



(الف)





### مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی

نشانی: تهران، میدان ونک، بزرگراه شهید حقانی  
بعد از چهار راه جهان کودک، انتهای خیابان دیدار جنوبی  
سازمان بنادر و کشتیرانی، طبقه نهم.

تلفن: ۸۴۹۳۲۱۳۳ دورنگار: ۸۴۹۳۲۱۳۷

آدرس اینترنتی: [R&D@ps0.ir](mailto:R&D@ps0.ir)

(ب)



# دینگاه

علمی، تخصصی، دریایی و بندری - پاییز ۸۶



ویراستار فارسی: حمید ودادی

ویراستار و مترجم انگلیسی: ثریا قیصری

هیئت تحریریه:

سیاوش پارسیان، حمید حمیدی، روح الله براتیان، علی سرایی  
مصطفی مرشد، رضا بیک پور، حمید ودادی، حمید رضا پیشه ور

هیئت اجرایی:

محمد فقیه زاده، طاهره شهرابی فراهانی، حمیده عوض بخش  
مأنده واحدی، منیر امین آبادی

(ج)





## فهرست

- تبيين فضای اطلاع رسانی نوشتاری..... ۱
- کاربرد متولوژی شش سیگما در بندر ترمینال کانتینری شهید رجایی..... ۱۰
- ارزیابی و پایش میزان بهره وری مراکز تحقیقاتی..... ۳۱
- مدل ریاضی تخصیص بهینه اسکله به کشتی ها..... ۴۷
- تدوین مدل دینامیکی یکپارچه توسعه بنادر تجاری..... ۸۳

همتم بدرقه راه کن ای طایر قدس

که دراز است ره مقصد و من نویسم

(حافظ)



«باسمه تعالی»

تبیین فضای اطلاع‌رسانی نوشتاری در قالب فصل نامه علمی – تخصصی

ز گوش و چشم‌ها، پنهان بگوییم	بیا با هم سخن از جان بگوییم
چو فکرت، بی‌لب و دندان بگوییم	چو گلشن، بی‌لب و دندان بخندیم
دهان بر بسته تا پایان بگوییم	به سان عقل، اول سر عالم
اگر جمله یکیم، آن سان بگوییم	کسی با خود سخن پیدا نگوید

مضامین و مفاهیم مشترک بین تمامی علوم و دانش‌ها، حول محور تحقیق و پژوهش، فراهم می‌شوند. به عبارتی، تحقیقات، کانون رصد آسمان علم و شناخت هستند.

به طور طبیعی، جاری سازی اقدامی که منجر به ایجاد چنین مرکزیتی گردد، از طریق ابزارهای شناخته شده فراهم می‌آید که از جمله‌ی آن‌ها، وجود فضایی نوشتاری است که بتواند نسبت به نشر و ترویج «فرهنگ پژوهش» تلاش و برای «تولید فکر و اندیشه» اقدام و در جهت انعکاس «ماهیت فعالیت‌های پژوهشی و خلاقیت‌های بالقوه‌ی منابع انسانی مستعد و علاقمند به اقدام پژوهی» عمل نماید.

فضاهای علمی و فرهنگی، نهاده‌ای برای حمایت و جانب داری از عناصر فکری هستند و بنا به ماهیت ذاتی خود، لوازم و مفروض‌های کار نظری، روشنفکرانه، محققانه و اندیشمندانه را فراهم می‌سازند. به این سان، کوشش به لحاظ ایجاد فضایی که زمینه‌ی در هم آمیختگی نظر و اندیشه‌ی علمی و تحقیقی را با عمل و اندیشه‌ی اجرایی، پیاده‌سازی نماید، پاسخ به ادای وظیفه‌ای است که در برابر «رویکردهای

مشارکت‌اندیش»، در حوزه «فعالیت‌های فکری»، بر دوش داریم.

وجود چنین فضایی، کمک می‌کند تا حاملان و صاحبان ایده‌های نظری، مجریان و کارورزان، طرح ریزان و برنامه‌سازان، مشاوران و کارشناسان چه در محدوده‌ی سازمانی و چه در پهنه‌ی برون سازمانی، فرصتی و وسیله‌ای را برای نشر آگاهی و شناخت خود، پیدا کنند و به این وسیله به جریان نظری شناخت‌های فردی، عمق و فراگیری دهند. وجود چنین فضایی علمی و فرهنگی، در چارچوب نشر اطلاعات و اطلاع‌رسانی، جاذبه‌ای برای حفظ، نگهداری و ارتقای سطح فعالیت منابع فکری است و به عبارتی، بستری برای بازتولید قابلیت‌های فکری و زمینه‌ای برای تقویت نقش این دسته از همکاران درون سازمانی و منابع انسانی برون سازمانی است که می‌توانند با بهره‌برداری از این فضا و نهاده‌ی فرهنگی، به اصل «مشارکت‌اندیشی» صورت عینی و به «تولید دانش و علم‌افزایی»، اهتمام ورزند. وجود چنین سامانه‌ای، تحقق احترامی است که می‌باید برای همکاران اندیشه‌ورز و صاحب نظر درون سازمان و یاران فکری خود، در بیرون سازمان جاری و ساری سازیم. ما، عنوان این سامانه در نشر و اطلاع‌رسانی را، از طریق و به وسیله‌ی «فصل‌نامه» ای می‌جوئیم که در برهه‌ی «انفجار اطلاعات» دهه‌های اخیر، می‌تواند کانون و مرکزیتی برای ترویج فرهنگ پژوهش و نشر یافته‌های پژوهشی در حوزه‌های مرتبط با فعالیت سازمان باشد. ماهیت این فصل‌نامه در ساختارهای اطلاع‌رسانی تخصصی - حرفه‌ای، به عنوان یک فضای علمی و فرهنگی مطرح است که می‌تواند به عنوان ابزاری برای نشر آگاهی، تولید علم و دانش و به تجربه‌ی کشاندن اندیشه‌ها، از «مرز نظر» تا «پهنه‌ی عمل»، اقدام نماید. سامانه و فضایی که انتظار داریم تا پاسخی شایسته و مناسب باتوجه به خط مشی سازمان، برای تقویت، پرورش و پردازش رسالت حرفه‌ای سیاست‌گذاری، هدایتی و نظارتی، راهبری و

تولی‌گری باشد.

