و نقل انتخاب خواهند شد. کانتینرهای دارای ویژگی‌های یکسان، برابر در نظر گرفته می‌شوند. ازین رو آنها تنها حسب زمان رسیدن‌شان به جرثقیل اسکله، بارگیری می‌گردند. بدین سان، طرح انباشت ویژه‌ای که داده‌های کانتینر مشخصی را به موقعیت‌های معین کشتی آدرس‌دهی می‌کند، هم‌زمان با فعالیت بارگیری، طراحی و تولید خواهد گشت. برنامه‌ریزی انباشت آن‌لاین، هم‌اکنون در پایانه‌های کانتینری به کار نمی‌رود اما یکی از نیازهای آینده جهت ارتقاء عملکرد بارگیری کشتی است.

#### ۴-۲. بررسی نوشتجات پیرامون برنامه‌ریزی انباشت

در عمل، برنامه‌ریزی انباشت معمولاً فرآیند بهینه‌سازی آف‌لاین یا دستی است که سیستم‌های پشتیبانی تصمیم مرتبط را به کار می‌گیرد (برای مثال، [۱۹] را ببینید). اغلب مقالات زیر، کارهای تحقیقی قابل اعمال جهت ارتقاء سیستم‌های موجود از طریق استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مناسب را تشریح می‌نمایند. فرض می‌شود که داده‌های کانتینر موجود است، به عبارت دیگر، ما مسأله کانتینرهای بارگیری شونده را در نظر خواهیم گرفت (برای مثال، [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳] را ببینید).

اسکالی و هوی<sup>۲</sup> [۲۴] آثار توزیع و تعداد انواع مختلف کانتینرها نسبت به یک انباشت کارآمد را در مطالعه‌ای تجربی بررسی نمودند. عملکرد رویکردهای مختلف چینش بر حسب بهره‌برداری حجمی<sup>۳</sup>، نسبت

<sup>۱</sup> Sub-Optimal

<sup>۲</sup> Sculli and Hui

<sup>۳</sup> Volumetric Utilization

هندلینگ‌های غیرمفید<sup>۱</sup>، نسبت کمبود<sup>۲</sup>، و نسبت عدم قبول<sup>۳</sup> اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که تعداد انواع مختلف کانتینرها، بیشترین تأثیر را بر روی این مقادیر می‌گذارد. آثار رویکردهای مختلف چینش و حداکثر ابعاد انبار نیز معنادار و مهم هستند.

آوریل و دیگران<sup>۴</sup> [۲۶، ۲۵] با هدف به حداقل رسانی شمار انتقال‌های غیر بهره‌ور<sup>۵</sup> (تخلیه موقت و بارگیری مجدد کانتینرها، در بندری پیش از بنادر مقصد، جهت دسترسی به کانتینرهای زیرین آنها که می‌بایست تخلیه گردند) بر روی برنامه‌ریزی انباشت متمرکز شدند. جنبه‌های دیگر مسأله مانند تعادل کشتی و سایر محدودیت‌های واقعیت موجود لحاظ نشدند. یک مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) باینری<sup>۶</sup> فرموله گردید. به دلیل اثبات NP-Hardness مسأله، یک روش به اصطلاح ابتکاری تعلیقی<sup>۷</sup> - بر مبنای کارهای قدیمی تر آوریل و پن<sup>۸</sup> [۲۷] - که حتی قادر به حل کردن نمونه‌های بزرگ مسأله نیز باشد، توسعه یافت. این روش ابتکاری، اسلات‌های درون یک دهانه را بر حسب ترتیب بنادر در مسیر شناور، تخصیص دینامیکی می‌دهد.

ویلسون و روچ<sup>۹</sup> [۲۹، ۲۸] فرآیند انباشت کانتینر را، به سبب پیچیدگی طرح انباشت در برخی از بنادر، به دو زیرفرآیند و زیرمسأله مرتبط با آنها در سطوح برنامه‌ریزی استراتژیک و تاکتیکی تقسیم نمودند. آنها برای حل نخستین مسأله تخصیص کلی کانتینرها به بلوکی در یک شناور، از الگوریتم‌های شاخه و کرانه<sup>۱۰</sup> استفاده کردند. در گام دوم، یک طرح دارای جزئیات که موقعیت‌ها یا مکان‌های ویژه‌ای در یک بلوک را به کانتینرهای مشخصی تخصیص می‌دهد، از طریق یک الگوریتم جستجوی مبتنی بر منع<sup>۱۱</sup> به دست می‌آید. نتایج خوبی (نه همواره بهینه) در زمان معقولی حاصل می‌گردد. همین اصول و قواعد توسط ویلسون و دیگران<sup>۱۲</sup> در [۳۰، ۳۱] تشریح گشته‌اند. آنها یک سیستم کامپیوتری جهت تولید راه‌حلهایی برای مسأله (پیش) برنامه‌ریزی انباشت تجزیه شده ارائه نمودند که در یک مطالعه موردی تبیین شده است. نویسندگان یک رویکرد GA را برای تولید اتوماتیک‌وار طرح‌های انباشت استراتژیک معرفی کردند. آزمایشات محاسباتی اولیه، جواب‌های نیمه-بهینه مؤثری را نشان دادند.

حقانی و قیصر<sup>۱۳</sup> [۳۲] یک مدل MIP برای توسعه طرح‌های بارگیری با هدف حداقل کردن زمانی که یک شناور در بندر می‌گذراند، و هزینه هندلینگ کانتینر که به شدت متأثر از شمار انتقال‌های بی‌حاصل اما ضروری

<sup>۱</sup> Wasteful Handling Ratios

<sup>۲</sup> Shortage Ratio

<sup>۳</sup> Rejection Ratio

<sup>۴</sup> Avriel et al.

<sup>۵</sup> Unproductive Shifts

<sup>۶</sup> Binary Linear Programming Model (LP)

<sup>۷</sup> Suspensory Heuristic

<sup>۸</sup> Avriel and Penn

<sup>۹</sup> Wilson and Roach

<sup>۱۰</sup> Branch And Bound Algorithms

<sup>۱۱</sup> Tabu Search Algorithm

<sup>۱۲</sup> Wilson et al.

<sup>۱۳</sup> Haghani and Kaiser

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

ناشی از چیدمان نامطلوب کانتینرها است، پیشنهاد کردند. برنامه‌ریزی زمانی، پارامترهای کشتی مانند مقاومت و تعادل، و فاکتورهایی مثل گشتاور طولی<sup>۱</sup>، تریم<sup>۲</sup> (کج شدن کشتی از سینه یا پاشنه)، و ارتفاع متاسنتریک<sup>۳</sup> منظور گردیدند. روندهای حل مسأله و مثال‌هایی از آزمایشات محاسباتی ارائه شدند.