به علاوه، در نیم قرن اخیر که ره‌یافته‌های روشمندان‌هی نوین و تفسیر و تاویل‌های کارآمدتر، همراه با کارکردهای اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و خلاقیت‌های حرفه‌ای و صنعتی، همه از منبع R&D<sup>۱</sup> تراوش کرده است، به جدیت، ایجاب می‌کرده است تا نسبت به برپایی چنین پایگاهی علمی و فرهنگی اقدامی ایجاد کننده، صورت گیرد.

در طرح ریزی این فصل نامه، هدف مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی تعمیم خط مشی‌ای است که علت وجودی این «مرکز» را، نه فقط در «محدوده‌ی سازمانی سازمان بنادر و کشتیرانی»، بلکه در پهنه‌ی گسترده نظام اطلاع‌رسانی کتابخانه‌ای، در حوزه‌ی حمل و نقل چندوجهی با تاکید بر حمل و نقل دریایی، و دیگر مجموعه‌های دانشی مرتبط، از حوزه سیاست‌گذاری راهبردی تا صنایع حمل و نقلی، از پول و گردش اعتبار مالی تا مبادلات الکترونیک اسنادی، از محیط زیست دریایی تا وضع قوانین و حقوق دریایی و حمل و نقل، از نقد حال تا رصد آینده، از آموزش و پرورش منابع انسانی تا نشر علم و دانش و زایش اندیشه و از «نظر» تا «عمل و اقدام» شامل گرداند.

پهنه‌ای که در حمایت و طرف‌گیری خود در «نظام تحقیقات و مطالعات» متکی به راهبردهایی برای دانش محوری و مساله‌گرایی، جامع‌نگری و نظام‌گرایی، واقع‌بینی و مثبت‌اندیشی، تحلیل‌گری و نکته‌سنجی، فرصت‌سازی و آینده‌نگری و بالاخره، اتکا به مسئولیت‌پذیری اخلاق‌گرا و تعهد داشتن به نفس تحقیقات و کارکردگرایی، بر پایه‌ی نظام مشارکت‌اندیش و کار «تیمی» و «گروهی» باشد.

به طور طبیعی، آن چه که می‌تواند انرژی لازم را تدارک نماید، اتکای به خلاقیت‌ها

و نوآوری‌هاست که در پرتو شناخت نیازهای زمانه حاصل می‌آید. خلاقیت، لزوماً منجر به یافتن راه حل‌های بهتر نمی‌شود، اما همیشه می‌تواند ما را در تولید ایده‌های نو، طرح‌های بیشتر و بهتر و به دست آوردن بینش‌های تازه‌تر یاری نماید.

**دامن فکر بلند آسان نمی‌آید به دست زرد شد تا مطلعی را کرد رنگین آفتاب<sup>۲</sup>**

از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین مسایلی که امروزه، سازمان‌ها با آن رو به رو هستند، مسأله‌ی «نوآوری» است. نوآوری در شناخت، پرورش و بهره‌برداری از قابلیت‌های بالقوه، نوآوری در ایجاد امکان برای موفقیت تولیدات و خدمات، نوآوری با هدف جستجوی راه‌ها برای انطباق بیشتر با نیازهای بازار و مصرف‌کنندگان و نوآوری در بهره‌برداری از سرمایه و منابع مالی و فنی.

تمامی این مصداق‌ها، نشانگر نقش نوآوری از یک سو، و ضرورت تمرکز بر آن با هدف شناخت عناصر، ابزارها و سامانه‌های مفید برای جاری سازی نوآوری و تقویت مبانی و بسترها و فضاها، ایجاد کننده‌ی آن، از سوی دیگر است.

در این خصوص، وجود یک فصل نامه تخصصی - حرفه‌ای، که به طور کامل در زمینه‌ی تحقیقات، مطالعات و پژوهش، اهتمام به ارایه‌ی دیدگاه‌های گوناگون فکری و یافته‌ها و دستاوردهای نو کند، می‌تواند با به چالش کشیدن تجربه‌ها و اندیشه‌ها، نیازهای فکری بر سر راه سازمان‌ها را، در دسترسی به اندیشه‌های نو، تامین نماید. امروزه، سازمان‌ها و موسسه‌های تولید کننده کالا و خدمات در سراسر جهان، و از آن

۲. دیوان صایب تبریزی، جلد اول، به تصحیح محمد قهرمان، نشر انتشارات علمی و فرهنگی

جمله سازمان بزرگی چون سازمان بنادر و کشتیرانی و مجموعه‌ی موسسه‌ها و شرکت‌های حمل و نقل دریایی در کشور ما، با مسایل ویژه‌ای مواجه هستند که از جمله‌ی آن‌ها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

الف) طرح‌های جامع بنادر باتوجه به چشم اندازه‌های بلند مدت (چشم انداز ۲۰ ساله) و برنامه‌ریزی‌های ادواری توسعه (پنج ساله).

ب) افزایش حجم کالا برای ورود به بازارهای جهانی از طریق وسایل حمل و نقل دریایی که بر اثر افزایش سهم بازار و تقاضای رو به تزاید بازار تجارت آزاد جهانی، به وجود آمده است.

ج) افزایش سطح و سرانه‌ی فعالیت‌های بندری، که مستلزم توسعه‌ی نقش بازاریابی بنادر است.

د) ضرورت توجه به کاهش هزینه‌ها، از طریق کوچک سازی موسسه‌ها و کاهش تعداد کارکنان، بهبود فرآیندها، ارتقای سطح کیفی خدمات و کالاها و توسعه‌ی پهنه و باند سرمایه‌گذاری‌های بنیانی و واسطه‌ی و نهایی، از طریق بهره‌برداری از منابع خارجی، به لحاظ عرضه‌ی ارزان خدمات و کالا و توفیق در رقابت در بازار مصرف جهانی.