دابروسکی و دیگران<sup>۴</sup> [۳۳] از GA برای حل مسأله برنامه‌ریزی انباشت و حداقل کردن شمار جابجایی‌های کانتینرها استفاده کردند. فضای جستجو<sup>۵</sup>، به طرز معناداری با یک طرح کدگذاری<sup>۶</sup> متراکم و کارآمد کاهش یافت. معیارهای تعادل کشتی با محدودیت‌های مناسب بازتاب یافتند. ران‌های شبیه‌سازی<sup>۷</sup>، کارآیی و انعطاف‌پذیری رویکرد مبتنی بر GA را ثابت کردند.

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آن‌لاین در برنامه‌ریزی انباشت در [۳۴، ۳۵، ۳۶] دیده شده است. به ویژه در محیط‌های آن‌لاین، مشابه همان مواجهاتی که در عمل رخ می‌دهد، زمان‌های انتظار جرثقیل‌ها مانند تراکم وسایل نقلیه زیر جرثقیل‌ها بایست به حداقل برسد تا از کاهش بهره‌وری اجتناب گردد. وینتر<sup>۸</sup> [۳۵] یک مدل برنامه‌ریزی زمانی «کاملاً سر وقت»<sup>۹</sup> یکپارچه و الگوریتم‌هایی برای برنامه‌ریزی ترکیبی انباشت و حمل و نقل معرفی نمود. در نخستین گام، تفکیک جرثقیل، به ترتیب بر مبنای طرح انباشت شرکت‌های کشتیرانی، و یک ترتیب بارگیری حاصله از موقعیت‌های دهانه و انواع کانتینرها محاسبه می‌گردد. سپس فرآیند کلی بارگیری، از طریق تخصیص انعطاف‌پذیر کانتینرها به استرادل کریرها جهت برآورد کردن معیارهای انباشت و حداقل کردن تعداد موارد تأخیر در رسیدن به جرثقیل‌های اسکله، بهینه‌سازی می‌شود. بنابراین تخصیص، به جای آنکه بر مبنای شمار کانتینرها باشد، بر مبنای ویژگی‌های کانتینرها است. محدودیت‌های اولویت‌بندی و زمان‌های حمل و نقل وابسته به مسافت‌های متفاوت حمل (محوطه انبار – اسکله) نیز لحاظ گردیدند. مدل و الگوریتم‌ها با داده‌های واقعی تست شدند و مطلوبیت آنها برای برنامه‌ریزی در زمان واقعی با مشکلات خاص آن نظیر تأخیرات کانتینرها یا اطلاعات ناقص مشخص گردید. یک نسخه کوتاه‌تر در [۳۶] داده شده است.

گیمش و ژلینگهاوز<sup>۱۰</sup> [۳۷] یک مدل MIP برای مسأله انباشت که بیشتر بر مبنای [۲۵، ۲۶] و [۲۹] قرار دارد، ارائه کردند. مدل پایه با محدودیت‌های اضافی گسترش یافته و روش‌های حل اصلاح گردیدند. نتایج، بهبودهایی را در مقایسه با [۲۵] نشان می‌دهند.

برای مراجع بیشتر پیرامون برنامه‌ریزی انباشت، برای مثال، [۳۸] را ببینید.

<sup>۱</sup> Longitudinal Moment

<sup>۲</sup> Trim

<sup>۳</sup> Metacentric Height

<sup>۴</sup> Dubrovsky et al.

<sup>۵</sup> Search Space

<sup>۶</sup> Encoding Scheme

<sup>۷</sup> Simulation Runs

<sup>۸</sup> Winter

<sup>۹</sup> Just-In-Time

<sup>۱۰</sup> Giemsch and Jellinghaus

## ۵-۲. تفکیک جرثقیل

گام سوم برنامه‌ریزی کشتی عبارت است از تخصیص جرثقیل‌های اسکله به کشتی‌ها و بخش‌های کشتی - تفکیک جرثقیل (برنامه‌ریزی زمانی). حسب ابعاد کشتی، اغلب ۳ تا ۵ جرثقیل بر روی یک شناور خارجی کار می‌کنند. کشتی‌های تغذیه کننده با ۱ یا ۲ جرثقیل تأمین می‌شوند. در عمل، تخصیص جرثقیل به کشتی می‌بایست نمایانگر چندین محدودیت باشد - به ویژه داده‌های فنی جرثقیل‌ها و کشتی‌ها و دسترسی<sup>۱</sup> جرثقیل‌ها در یک پهلوگاه. از آنجا که پایانه‌ها همواره در طول تاریخ رشد داشته‌اند، عموماً انواع مختلفی از جرثقیل‌ها در پایانه‌های واقعی وجود دارد. در حالت کلی شمار جرثقیل‌های عمل‌پذیر<sup>۲</sup> بر روی یک پهلوگاه محدودیت دارد، زیرا هر جرثقیلی را نمی‌توان بر روی هر پهلوگاهی هدایت کرد.

تفکیک جرثقیل، شمار متناسبی از جرثقیل‌ها را به یک کشتی و بخش‌های آن (دهانه‌ها) بر روی انبار داخلی و عرشه، تخصیص می‌دهد و تصمیم می‌گیرد که بر اساس کدام جدول برنامه‌ریزی زمانی باید بر روی دهانه‌ها فعالیت کرد. این امر تنها مربوط به یک کشتی نیست، بلکه چندین کشتی را شامل می‌گردد - در پهلوگاه‌های مجاور و اصولاً تمامی کشتی‌های لنگر انداخته در یک پایانه در یک دوره معین. هدف منحصر به فرد و یگانه‌ای برای بهینه‌سازی وجود ندارد. به حداقل‌رسانی مجموع تأخیرات تمامی کشتی‌ها می‌تواند یک هدف باشد، در حالی که به حداکثرسانی عملکرد یک کشتی یا بهره‌برداری اقتصادی و موزون<sup>۳</sup> جرثقیل‌ها می‌تواند سایر اهداف باشند. در رویه معمول پایانه‌های واقعی، این امر بستگی به وضعیت فعلی پایانه و آرمان‌های بلند مدت آن دارد. علاوه بر تفکیک جرثقیل، تخصیص جرثقیل بر روی انتخاب مدی که چگونگی بارگیری یک کشتی و دهانه‌های آن کشتی را مشخص می‌کند، تصمیم می‌گیرد. یک دهانه می‌تواند هم به صورت افقی و هم به صورت عمودی بارگیری شود، و نیز بارگیری می‌تواند از سمت اسکله یا از جانب آب شروع گردد، در نتیجه<sup>۴</sup> مد مختلف بارگیری خواهیم داشت. مدهای اضافی دیگری نیز وجود دارند، اما اینها موارد اصلی هستند. طرح انباشت، تفکیک جرثقیل، و مد بارگیری روی هم رفته دستورالعمل کاری را به دست می‌دهند که ترتیب بارگیری را برای هر کانتینر از یک دهانه، معین می‌کند. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، ترتیب حمل و نقل زمینی را باید با این ترتیب بارگیری منطبق نمود.

## ۶-۲. بررسی نوشتجات پیرامون تفکیک جرثقیل

داگانزو<sup>۴</sup> [۳۹] یک MIP برای مسأله تخصیص استاتیکی جرثقیل، بدون کشتی اضافه‌شونده‌ای که طی افق برنامه‌ریزی برسد، را ارائه نمود. این مسأله برای نمونه‌های کوچک خود، با جواب قطعی و دقیق حل شد (یعنی

<sup>۱</sup> Accessibility

<sup>۲</sup> Operable

<sup>۳</sup> Well-Balanced

<sup>۴</sup> Daganzo

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

در مورد تعداد کم کشتی‌ها)، و یک فرآیند ابتکاری برای مسائل بزرگتر پیشنهاد گردید. به علاوه، مسأله دینامیکی نیز مورد ملاحظه قرار گرفت. در هر دو مدل فرض گردید که طول پهلوگاه غیر محدود باشد. پترکوفسکی و داگانزو<sup>۱</sup> [۴۰] بر روی یک روش شاخه و کرانه برای به حداقل رساندن هزینه‌های تأخیر مطالعه نمودند. جواب‌های قطعی و دقیق برای مسائل تشریح شده در [۳۹] داده شدند تا فرآیند تخلیه و بارگیری شدیداً زمان‌بر و نتیجتاً شدیداً هزینه‌بر را تسریع نمایند.

گامباردلا و دیگران<sup>۲</sup> [۴۱] جوابی برای مسائل سلسله مراتبی<sup>۳</sup> تخصیص منابع - برای مثال تخصیص جرثقیل‌های اسکله جهت تخلیه و بارگیری شناورها و جرثقیل‌های محوطه انبار جهت عملیات چینش - و برنامه‌ریزی زمانی تجهیزات (یعنی لیست‌های تخلیه و بارگیری برای هر جرثقیل) ارائه کردند. نتایج شبیه‌سازی کاهش ناسازگاری<sup>۴</sup> تجهیزات و زمان انتظار صف‌های کشنده‌ها را نشان دادند. (همچنین مقالات قدیمی‌تر مرتبط با موضوع از اعضاء همین گروه نویسندگان را ببینید: [۲، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶].)

همان‌طور که در بخش ۲،۴ اشاره شد، تفکیک جرثقیل به عنوان بخشی از مسأله برنامه‌ریزی یکپارچه حمل و نقل و انباشت در [۳۵، ۳۶] مطرح گردیده است.

بیش<sup>۵</sup> [۴۷] یک روش ابتکاری برای به حداقل رسانی حداکثر زمان برگشت مجموعه‌ای از کشتی‌ها را تحت عنوان «مسأله برنامه‌ریزی زمانی و موقعیت وسایل نقلیه محدود به چندین جرثقیل (MVSL)»<sup>۶</sup> توسعه داد. مسأله سه لایه دارد: تعیین موقعیت انبارش در محوطه انبار برای کانتینرهای تخلیه شده، اعزام<sup>۷</sup> وسایل نقلیه برای کانتینرها و برنامه‌ریزی زمانی عملیات تخلیه و بارگیری برای جرثقیل‌ها.

پارک و کیم<sup>۸</sup> [۱۵] بر روی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای برنامه‌ریزی زمانی پهلوگاه و جرثقیل‌های اسکله بحث کرده و یک روند حل دوفازی پیشنهاد نمودند. یک جواب اولیه نزدیک به بهینه، جهت یافتن مکانی در پهلوگاه و زمانی برای هر شناور و تخصیص تعداد جرثقیل‌ها، که توسط یک برنامه‌ریزی زمانی دارای جزئیات برای هر جرثقیل اسکله پالایش می‌گردد، به دست آمد.

### ۳. لجستیک انبارش<sup>۹</sup> و چینش<sup>۱۰</sup>

با رشد مستمر ترافیک کانتینرها، لجستیک چینش بحثی با اهمیت روزافزون گشته است، زیرا همواره شمار بیشتری از کانتینرها باید در بنادر انبار گردند و فضا به عنوان یک منبع کمیاب مطرح شده است. عموماً

<sup>۱</sup> Peterkofsky and Daganzo

<sup>۲</sup> Gambardella et al.

<sup>۳</sup> Hierarchical

<sup>۴</sup> Conflict

<sup>۵</sup> Bish

<sup>۶</sup> Multiple-Crane-Constrained Vehicle Scheduling and Location Problem (MVSL)

<sup>۷</sup> Dispatching

<sup>۸</sup> Park and Kim

<sup>۹</sup> Storage

<sup>۱۰</sup> Stacking

کانتینرها بر روی زمین در چندین تراز<sup>۱</sup> یا لایه<sup>۲</sup> چیده می‌شوند و کل فضای انبارش<sup>۳</sup> به بلوک‌هایی<sup>۴</sup> مجزا تقسیم می‌گردد. سپس موقعیت یک کانتینر<sup>۵</sup> در فضای انبارش (یا محوطه انبار<sup>۶</sup>) با بلوک، دهانه<sup>۷</sup>، ردیف<sup>۸</sup> و لایه آدرس داده می‌شود. حداکثر شمار لایه‌ها، بستگی به تجهیزات چینش<sup>۹</sup>، خواه استرادل کررها<sup>۱۰</sup> (حمل‌کننده‌های میان‌گاهی) و خواه گنتری کرین‌ها<sup>۱۱</sup> (جرثقیل‌های دروازه‌ای) دارد. با توجه به نیازهای عملکردی، فضای انبارش معمولاً به فضاهای کوچک‌تر مجزایی تقسیم می‌گردد. فضای کانتینرهای وارداتی و صادراتی متفاوت است و فضاهای ویژه‌ای برای کانتینرهای یخچال‌دار، حامل کالاهای خطرناک یا کانتینرهای آسیب دیده وجود دارد. بهره‌برداری متوسط روزانه از محوطه انبار در ترمینال‌های کانتینری بزرگ اروپا حدود ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ کانتینر است که منجر به حدود ۱۵۰۰۰ جابه‌جایی در روز می‌شود. مدت ساکن بودن یا زمان خواب<sup>۱۲</sup> کانتینرها در محوطه انبار، به طور متوسط در محدوده‌ی ۳ تا ۵ روز است.