ه) توسعه‌ی فن‌آوری در مسیر تحقق اهداف تجارت الکترونیک.

و) حذف فرآیندهای شغلی - حرفه‌ای مازاد، حاشیه‌ای و کم درآمد موجود و از همه مهم‌تر، پرداختن به آن چه که تحت عنوان «کسب معلومات و دانش و آگاهی، برای رشد و تعالی و هم ترازى با سطوح قابل قبول اقتصاد جهانی در حوزه تجارت حمل و نقل، به آن احتیاج است». در چنین شرایطی و باتوجه به گستردگی دامنه‌ی ارتباطات بین‌المللی، نیاز اساسی سازمان‌ها، ارایه خدمات بیشتر و مطلوب‌تر به «جامعه‌ی هدف» است که می‌تواند، بازار مصرف و تقاضای مصرف کنندگان، بازار سرمایه مالی و فنی و

مسالهی جذب و توسعه‌ی سرمایه‌گذاری، بازار تولید و جا به جایی (حمل و نقل) تولیدات را شامل گردد، که این خود، مستلزم برخورداری از اطلاعات روزآمد و دستاوردهای مطالعاتی و پژوهشی است.

اما، آنچه که در یک فرآیند نهایی، می‌تواند در خدمت مقاصد فوق قرار گیرد، در واقع امر، اتکای به موضوع «نوآوری» است. موضوعی که از طریق «منابع فکری» و «بسترها و زمینه‌های وابسته به نشر و ترویج» آن، به دست می‌آید.

«نوآوری» به عنوان یک نیاز جدی و مسالهای پیچیده، که تحت تاثیر ابعاد مختلفی قرار دارد، در فضای تبادل آرای فکری و پژوهش و مطالعه، قابل پرورش و پردازش است و وجود یک «فصل نامه»، به عنوان فضایی که در قالب آن، بتوان کانون و ساحتی را برای جلب آرا و عقاید، تحقیقات و مطالعات، دیدگاه‌ها و نظریه‌ها، فراهم نمود و به پشتوانه‌ی آن قادر شد تا امکانی را مهیا ساخت که در «بهترین حالت ممکن» بتوان به «انواع بهترین» رویکردها و راه کارها، در زمینه «نوآوری» دست یافت، از جمله‌ی روش‌های مهم پیش روی است.

مرغ خانه، باهما پروا مکن	پر نداری نیت صحرا مکن
چون نه‌ای بحری، به بحر اندر مشو	قصد موج و غره‌ی دریا مکن
ورکنی، پس گوشه‌ی کشتی بگیر	دست خود را تو ز کشتی وا مکن
گر بیفتی هم در آن کشتی بیفت	تکیه تو، بر پنجه و بر پا مکن
میوه‌ی خامی، مقیم شاخ باش	بی معانی ترک این اسما مکن <sup>۳</sup>

حدود قابل توجهی از فعالیت ذاتی سازمان‌ها را، موضوع تحقیق و پژوهش و ایجاد

۳. کلیات شمس تبریزی، مولانا جلال‌الدین محمد مولوی، نشر امیرکبیر

شرایط برای تقویت این نهاد تشکیل می‌دهد. رویکرد توسعه طلبانه‌ی معاصر برای گسترش تحقیقات، نشانه‌ای از انجام اقدام‌های حمایتی، برای برطرف نمودن این نیاز است. در این راستا، یکی از وظایف مهم مدیریت همانا، «افزایش خزانه و گنجینه‌ی دانشی و علمی درون سازمان» هاست. نکته‌ای که از سویی می‌تواند به عنوان یک اقدام حمایتی از موضوع تحقیق و پژوهش باشد و از سویی دیگر، به عنوان ابزاری تلقی گردد، که هر اقدام عملی و اجرایی را، به پشتوانه‌ی یک اقدام مطالعاتی، علمی و پژوهشی، پیاده‌سازی و محقق نماید و یا به زبانی دیگر، هیچ اقدام اجرایی را، جز به پشتوانه‌ی یک کار شکافی علمی، انجام ندهد. ایده‌ای که صرفاً از طریق مدیریت دانش و مدیریت برای کسب یافته‌های مطالعاتی و پژوهشی، قابل پیاده‌سازی است.

دانسته است که، مدیریت بر سرمایه‌های غیرمادی و غیر ملموس، یا به عبارتی مدیریت بر دانش و فن‌آوری، از جمله قابلیت‌های ارشد و کاملاً حرفه‌ای مدیران محسوب و منظور می‌شود. به طور اساسی، دانش، فن‌آوری و علم، با سرمایه‌های مادی موجود که در قالب سرمایه‌های واسطه‌ای، بنیانی، مالی و پولی آن‌ها را می‌بینیم، تفاوت اساسی دارد. دانش و آگاهی عالمانه، منحصرأً به توسط «افراد خاص» یا «گروه‌های مطالعاتی» و یا «مجموعه‌های تحقیقاتی»، ایجاد می‌شود و پس از آن، به اتکای خروجی به دست آمده از این نهاده‌های فردی یا جمعی، و پیاده‌سازی آن‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد، به همین دلیل، «مدیریت بر دانش» به «مهارت‌ها» و «ابزارها»ی کاملاً متفاوتی با مدیریت بر حرفه، مدیریت بر تاسیسات و سازمان‌ها و مدیریت بر منابع انسانی و سرمایه، نیازمند است.

به نحو اساسی، جاری سازی جریان تفکر و اندیشه به درون سازمان‌ها و پردازش این وجه از فعالیت سازمان‌ها، که به دانش و آگاهی علمی نیز، در کنار فعالیت‌های فنی -

حرفه‌ای توجه کنند، مستلزم اعمال مدیریت دانش از یک سو، و انجام سرمایه‌گذاری در زمینه‌ی علم و دانش، از سوی دیگر است. در این خصوص، یکی از نتایج به دست آمده، که توانسته است تا به بهترین نحو، در خدمت تامین اهداف سازمان‌ها باشد، این است که، سرمایه‌گذاری در زمینه‌ی مدیریت دانش و سرمایه‌گذاری در علم و دانش، می‌تواند، به ابعاد بهره‌برداری بیشتر و نگهداری و توسعه‌ی مطلوب‌تر سرمایه‌های فیزیکی (امکانات، ماشین‌آلات و تجهیزات) و ارتقای سطوح کارایی، خلاقیت و نوآوری منابع انسانی چه به صورت مستقیم و چه به وجه غیرمستقیم کمک و یاری رساند. این مزیت و دستاورد ویژه، ناشی از این عملکرد است که :

سرمایه‌گذاری در زمینه‌های مدیریت و تولید علم و دانش، به این دلیل که به راه کارهای سرمایه‌گذاری و پیش‌بینی نیازهای آینده و آتیه‌سنجی می‌پردازد، و شیوه‌های بهره‌برداری کننده از منابع را، با اتکا به روش‌های علمی، با رعایت صرفه و صلاح اقتصادی همراه می‌سازد و با معرفی راه کارهای تازه در بازاریابی - توزیع و خلق نوآوری در تولید و رقابت، کوتاه می‌کند، لذا، به پشتوانه‌ی وجود این مزیت‌ها سازمان‌ها قادر می‌شوند تا با «نرخ بهره بهره‌وری» بالاتر، از قابلیت‌های در اختیار خود، بهره‌برداری کنند.

براین اساس، ایجاد فضایی که ناشی از آن، رویکردهای مدیریت بر دانش ترویج گردند و متبادر از آن، امکانی فراهم آید که نسبت به شناخت آگاهی‌ها و افزایش خزانه‌ی دانشی، ایجاد انگیزه و شوق شود، می‌تواند منجر به تقویت و ساماندهی بخشی از منشور فکری و راهبردی مرکز تحقیقات، در ساماندهی و یکپارچه سازی مدیریت تحقیق و توسعه و توضیح و توسعه پیوند تحقیقات و تصمیم‌سازی‌ها گردد.

تامین این چنین اهدافی، طبعاً به ملزوم‌ها و امکانات احتیاج دارد که نشر یک فصل



نامه، می‌تواند به عنوان بخشی از اقدام فرهنگی خاص این نوع رویکردهای حمایتی، تلقی گردد. فصل‌نامه‌ای که می‌تواند رویکردهای هدفی و انتظارهای زیر را تامین نماید.

(۱) مسالهی زمان برای دسترسی به نوآوری، از جمله مسایل پیچیده‌ی عصر حاضر است. شتاب ارتباطات به پشتوانه‌ی وسایل الکترونیک معاصر، هیچ تاخیری را برای جاماندگی نمی‌پذیرد. براین اساس، «سرعت» از جمله‌ی راه کارها، برای رسیدن به نوآوری است.

شناخت زمینه‌های سرعت و شناخت فرصت‌ها، اقدامی بسیار مهم برای رسیدن به نوآوری‌هاست و آنچه که در این میان حایز اهمیت می‌نماید وجود یک هم‌افزایی و هم‌اندیشی خاص فکری است که از طریق یک سامانه‌ی مشخص، قادر به تبیین آن می‌گردد.

وجود یک فصل‌نامه، کانونی برای ایجاد این سامانه است که به وسیله‌ی آن، امکانی برای هم‌افزایی فکری فراهم می‌آید تا که در فضای فرهنگی آن، نخبگان فکری و منابع انسانی علاقمند به نشر یافته‌های آکادمیک و تجربی، یافته‌های خود را، مطرح نمایند. این سامانه، فرصتی است که زمان مناسب را، برای دسترسی به نوآوری‌ها و ایده‌های خلاق، فراهم می‌آورد.

(۲) ترویج فرهنگ پژوهش، بر محوریت آنچه که منشور مرکز تحقیقات می‌نامیم، نیازمند پردازش و پرورش مستمر است. وجود فصل‌نامه، جریان روان‌اندیشه‌ای است که باعث، حفظ حیات و پویایی این فرهنگ می‌شود. هر شماره که انتشار می‌یابد، حامل بارهای فکری و ارزشی بسیار است که در هر نوبت، خونی تازه به جریان این فرهنگ می‌دهد.

(۳) نوآوری، به عنوان یک اصل حیاتی، تعابیری گوناگون دارد. از آن جمله، الهام

پذیری، خلاقیت، یادگیری و سفر به ناشناخته‌هاست. فصل نامه، وضع دریچه‌ای برای ورود به نوآوری، بر محور این نوع از تعبیرهاست.

۴) یکی از راه‌های مقابله با مشکلات ناشی از پیش‌بینی‌های نامشخص، حرکت در مسیر وضع کانون‌های پیش‌بینی کننده‌ی شرایط مشخص است. این مهم از طریق نهادهای فرهنگی به دست می‌آید. نهادهایی که می‌توانند، کانونی برای تمرکز فکری منابع انسانی درون و برون سازمانی باشند.

بدون شک، وجود این فصل نامه، به مثابه‌ی وجود کانونی است که می‌تواند باعث شکل‌گیری نگرش‌های پیش‌بینی کننده از شرایط پیش‌روی باشد. ایجاد محیطی متناسب با رویکردهای فرهنگی که جز بر راستای ارزش‌گذاری برای موقعیت‌های علمی و احترام نهادن به جایگاه پژوهش و تحقیق هدف دیگری ندارند و در این راستا توفیق خود را، در آن می‌بینند که بتوانند، نسبت به برانگیختن احترام، برای جایگاه تحقیق و پژوهش فعالیت کنند به طور قطع قادر خواهند شد تا در پرتو برون داده‌های موثر و مفید، نسبت به تعمیم این هدف، موفق گردند.