یک سیستم تصمیم‌گیری چینش<sup>۱۳</sup> یا برنامه‌ریزی انبارش<sup>۱۴</sup> می‌بایست مشخص کند که کدام بلوک و اسلات<sup>۱۵</sup> (مجرا) باید برای انبار کردن یک کانتینر برگزیده شود. از آنجا که کانتینرها بر روی یکدیگر انباشته می‌گردند، تجهیزات چینش همواره امکان دسترسی مستقیم به هر کانتینری را ندارند. کانتینرهایی که بر روی کانتینر مورد نظر قرار گرفته‌اند، باید در ابتدا برداشته شوند. بازچینش (یا هندلینگ مجدد<sup>۱۶</sup>) ممکن است به دلایل متعددی پیش آید؛ مهمترین موردی که پیش می‌آید، هنگامی است که داده‌های مربوط به کانتینرهایی که چیده می‌شوند، اشتباه یا ناقص باشد. در ترمینال‌های اروپایی، ۳۰ تا ۴۰٪ از کانتینرهای صادراتی که به ترمینال می‌رسند، دچار کمبود داده‌های دقیق در رابطه با کشتی مربوطه، بندر تخلیه، یا وزن کانتینر (اطلاعات ضروری برای اتخاذ تصمیم انبارش کالا) می‌باشند. حتی پس از رسیدن کانتینر، ممکن است کشتی و بندر تخلیه آن توسط خط کشتیرانی تغییر کند. برای کانتینرهای وارداتی تخلیه شده از کشتی‌ها، اوضاع اغلب وخیم‌تر است:

- 
- <sup>۱</sup> Level
  - <sup>۲</sup> Tier
  - <sup>۳</sup> Storage Area
  - <sup>۴</sup> Block
  - <sup>۵</sup> Container's Position
  - <sup>۶</sup> Yard
  - <sup>۷</sup> Bay
  - <sup>۸</sup> Row
  - <sup>۹</sup> Stacking Equipment
  - <sup>۱۰</sup> Straddle Carrier
  - <sup>۱۱</sup> Gantry Crane
  - <sup>۱۲</sup> Dwell Time
  - <sup>۱۳</sup> Stacking Decision System
  - <sup>۱۴</sup> Storage Planning
  - <sup>۱۵</sup> Slot
  - <sup>۱۶</sup> Rehandle

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

برای مثال، هنگامی که مکانی در محوطه انبار انتخاب می‌شود، حداکثر در ۱۰ تا ۱۵٪ از کل موارد در زمان تخلیه از یک کشتی، مُد حمل و نقل زمینی<sup>۱</sup> معلوم است.

جهت تسهیل این وضعیت و نیز تضمین کارایی بالا<sup>۲</sup> برای عملکرد کشتی، قطار و وسیله نقلیه کشنده، گاهی کانتینرها در نزدیکی محل بارگیری، به نحوی که توالی بارگیری حفظ گردد، پیش‌انباشت<sup>۳</sup> می‌شوند. این کار پس از تکمیل طرح انباشت (طرح انبارش و چینش کانتینرها درون کشتی) و پیش از شروع بارگیری کشتی انجام می‌گردد. از آنجا که پیش‌انباشت نیازمند حمل و نقل اضافی<sup>۴</sup> است، بسیار هزینه‌بر بوده و بالطبع ترمینال‌ها معمولاً سعی در اجتناب از این کار دارند و بهینه‌سازی چینش محوطه انبار را مرجح می‌دانند. اما این اقدام، وقتی بارگیری کشتی باید در سریع‌ترین زمان ممکن انجام شود، راه‌حلی جذاب و کاربردی است. لجستیک چینش و انبارش روز به روز در حال پیچیده‌تر شدن و ترکیبی‌تر شدن است؛ این امر، نقش مهمی در کارایی کلی ترمینال‌ها دارد.

دو کلاس از لجستیک انبارش قابل تفکیک‌اند. در سیستم‌های طراحی و برنامه‌ریزی انبارش و محوطه انبار، تخصیص فضاهای چینش<sup>۵</sup> و ظرفیت‌های انبارش<sup>۶</sup> به رسیدن یک کشتی<sup>۷</sup>، با توجه به شمار کانتینرهای وارداتی و صادراتی مورد انتظار انجام می‌شود. شمار مناسبی از اسلات‌ها در بلوک‌ها و ردیف‌ها برای یک کشتی خاص رزرو می‌گردد. بسته به استراتژی برنامه‌ریزی، رزرواسیون برای کانتینرهای صادراتی می‌تواند حسب بندر تخلیه، نوع / طول کانتینر و وزن کانتینر صورت گرفته و تفکیک شود. یک استراتژی عمومی در برنامه‌ریزی صادراتی، رزرو اسلات‌های درون یک ردیف برای کانتینرهای هم‌نوع و با بندر تخلیه یکسان می‌باشد. همچنین کانتینرهای سنگین‌تر بر روی کانتینرهای سبک‌تر چیده می‌شوند، با این پیش‌فرض که آنها نخست بارگیری می‌شوند تا تعادل کشتی حفظ گردد. برای کانتینرهای وارداتی، تنها رزرو بخشی از ظرفیت محوطه انبار، متناسب با سایز مورد نیاز و بدون تفکیک بیشتر صورت می‌گیرد. این امر بدین دلیل است که داده‌ها و وسایل نقلیه تحویل کالا، عموماً در زمان تخلیه ناشناخته‌اند. اگر مُد حمل و نقلی شناخته شده باشد، فضاهای وارداتی نیز می‌توانند حسب آن مدها تقسیم‌بندی گردند. استراتژی عمومی برای کانتینرهای وارداتی نیز، انتخاب موقعیتی در فضای واردات یا انبارش توده‌ای<sup>۸</sup> کانتینرهایی است که در تاریخ مشخصی انبار شده‌اند.

برنامه‌ریزی انبارش و طراحی محوطه انبار، به ندرت بر دریافت و تحویل واقعی کالا منطبق می‌گردد، زیرا دریافت و تحویل کالا یک فرآیند تصادفی و دارای ماهیت احتمالی است که نمی‌توان آن را به دقت پیش‌بینی نمود.

---

<sup>۱</sup> Landside Transport Mode

<sup>۲</sup> High Performance

<sup>۳</sup> Pre-Store

<sup>۴</sup> Extra Transportation

<sup>۵</sup> Stack Areas

<sup>۶</sup> Storage Capacities

<sup>۷</sup> A Ship's Arrival

<sup>۸</sup> Piling

کیفیت چنین راهکاری برای انبارداری، عمدتاً به این استراتژی که چگونه، یک پیکربندی فضایی<sup>۱</sup> خوب برای چینش و نیز یک پیش‌بینی خوب از توزیع تحویل کانتینر<sup>۲</sup> تعیین گردد، بستگی دارد. از آنجا که هر دو فاکتور به سختی به دست می‌آیند، در نتیجه با میزان نسبتاً بالایی از بازچینش و در هم ریختن محوطه انبار مواجه می‌گردیم. به علاوه، رزرواسیون موقعیت‌های مختلف در محوطه انبار، ظرفیت چینش انبار را اشغال می‌کند.