۵) برای نوآوری‌های موثر، مهم‌ترین دانش، دانش پنهان نزد افراد است، ایجاد فرصت و فضا، برای حضور این دسته از افراد، که کانون یک فصل نامه تحقیقی - پژوهشی می‌تواند، مصداقی عینی برای آن باشد، گامی برای دست یافتن به این دانش پنهان است.

۶) با ایجاد ارتباط علمی بین افراد، بین سازمان‌ها و بین مجموعه‌های درون سازمانی، می‌توان به تولید دانش، نوآوری و خلاقیت سرعت داد، و به این ترتیب فضایی را برای تشکیل دانش‌های مکمل، مشارکت بخشی و هم‌افزایی فراهم آورد. فصل نامه، فرصتی برای تشکیل این محور ارتباطی بین افراد، بین

سازمان‌ها و بین مجموعه‌های درون سازمانی است که با جمع‌آوری آرای آنان، زمینه و امکان لازم را بر عینیت بخشاندن به هم افزایی دانش‌ها فراهم می‌سازد. این فرآیند، تجمع دانش نیز نامیده می‌شود.

بنابراین، فصل نامه را می‌توان، کانونی متشکل از مجموع دانش‌ها و تجارب حاصل از مهارت‌ها، یافته‌ها و تجربه اندوزی‌های فردی تمام کارکنان سازمان و تک تک واحدهای سازمانی دانست که مخاطبان زیر را شامل می‌شود.

(۱) حوزه‌های مطالعاتی - پژوهشی و مراکز تحقیق و توسعه‌ی مرتبط با حمل و نقل دریایی و سایر موسسه‌ها و سازمان‌های وابسته.

(۲) مدیریت و نظام برنامه‌ریزی در حوزه‌های دریایی و بندری.

(۳) کارشناسان، مدیران اجرایی و واحدهای برنامه‌ریزی در سازمان بنادر و کشتیرانی.

(۴) مراکز آموزشی و دانشگاهی مرتبط با رشته‌ها و تخصص‌های دریایی و بندری حمل و نقل دریایی و کشتیرانی.

(۵) موسسات حقوقی با تاکید بر حقوق دریایی، موسسات خدماتی و کشتیرانی، انجمن‌ها و نهادهای صنعتی در حوزه‌ی دریایی و بندری و کشتیرانی.

بر آن بودم که فرهنگی بجویم      که آن مه، رو نهد رویی به رویم  
بگفتم یک سخن دارم به خاطر      به پیش‌آ، تا بگوش تو بگویم

نباشد بی‌حیات آن نقش کو کرد

کمین نقشش منم، در های و هویم

در خاتمه، با کلمه و کلامی برخاسته از علاقه‌ای شوریده به جستن و عشق به یافتن، پذیرای اشاره‌ها، تفصیله‌ها و رهنمودهای شما؛ گهر اندیشان پهنه‌ی خاک، این بزرگ

معدن ثروت هستیم. حاصل کار، محصول تک تک اندیشه‌هاست وقتی که از مفهوم فرد خارج و به مفهوم جمع وارد می‌شوند.

ما همگی، قدر این هم‌افزایی‌ها و هم‌اندیشی‌ها را، در تجلی اختراعات و اکتشافات می‌بینیم. دعا می‌کنیم تا که همیشه چشم به این تجلیات دوزیم.

فرش معنا، به‌تار اندیشه و پود مشارکت فکری و یدی بافته می‌شود. گام بر آن، زیباست آن هنگام که دست در دست هم نهیم، حتی اگر در نظریه، گاه ناساز باشیم.

**مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی**

## کاربرد متدولوژی شش سیگمای ناب در ترمینال کانتینر بندر شهید رجایی

دکتر رسول نورالسنا

دکتر عباس سقایی

دکترای مهندسی صنایع

دکترای مهندسی صنایع

[rassoul@iust.ac.ir](mailto:rassoul@iust.ac.ir)

[a\\_saghaei@yahoo.com](mailto:a_saghaei@yahoo.com)

حمید اسماعیلی

دانشجوی دکترای مهندسی صنایع

[ie\\_hamidesmaeli@yahoo.com](mailto:ie_hamidesmaeli@yahoo.com)

### چکیده

رویکردهای بهبود متعددی با میزان اثربخشی متفاوت طی سال‌های مختلف توسط پژوهشگران و اساتید دانشگاه‌ها به صنعت معرفی شده است. متدولوژی شش سیگما از جمله آن‌هاست که در دل صنعت شکل گرفته است و به دلیل اثربخشی فوق‌العاده آن مورد توجه دانشگاهیان و جوامع علمی دنیا واقع شده است. این متدولوژی که ابتدا در بخش تولید مطرح شد به دلیل توان تحلیلی بالای آن، به سرعت مسیر خود را در بخش خدمات که از فرصت‌های بهبود شایانی برخوردار است باز نمود. در این مقاله تلاش خواهد شد تا تجارب و آموخته‌های حاصل از اجرای این متدولوژی در بندر شهید رجایی همراه با مراحل اجرایی شدن آن، به رشته تحریر آورده شود.

**واژه‌های کلیدی:** شش سیگما، تحلیل آماری، خدمات بندری، بندر شهید رجایی،

ترمینال کانتینر، حمل و نقل



## ۱. مقدمه

از زمان معرفی متدولوژی شش سیگما توسط شرکت موتورولا در اواخر دهه ۱۹۸۰، سازمان‌های مختلفی در حوزه‌های تولید و خدمت توانسته‌اند از این متدولوژی در جهت بهبود کیفیت، افزایش رضایت مشتری و صرفه‌جویی‌های مالی استفاده کنند. این متدولوژی که بر پایه اصول علمی آماری و مهندسی بنا نهاده شده است، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا با ارتقای سطح دانش کارکنان خود، مشکلات و مسائلی که مانع از رسیدن آن‌ها به سطح عملکرد مطلوب در فرایندهای کاری می‌شود را برطرف سازند. به عبارت دیگر، متدولوژی شش سیگما زبان مشترکی برای شناسایی و حل مشکلات سازمان‌ها در بخش‌های تولیدی و خدماتی فراهم می‌سازد. این متدولوژی با استناد بر نقشه بهبود، کمک می‌کند تا کارکنان به طور آگاهانه، ابزارهای موردنیاز خود را انتخاب نموده و گام‌های لازم جهت حل مسایل شناسایی شده را به نحو هدفمند بردارند.