با توجه به این معایب، برخی ترمینال‌ها راهکار چینش جایگزینی را به کار گرفته‌اند که چینش پراکنده<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. در چینش پراکنده، فضاهای انبار دیگر به ورود یک کشتی خاص اختصاص نمی‌یابد، بلکه فقط به یک مکان پهلوگیری<sup>۴</sup> تخصیص داده می‌شود. با رسیدن یک کانتینر، سیستم کامپیوتری، مکان پهلوگیری کشتی را از روی برنامه زمان‌بندی کشتی‌ها انتخاب می‌کند و اتوماتیک‌وار به دنبال یک موقعیت چینش خوب در میان فضای تخصیص یافته به مکان پهلوگیری می‌گردد. یک موقعیت چینش، در زمان واقعی انتخاب می‌شود و کانتینرهایی که در یک دسته طبقه‌بندی می‌گردند - کشتی، نوع / طول، بندر تخلیه، و وزن - یکی بر روی دیگری انبارش داده‌ای می‌شوند. از آنجا که کانتینرهای یک کشتی، به صورت تصادفی در فضای چینش مربوطه پراکنده شده‌اند، رزرواسیون اسلات‌های محوطه انبار دیگر ضرورتی ندارد. این راهکار، به بهره‌برداری بهتری از محوطه انبار منجر می‌گردد، چرا که دیگر اسلات رزرو شده‌ای وجود ندارد. همچنین به میزان قابل ملاحظه‌ای بازچینش و درهم ریختگی را می‌کاهد، زیرا ضوابط و معیارهای چینش در ضوابط و معیارهای انباشت در کشتی (انبارش و چینش کانتینرها درون کشتی) ادغام می‌شود.

اگرچه مشخصات کانتینر نقش عمده‌ای در راهکارهای چینش محوطه انبار بازی می‌کنند، پارامترهای اضافی دیگری نیز باید جهت بهبود فرآیند لجستیک در نظر گرفته شوند. مسلماً، کانتینرها باید در جایی نزدیک به محل بارگیری آتی چیده شوند، برای مثال، مسافت حمل باید حداقل باشد تا از کارایی بالای عملیات آتی اطمینان حاصل گردد. کارایی جرثقیل‌های اسکله<sup>۵</sup> به مراتب بیش از کارایی تجهیزات چینش و حمل و نقل است. از این رو، کانتینرهایی که در یک دسته طبقه‌بندی می‌شوند، می‌بایست در چندین بلوک و ردیف توزیع گردند تا از ازدحام و زمان انتظار غیر ضروری وسایل نقلیه اجتناب گردد. حجم کار عملی<sup>۶</sup> یک گنتری کرین یا سایر تجهیزات چینش نیز باید در نظر گرفته شود، زیرا تخصیص وظایف اضافی به تجهیزاتی که بهره‌برداری فراوانی دارند، زمان انتظار را تشدید می‌کند. تمامی این فاکتورها می‌توانند در یک الگوریتم جمع‌گردد، البته به شرطی که وزن هر فاکتور با پارامترهایی اندازه گرفته شود. هدف بهینه‌سازی محوطه انبار، به حداقل‌رسانی شمار بازچینش‌ها و در هم ریختگی‌ها و حداکثر کردن بهره‌برداری انبارش است.

<sup>۱</sup> Configuration

<sup>۲</sup> Container Delivery Distribution

<sup>۳</sup> Scattered Stacking

<sup>۴</sup> Berthing Place

<sup>۵</sup> Quay Cranes

<sup>۶</sup> Actual Workload

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتنری دریایی

### ۳-۱. بررسی نوشتجات پیرامون لجستیک انبارش و چینش

کائو و وب<sup>۱</sup> [۴۸] جستجوی مبتنی بر منع را مبنای الگوریتمی برای حل کردن مسأله حمل و نقل با محدودیت‌های جنبی غیرخطی<sup>۲</sup>، قرار دادند. فرم عمومی مسأله تخصیص موقعیت‌های انبارش کانتنرها با به حداقل رساندن جستجو و / یا هزینه‌های بارگیری و ارضاء فضای محدود<sup>۳</sup> و سایر محدودیت‌ها، پیشنهاد گردید. کیم<sup>۴</sup> [۴۹] بر روی پیکربندی‌های فضایی مختلف چینش و تأثیر آنها بر روی شمار مورد انتظار هندلینگ‌های مجدد در سناریوی بارگیری کانتنرهای وارداتی بر روی کشتی‌های بیرونی<sup>۵</sup> با یک جرثقیل ترانسفر، تحقیقاتی انجام داد. جهت تخمین ساده، معادلات رگرسیون<sup>۶</sup> پیشنهاد گردید.

کیم و بای<sup>۷</sup> [۵۰] یک متدولوژی جهت تبدیل ترتیب کنونی کانتنرهای صادراتی در محوطه انبار، به یک طرح‌بندی دهانه<sup>۸</sup> که از نظرگاه عملیات برای بارگیری یک کشتی بهترین است، را پیشنهاد کردند. هدف نهایی مدنظر ایشان، یافتن کمترین شمار ممکن و یا کوتاه‌ترین مسافت ممکن حمل کانتنرها، جهت به حداقل‌رسانی مجموع زمان برگشت<sup>۹</sup> (زمان معطلی) یک کشتی از بندر می‌باشد. مسأله به مدل‌های ریاضی (برنامه‌ریزی دینامیکی<sup>۱۰</sup>، مسأله حمل و نقل) تجزیه گشته و سپس سه زیرمسأله پیشنهاد گردیده و نیز یک مثال عددی ارائه شده است. نویسندگان با توجه به محاسبات زمان‌بر، خواستار به کارگیری الگوریتم‌های ابتکاری<sup>۱۱</sup> هستند.