یکی از قابلیت‌های بارز متدولوژی شش سیگما انعطاف پذیری آن جهت به کارگیری این متدولوژی در فعالیتهای تجاری مختلف اعم از تولید یا خدمات می‌باشد. وجود این قابلیت سبب گردیده تا متدولوژی شش سیگما در حوزه‌های مختلف تولیدی نظیر خودروسازی، پتروشیمی، لوازم پزشکی، ادوات نظامی و غیره به طور جدی مورد استفاده قرار گیرد. متدولوژی شش سیگما که یک رویکردی نظام‌مند و منطقی برای بهبود و حل مساله‌های سازمانی محسوب می‌شود نه تنها در سازمان‌های تولیدی بلکه در سازمان‌های خدماتی مختلف نظیر بانکداری، حمل و نقل، پزشکی، خدمات عمومی، هتلداری و غیره نیز مورد استقبال قرار گرفته است. از آن جایی که ماهیت فرایندهای تولیدی و خدماتی متفاوت است باید برای هر فرایند از ابزارهای متناسب و سازگار با آن فرایند استفاده نمود. در این راستا، رویکرد شش سیگمای ناب با نگرش ترکیب و

استفاده همزمان از دو رویکرد شش سیگما و تفکر ناب مورد استفاده بسیاری از سازمان‌های خدماتی قرار گرفته است. پژوهشگرانی نظیر جانسون<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، کالدول<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، اسیمای<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) و ویندزر<sup>۴</sup> (۲۰۰۶) توانسته‌اند از این رویکرد به نحو اثربخشی در بخش‌های مختلف خدمات استفاده کنند.

در ایران نیز این متدولوژی از سال ۱۳۸۲ به طور جدی مورد توجه سازمان‌های مختلف در حوزه تولید و خدمات قرار گرفته است. مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران نیز با توجه به قابلیت‌های مختلف این متدولوژی تصمیم گرفت در سال ۱۳۸۴ از این متدولوژی جهت بهبود فرآیندهای مختلف از جمله کاهش زمان تحویل کالا به صاحبان کالا، افزایش میزان تخلیه و بارگیری و کاهش سطح سوانح در اسکله بندر شهید رجایی استفاده کند. پس از انجام هماهنگی‌های لازم و ارایه آموزش‌های موردنیاز به تیم‌های کارشناسی متشکل از کارکنان بندر و شرکت تایدواتر به عنوان اپراتور ترمینال کانتینر، فرآیندهای کلیدی شناسایی و داده‌های مورد نیاز تهیه شدند. پس از آن و به طور علمی توسط این افراد و به کمک تیم مشاور طی جلسه‌های متعدد از زوایای مختلف تحلیل و اقدام‌های بهبودی آور موردنیاز انجام شد. دستاوردهای حاصل از این اقدام‌ها که در اختیار مدیریت‌های مختلف قرار گرفت، حاکی از اثربخش بودن اقدام‌ها و ایجاد صرفه جویی‌های مالی بوده است.

در این مقاله تلاش می‌شود تا جزییات فعالیت‌ها و تحلیل‌های علمی انجام شده، که بر اساس نگرش‌های آماری و مهندسی بنا شده‌اند، همراه با دستاوردهای حاصل از آن‌ها

- 
1. Johnson
  2. Caldwell
  3. Esimai
  4. Windsor



به رشته تحریر در آورده و به جامعه حمل و نقل کشور ارایه شود. در بخش بعدی این مقاله با تعریف خدمت، تفاوت خدمت با تولید و ضرورت بهبود خدمات بررسی می‌گردد. سپس در بخش سوم نحوه به کارگیری شش سیگما در اسکله شهید رجایی توضیح داده خواهد شد و در بخش چهارم جمع بندی و نتیجه‌گیری ارایه می‌شود.

## ۲. خدمت و ضرورت بهبود در خدمات

یک خدمت، فعالیت یا مجموعه‌ای از فعالیت‌های کم و بیش ناملموس است که به طور معمول (و نه الزاماً) در تعاملات بین مشتری و ارایه دهنده‌ی خدمات صورت می‌گیرند. هدف از تعامل، عمدتاً راه حل‌هایی برای رفع مشکلات مشتری است. خدمات در مقایسه با محصولات، دارای تفاوت‌هایی است. زیتامل<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۰) این تفاوت‌ها را به صورت ذیل مطرح می‌کنند:

الف. اکثر خدمات ناملموس می‌باشند. از آن جا که خدمات غالباً در قالب عملکرد یا تجربیات به مشتری ارایه می‌شود، تعیین مشخصات فنی یا مهندسی برای آن‌ها به وجهی که در زمینه کالاهای ملموس و با هدف ایجاد یکنواختی در تولید، متداول است امکان پذیر نمی‌باشد. به همین دلیل شناسایی دقیق معیارهایی که مشتریان برای ارزیابی کیفیت خدمات مورد توجه قرار می‌دهند، کار چندان ساده‌ای نیست.