کیم و کیم<sup>۱۱</sup> [۵۱-۵۳] پیرامون تعیین میزان بهینه‌ی فضای انبارش و شمار بهینه‌ی جرثقیل‌های ترانسفر برای کانتنرهای وارداتی مباحثی ارائه کردند. تصمیم‌گیری بر مبنای یک مدل هزینه، مشتمل بر هزینه‌های سرمایه‌ای ثابت و هزینه‌های عملکردی متغیر می‌باشد. یک فرآیند ساده حل مسأله و تحلیل حساسیت آن، با یک مثال عددی توضیح داده شده است. دو هدف متفاوت در نظر بوده است: به حداقل رساندن هزینه‌های اپراتور پایانه به تنهایی و به حداقل رساندن این هزینه‌ها در ترکیب با هزینه‌های مشتری‌ها. مدل‌های قطعی و احتمالی<sup>۱۲</sup> و روش‌های حل ساده آماده شده و در مثال‌های عددی تبیین گشته‌اند. در [۵۲] نویسندگان بر روی استراتژی‌های تخصیص فضای انبارش<sup>۱۳</sup> متمرکز شدند. مواردی از نرخ‌های رسیدن ثابت، چرخه‌ای و دینامیکی کانتنرهای

---

<sup>۱</sup> Cao and Uebe

<sup>۲</sup> Nonlinear Side Constraints

<sup>۳</sup> Limited Space

<sup>۴</sup> Kim

<sup>۵</sup> Outside Trucks

<sup>۶</sup> Regression Equations

<sup>۷</sup> Kim and Bae

<sup>۸</sup> Bay Layout

<sup>۹</sup> Turn-around Time

<sup>۱۰</sup> Dynamic Programming

<sup>۱۱</sup> Heuristic

<sup>۱۲</sup> Kim and Kim

<sup>۱۳</sup> Deterministic and Stochastic Models

<sup>۱۴</sup> Storage Space Allocation

وارداتی تحلیل شدند. هدف در اینجا، حداقل‌سازی مجموع شمار هندلینگ‌های مجدد مورد انتظار است. مدل‌های ریاضی و فرآیندهای حل مسأله ارائه گشته و با مثال‌های عددی تبیین گردیده‌اند.

کیم و دیگران<sup>۱</sup> [۵۴] یک مدل برنامه‌ریزی دینامیکی را برای تعیین موقعیت انبارش کانتینرهای صادراتی با هدف حداقل‌سازی شمار بازچینش‌های مورد انتظار در جابه‌جایی‌های بارگیری، فرموله نمودند. پیکربندی فضایی چینش کانتینرها، توزیع وزنی کانتینرها در محوطه انبار، و وزن کانتینر ورودی به انبار لحاظ گردیدند. برای تصمیمات با زمان واقعی، یک درخت تصمیم‌گیری سریع<sup>۲</sup> از مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه که توسط برنامه‌ریزی دینامیکی بدست آمدند، مشتق گردید.

رویگردی مبتنی بر GA جهت حداقل کردن زمان برگشت کشتی‌های کانتینربر، توسط پرستون و کوزان<sup>۳</sup> تشریح گردید [۵۵]. مسأله به عنوان یک مدل NP-hard MIP جهت تعیین استراتژی بهینه انبارش برای برنامه‌ریزی‌های زمانی مختلف در هندلینگ کانتینرها (تصادفی<sup>۴</sup>، ورود نخست - خدمت نخست<sup>۵</sup>، ورود آخر - خدمت نخست<sup>۶</sup>)، فرموله گردید. تجربیات محاسباتی نشان می‌دهد که اگر یک طرح‌بندی مناسب انبارش به کار گرفته شود، نوع این جداول زمان‌بندی تأثیری روی مدت زمان ترانسفر ندارد. اگر بهره‌برداری ناحیه انبارش در دامنه ۱۰ تا ۵۰٪ باشد، منجر به تغییرات خطی مدت زمان ترانسفر می‌گردد.

کیم و پارک<sup>۷</sup> [۵۶] بر روی کانتینرهای صادراتی متمرکز شده و یک روش تخصیص دینامیکی فضا<sup>۸</sup> ارائه دادند، با این هدف که فضای انبارش به نحو کارآمدی بهره‌برداری گردیده و کارآیی عملیات بارگیری افزایش یابد. یک مدل MIP فرموله گردید. دو الگوریتم ابتکاری - یک قاعده نزدیک‌بینی (حداقل مدت توقف)<sup>۹</sup> و یک تکنیک بهینه‌سازی زیرگرادیان<sup>۱۰</sup> - در تجربیات محاسباتی مقایسه گردیدند. نتایج در اکثر موارد، سطح یکسانی از میزان دستیابی به هدف را در پی داشت، اما قاعده تصمیم‌گیری بسیار سریع‌تر بود. تأثیر تغییر مقادیر چندین پارامتر مدل نیز تحلیل گردید.

زانگ و دیگران [۵۷] بر روی مسأله تخصیص فضای انبارش در محوطه انبار یک مجتمع پایانه‌ای پیچیده (با ترکیب مختلفی از کانتینرهای وارد شونده، خارج شونده و ترانزیتی<sup>۱۱</sup>) تحقیق کردند. در هر دوره برنامه‌ریزی با اتخاذ رویکرد افق - غلتان<sup>۱۲</sup>، مسأله به دو سطح و مدل‌های ریاضیاتی تقسیم می‌گردد. حجم کار در میان

<sup>۱</sup> Kim et al.

<sup>۲</sup> Fast Decision Tree

<sup>۳</sup> Preston and Kozan

<sup>۴</sup> Random

<sup>۵</sup> First-Come-First-Served

<sup>۶</sup> Last-Come-First-Served

<sup>۷</sup> Kim and Park

<sup>۸</sup> Dynamic Space Allocation Method

<sup>۹</sup> Myopic (Least-Duration-of-Stay) Rule

<sup>۱۰</sup> Sub-Gradient Optimization Technique

<sup>۱۱</sup> Inbound, Outbound and Transit Container

<sup>۱۲</sup> Rolling-Horizon Approach

کاربرد راهکارهای لجستیکی و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی عملیات شناور و عملیات انبار پایانه‌های کانتینری دریایی

بلوک‌ها، در اولین سطح متعادل می‌گردد. مجموع شمار کانتینرهای مرتبط با هر کشتی و جانمایی شده در هر بلوک، نتیجه گام دوم است که مجموع مسافتی که باید کانتینرها را میان بلوک‌ها و کشتی‌ها حمل نمود، به حداقل می‌رساند. آزمایشات عددی، کاهش معناداری در عدم تعادل حجم کار و نتیجتاً، کاهش گلوگاه‌های<sup>۱</sup> احتمالی را نشان می‌دهند.

کانتینرهای خالی<sup>۲</sup> اغلب جدا از کانتینرهای پر<sup>۳</sup> انبارش می‌گردند تا امکان استفاده از تجهیزات مختلف، جهت انبارش آنها بر روی کانتینرهای بارگیری شده فراهم شود. تا هنگامی که روش‌های انبارش و چینش کانتینرهای خالی با رویکردهای تشریح شده در بالا تفاوتی ندارد، توزیع کانتینرهای خالی در بندر، به عنوان یک مسأله مجزا که شایان رویکردهای ویژه است، در نظر گرفته می‌شود. (برای مثال، [۵۸، ۵۹، ۶۰] را ببینید). مراجع اضافی پیرامون لجستیک انبارش و چینش، برای مثال عبارتند از [۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷].

#### ۴. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

امروزه حجم تجارت کانتینری در جهان، روند رو به رشد خود را تثبیت نموده و این امر، افزایش شدت رقابت میان بنادر را موجب شده است. با لحاظ نمودن حجم انبوه سرمایه‌گذاری در پایانه‌های کانتینری دریایی و نیز افق برنامه‌ریزی توسعه این پایانه‌ها، ضرورت بکارگیری روش‌های تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی آشکار می‌گردد. سیستم پایانه کانتینری دریایی متشکل از زیرسیستم‌هایی است که به دلیل پیچیدگی بالای این زیرسیستم‌ها، تاکنون اغلب سعی در بهینه‌سازی مستقل هر یک از آنها بوده و رویکردهای بهینه‌سازی یکپارچه کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

موفقیت یک بندر در میدان رقابت بر سر جذب سهم بازار، منوط به ارائه خدمات سطح بالاتر است که این امر تنها از طریق افزایش سطح سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فیزیکی و نصب تجهیزات مدرن به دست خواهد آمد. بلکه چنین توفیقی وابستگی مستقیم به سیاست‌های مدیریتی و قدرت سیستم‌های پشتیبانی تصمیم به کار گرفته شده در بندر خواهد داشت. متوسط زمان بازگشت یک کشتی از بندر، شاخص با اهمیتی است که تأثیر به سزایی در جذب سهم بیشتری از بازار تجارت کانتینری منطقه‌ای خواهد گذاشت.

در پایان می‌بایست اشاره گردد که ارتقاء عملکرد فرآیندهای جانب خشکی در پایانه‌های کانتینری دریایی، می‌تواند نقش اساسی در تسهیل عملکرد سیستم حمل و نقل اینترمدال و افزایش تجارت ملی داشته باشد که این امر، خود به ارتقاء رقابت‌پذیری منطقه‌ای بندر کشور و توسعه اقتصادی خواهد انجامید.

#### منابع:

[1] Hoffarth L, Vos S. 1994. Liegeplatzdisposition auf einem Containerterminal – Ansätze zur Entwicklung eines entscheidungsunterstützenden Systems. In: Dyckhoff

<sup>۱</sup> Bottleneck

<sup>۲</sup> Empty Containers

<sup>۳</sup> Loaded Containers

- H, Derigs U, Salomon M, Tijms H (eds) *Operations Research Proceedings* 1993, pp 89–95. Springer, Berlin Heidelberg New York .
- [2] Gambardella L M, Rizzoli A E, Zaffalon M. 1998. Simulation and planning of an intermodal container terminal. *Simulation* 71(2): 107–116.
- [3] Bruzzone A, Signorile R. 1998. Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout. *Simulation* 71: 74–83.
- [4] Taleb-Ibrahimi M, de Castilho B, Daganzo C F. 1993. Storage space vs handlingwork in container terminals. *Transportation Research-B* 27B: 13–32.
- [5] Li C-L, Cai X, Lee C-Y. 1998. Scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern. *IIE Transactions* 30: 433–445.
- [6] Lim A. 1998. The berth planning problem. *Operations Research Letters* 22: 105–110.
- [7] Legato P, Mazza R M. 2001. Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research* 133: 537–547.
- [8] Nishimura E, Imai A, Papadimitriou S. 2001. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research* 131: 282–292.
- [9] Imai A, Nishimura E, Papadimitriou S. 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research-B* 35(4): 401–417.
- [10] Imai A, Nishimura E, Papadimitriou S. 2003. Berth allocation with service priority. *Transportation Research-B* 37(5): 437–457.
- [11] Imai A, Nagaiwa K, Tat C W. 1997. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation* 31: 75–94.
- [12] Moon K C. 2000. A mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning. *PhD thesis*, Pusan National University, <http://logistics.ie.pusan.ac.kr/bk21/pdf/kcMoon.pdf> – last check of address: July 30, 2003.
- [13] Kim K H, Moon K C. 2003. Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research-B* 37(6): 541–560.
- [14] Guan Y, Cheung R K. 2004. The berth allocation problem: models and solution methods. *OR Spectrum* 26: 75–92.
- [15] Park Y-M, Kim K H. 2003. A scheduling method for berth and quay cranes. *OR Spectrum* 25: 1–23.
- [16] Lai K K, Shih K. 1992. A study of container berth allocation. *Journal of Advanced Transportation* 26: 45–60.
- [17] Guan Y, Xiao W-Q, Cheung R K, Li C-L. 2002. A multiprocessor task scheduling model for berth allocation: heuristic and worst case analysis. *Operations Research Letters* 30: 343–350.
- [18] Park K T, Kim K H. 2002. Berth scheduling for container terminals by using a subgradient optimization technique. *Journal of the Operational Research Society* 53: 1054–1062.
- [19] Shields J J. 1984. Container stowage: a computer aided preplanning system. *Marine Technology* 21: 370–383.
- [20] Chen C S, Lee S M, Shen Q S. 1995. An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research* 80: 68–76.