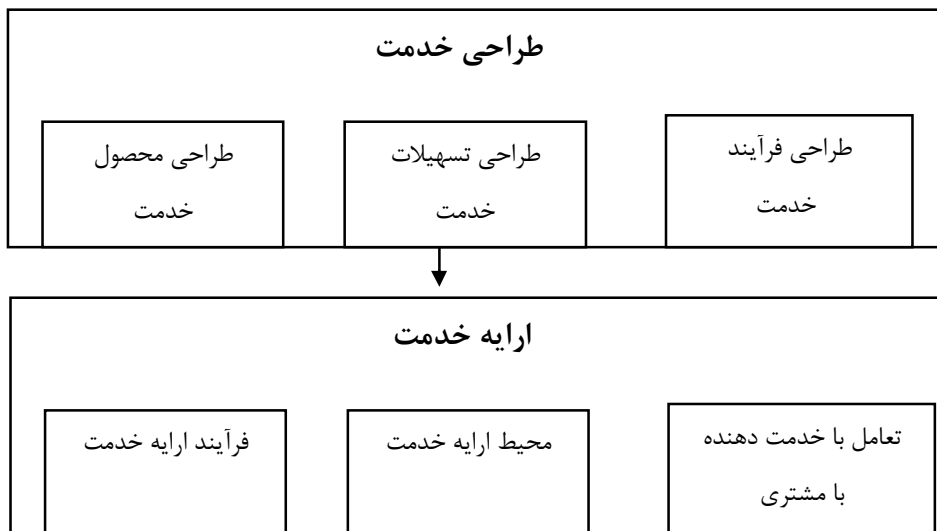
ب. خدمات ناهمگون و ناهمسان هستند. خدمات (به ویژه خدماتی که به مقدار زیادی از عملکرد نیروی انسانی بهره می‌برد) ناهمگون و ناهمسان می‌باشد. به بیان دیگر

عملکرد کارکنان سازمان از یک تولید کننده با تولید کننده دیگر، از یک مشتری با مشتری دیگر و حتی در یک روز با روز دیگر تفاوت دارد. از همین رو بر خلاف محصولات ملموس، استاندارد سازی عملکرد کارکنان با هدف تضمین یکنواختی محصول عرضه شده به مشتریان به ندرت امکان پذیر است. با توجه به این که در این مقاله منظور ارایه خدمات بندری به مشتری می باشد و نوع خدمات مشخص است لذا تعیین شاخص کار غیرممکن و پیچیده ای نیست.

ج. تولید و مصرف خدمات به صورت همزمان رخ می دهد. مرحله تولید و مرحله مصرف بیشتر خدمات غیر قابل تفکیک می باشد. استفاده از خدمات اغلب در زمان عرضه خدمت انجام می شود. در اغلب موسسه های خدماتی، مشتری در همان محل تولید و عرضه خدمت حضور مستقیم دارد و فرایند تولید را با دقت تمام مشاهده می کند. خدمات تولید شده را نمی توان پیش از مصرف توسط مشتری در محلی انبار نمود. ارزیابی کیفیت خدمات در همان زمانی انجام می شود که خدمت مورد نظر مراحل مختلف فرایند تولید را طی می کند.

د. کیفیت خدمات تنها تابع خروجی فرایند نیست. مشتریان، کیفیت خدمات را تنها بر اساس خروجی فرایند تولید خدمت مورد ارزیابی قرار نمی دهند. تمامی جزئیات فرایند ارایه خدمت به مشتری در نحوه ارزیابی خدمت به مشتریان موثر است. به عنوان مثال برای مشتری یک آرایشگاه تنها وضعیت موی سر پس از پایان اصلاح مهم نیست بلکه نحوه برخورد شخص آرایشگر با مشتری، صمیمیت او، رفتار او در حین آرایش و بسیاری از موارد دیگر نیز ارزیابی مشتری از کیفیت خدمت عرضه شده در آرایشگاه را تحت تاثیر قرار می دهند. اما وزن نتیجه فرآیند آن قدر برای مشتری مهم و اساسی و تاثیرگذار است که برخی از جزئیات فرآیند قابل چشم پوشی است و تاثیری در ادامه

مراجعه مشتری برای اخذ خدمات نخواهد داشت هر چند بی‌تاثیر نیست. یانگ<sup>۶</sup> (۲۰۰۵)، معتقد است که به منظور بهبود حوزه خدمات نیاز است که مواردی همچون طراحی و تحویل خدمات در نظر گرفته شود. شکل ۱، حوزه‌های مختلفی را که باید مورد توجه قرار گیرند تا کیفیت خدمات در مراحل طراحی و ارزیابی خدمت بهبود یابد را نشان می‌دهد.



شکل ۱: طراحی و ارزیابی خدمت، (یانگ ۲۰۰۵)

اکثر افراد تصور می‌کنند که تعداد و اهمیت سازمان‌های تولیدی نسبت به سازمان‌های خدماتی بسیار بیشتر است. اما بر خلاف این عقیده، فعالیت‌های خدماتی نه تنها تعداد بیشتری از فعالیت‌های اقتصادی را به خود تخصیص می‌دهند، بلکه از لحاظ ارزش نیز اهمیت بیشتری دارند. پیتر دارکر معتقد است که «تمامی سازمان‌ها، سازمان‌های خدماتی هستند، بعضی از این سازمان‌های خدماتی، محصول نیز تولید

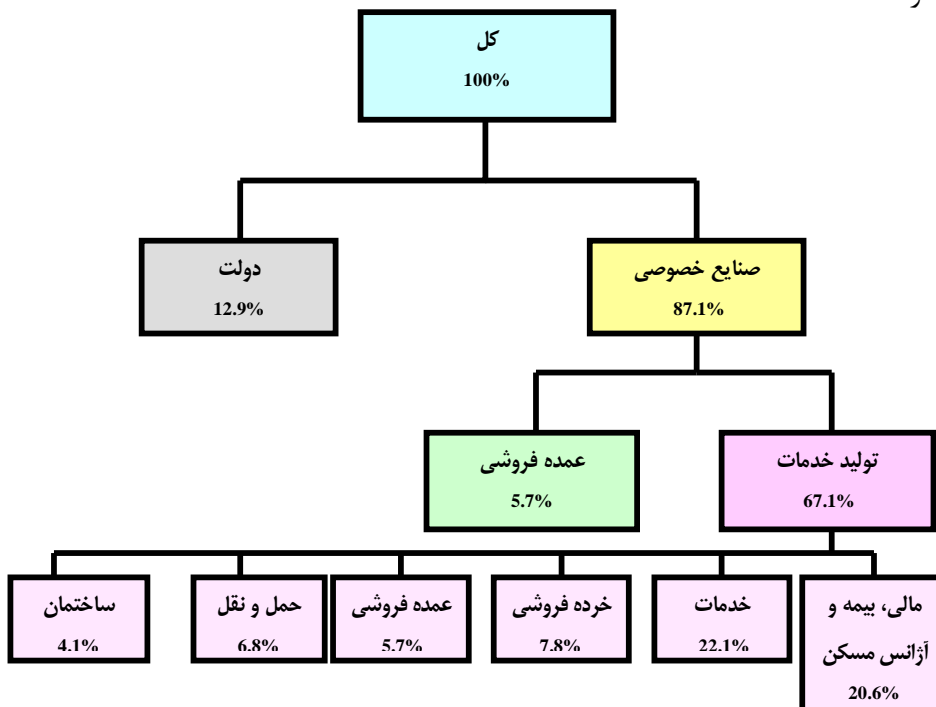
می‌کنند.»