- [21] Davies A P, Bischoff E E. 1999. Weight distribution considerations in container loading. *European Journal of Operational Research* 114: 509–527.
- [22] Scheithauer G. 1999. LP-based bounds for the container and multi-container loading problem. *International Transactions in Operational Research* 6: 199–213.
- [23] Eley M. 2003. A bottleneck assignment approach to the multiple container loading problem. *OR Spectrum* 25: 54–60.
- [24] Sculli D, Hui C F. 1988. Three dimensional stacking of containers. *Omega* 16(6): 585–594.
- [25] Avriel M, Penn M, Shpirer N, Witteboon S. 1998. Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts. *Annals of Operations Research* 76: 55–71.
- [26] Avriel M, Penn M, Shpirer N. 2000. Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs. *Discrete Applied Mathematics* 103(1–3): 271–279.
- [27] Avriel M, Penn M. 1993. Exact and approximate solutions of the container ship stowage problem. *Computers and Industrial Engineering* 25(1–4): 271–274.
- [28] Wilson I D, Roach P A. 1999. Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning. *Journal of Heuristics* 5: 403–418.
- [29] Wilson I D, Roach P A. 2000. Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions. *Journal of the Operational Research Society* 51: 1248–1255.
- [30] Wilson I D, Roach P A, Ware J A. 2001. Container stowage pre-planning: using search to generate solutions, a case study. *Knowledge-Based Systems* 14(3–4): 137–145.
- [31] Roach P A, Wilson I D. 2002. A genetic algorithm approach to strategic stowage planning for container-ships. *Working paper*, University of Glamorgan, UK.
- [32] Haghani A, Kaisar E I. 2001. A model for designing container loading plans for containerships. *Working paper*, University of Maryland, presented at *Transportation Research Board 2001 Annual Meeting*.
- [33] Dubrovsky O, Levitin G, Penn M. 2002. A genetic algorithm with a compact solution encoding for the container ship stowage problem. *Journal of Heuristics* 8: 585–599.
- [34] Winter T, Zimmermann U. 1999. Combinatorial online and real-time optimization. In: *Fundamentals – foundations of computer science*. Proceedings of the 15th IFIP World Computer Congress, pp 31–48, Österreichische Computer Gesellschaft, Vienna.
- [35] Winter T. 2000. Online and real-time dispatching problems. GCA-Verlag, Herdecke.
- [36] Steenken D, Winter T, Zimmermann U T. 2001. Stowage and transport optimization in ship planning. In: Grötschel M, Krumke S O, Rambau J (eds) *Online optimization of large scale systems*, pp 731–745. Springer, Berlin.
- [37] Giemisch P, Jellinghaus A. 2003. Organization models for the containership stowage problem. *Paper presented at the annual international conference of the German Operations Research Society (OR 2003)*, Sep 3–5, Heidelberg, <http://www.andor.unikarlsruhe.de/fak/inst/andor/a10www/Preprint/PaperGOR2003.pdf> – last check of address: Oct 15, 2003.
- [38] Kang J-G, Kim Y-D. 2002. Stowage planning in maritime container transportation. *Journal of the Operational Research Society* 53: 415–426.

- [39] Daganzo C F. 1989. The crane scheduling problem. *Transportation Research-B* 23B(3): 159–175.
- [40] Peterkofsky R I, Daganzo C F. 1990. A branch and bound solution method for the crane scheduling problem. *Transportation Research-B* 24B: 159–172.
- [41] Gambardella L M, Mastrolilli M, Rizzoli A E, Zaffalon M. 2001. An optimization methodology for intermodal terminal management. *Journal of Intelligent Manufacturing* 12: 521–534.
- [42] Mastrolilli M, Fornara N, Gambardella L M, Rizzoli A E, Zaffalon M. 1998. Simulation for policy evaluation, planning and decision support in an intermodal container terminal. In: Merkurjev Y, Bruzzone A, Novitsky L (eds) Proceedings of the International Workshop 'Modeling and Simulation within a Maritime Environment', Sep 6–8, pp 33–38. *Society for Computer Simulation International*, Riga, Latvia.
- [43] Zaffalon M, Rizzoli A E, Gambardella L M, Mastrolilli M. 1998. Resource allocation and scheduling of operations in an intermodal terminal. In: ESS98, 10th *European Simulation Symposium and Exhibition, Simulation in Industry*, October 26–28th, pp 520–528, Nottingham, UK, <ftp://ftp.idsia.ch/pub/luca/papers/ess98.ps.gz> – last check of address: July 30, 2003.
- [44] Rizzoli A E, Gambardella L M, Zaffalon M, Mastrolilli M. 1999. Simulation for the evaluation of optimised operations policies in a container terminal. In: HMS99, *Maritime & Industrial Logistics Modelling and Simulation*, Sep 16–18, Genoa, Italy, <ftp://ftp.idsia.ch/pub/luca/papers/hms99.ps.gz> – last check of address: July 30, 2003.
- [45] Rizzoli A E, Fornara N, Gambardella L M. 1999. A simulation tool for combined rail-road transport in intermodal terminals. In: Proceedings of the conference MODSIM 1999, *Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, <ftp://ftp.idsia.ch/pub/luca/papers/modsim99.ps.gz> – last check of address: July 30, 2003.
- [46] Gambardella L M, Rizzoli A E. 2000. The role of simulation and optimisation in intermodal container terminals. *Working paper, Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale*, Manno-Lugano, Switzerland, <http://www.idsia.ch/luca/abstracts/papers/ess2000.pdf> – last check of address: May 15, 2003.
- [47] Bish E K. 2003. A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. *European Journal of Operational Research* 144: 83–107.
- [48] Cao B, Uebe G. 1995. Solving transportation problems with nonlinear side constraints with tabu search. *Computers & Operations Research* 22: 593–603.
- [49] Kim K H. 1997. Evaluation of the number of rehandles in container yards. *Computers & Industrial Engineering* 32: 701–711.
- [50] Kim K H, Bae J W. 1998. Re-marshaling export containers in port container terminals. *Computers & Industrial Engineering* 35: 655–658.
- [51] Kim K H, Kim H B. 1998. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers. *Computers & Industrial Engineering* 35: 427–430.
- [52] Kim K H, Kim H B. 1999. Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals. *International Journal of Production Economics* 59: 415–423.

- [53] Kim K H, Kim H B. 2002. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. *Transportation Research-B* 36: 821–835.
- [54] Kim K H, Park Y M, Ryu K-R. 2000. Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *European Journal of Operational Research* 124: 89–101.
- [55] Preston P, Kozan E. 2001. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. *Computers & Operations Research* 28: 983–995.
- [56] Kim K H, Park K T. 2003. A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. *European Journal of Operational Research* 148(1): 92–101.
- [57] Zhang C, Liu J, Wan Y-w, Murty K G, Linn R J. 2003. Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research-B* 37: 883–903.
- [58] Crainic T G, Gendreau M, Dejax P. 1993. Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations Research* 41: 102–126.
- [59] Shen W S, Khoong C M. 1995. A DSS for empty container distribution planning. *Decision Support Systems* 15: 75–82.
- [60] Cheung R K, Chen C Y. 1998. A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem. *Transportation Science* 32(2): 142–162.
- [61] Taleb-Ibrahimi M, de Castilho B, Daganzo C F. 1993. Storage space vs handlingwork in container terminals. *Transportation Research-B* 27B: 13–32.
- [62] Cao B, Uebe G. 1993. An algorithm for solving capacitated multicommodity p-median transportation problems. *Journal of the Operational Research Society* 44: 259–269.
- [63] de Castilho B, Daganzo C F. 1993. Handling strategies for import containers at marine terminals. *Transportation Research-B* 27: 151–166.
- [64] Chen T. 1999. Yard operations in the container terminal – a study in the ‘unproductive moves’. *Maritime Policy and Management* 26: 27–38.
- [65] Holguín-Veras J, Jara-Díaz S. 1999. Optimal pricing for priority service and space allocation in container ports. *Transportation Research-B* 33: 81–106.
- [66] Kim K H, Kim K Y. 1999. An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals. *Transportation Science* 33(1): 17–33.
- [67] Kozan E, Preston P. 1999. Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals. *International Transactions of Operational Research* 6: 311–329.