سیستم طبقه‌بندی صنایع امریکای شمالی، فعالیت‌های اقتصادی را براساس ماهیت به ۱۰ حوزه طبقه‌بندی می‌نماید. این ۱۰ حوزه عبارتند از (گوئل<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۰۵):

- صنایع ساختمانی.
- صنایع مالی، بیمه و آژانس مسکن.
- فعالیت‌های دولتی.
- ساخت و تولید.
- صنایع معدنی (کمترین سهم از لحاظ استخدام منابع انسانی).
- عمده فروشی.
- خرده فروشی.
- خدمات (بیشترین سهم از لحاظ استخدام منابع انسانی).
- حمل و نقل و تسهیلات عمومی.
- کشاورزی.

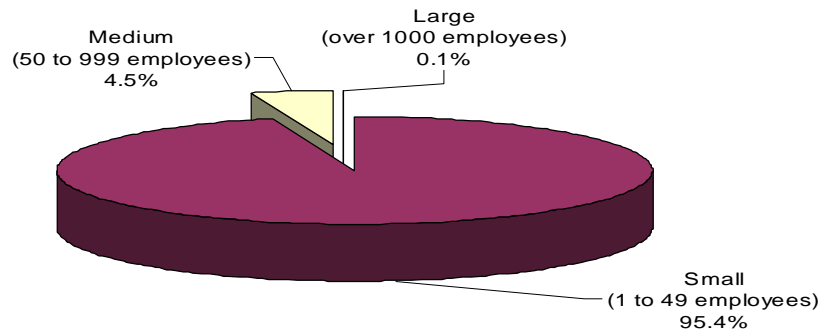
از این موارد به غیر از ساخت و تولید و صنایع معدنی و قسمتی از فعالیت‌های دولتی بقیه موارد جزئی از صنایع خدماتی به شمار می‌روند. شکل ۲، سهم هر یک از این بخش‌ها در کل فعالیت‌های اقتصادی را در امریکا نشان می‌دهد. همان گونه که در این شکل نیز مشخص است، ۶۷/۱ درصد از کل فعالیت‌های اقتصادی، به صنایع خدماتی اختصاص دارد. هم چنین گوئل (۲۰۰۵) نشان می‌دهد که ۹۰ درصد از سازمان‌های کوچک، که ۹۵ درصد از سازمان‌های ایالات متحده را تشکیل می‌دهند، سازمان‌های خدماتی هستند (شکل ۳). موارد فوق اهمیت سازمان‌های خدماتی و سهم بالای این

سازمان‌ها در تولید ناخالص ملی نسبت به سازمان‌های تولیدی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این حقیقت در سایر کشورها نیز با درصدهای به تقریب مشابه هم مصداق دارد.



شکل ۲: طبقه بندی فعالیت‌های اقتصادی و سهم هریک از گروه‌ها بر حسب درصد،

گوئل (۲۰۰۵)



شکل ۳: طبقه بندی سازمان‌ها بر اساس تعداد کارکنان در کشور آمریکا، گویل (۲۰۰۵)

خو (۲۰۰۴) معتقد است که در حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد از درآمدهای سازمان‌های تولیدی و ۴۰ الی ۴۵ درصد از درآمدهای سازمان‌های خدماتی صرف هزینه‌های ناشی از فقدان کیفیت<sup>۸</sup> (COPQ) می‌شود. بنابراین با توجه به این که درصد عمده‌ای از هزینه‌های ناشی از فقدان کیفیت در جامعه به صنایع خدماتی باز می‌گردد لذا طراحی و استفاده از یک رویکرد مناسب برای بهبود فرایندها در سازمان‌های خدماتی، امری ضروری و اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

### ۳. شش سیگما در اسکله بندر شهید رجایی

اسکله شهید رجایی بعنوان یکی از بنادر بزرگ ایران، اولین بندری است که با هماهنگی مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی در سال ۱۳۸۴ جهت استقرار متدولوژی شش سیگما انتخاب گردید. از آن جایی که متدولوژی شش سیگما یک

8. Cost of Poor Quality- COPQ

رویکرد همراه با آموزش و اجرا است و یکی از اهداف اصلی آن نتیجه‌گرایی است لذا با انجام هماهنگی‌های اولیه، تیم‌های حل مساله جهت ایجاد بهبود وضعیت موجود در حوزه‌های «سوانح»، «تحويل کالا به صاحبان کالا» و «نرم بارگیری و تخلیه» شکل گرفتند. در هر یک از حوزه‌های مذکور پروژه‌های متعددی به شرح زیر تعریف گردید:

### ۱. حوزه سوانح

- i. کاهش سوانح منابع انسانی.
- ii. کاهش سوانح کانتینری.
- iii. کاهش سوانح تجهیزات.

### ۲. حوزه تحويل کالا به صاحبان کالا

- i. کاهش زمان ورود تا اخذ مجوز بارگیری.
- ii. کاهش زمان ورود تا شناسایی کانتینر.
- iii. کاهش زمان بارگیری تا خروج.

### ۳. حوزه نرم بارگیری و تخلیه

- i. افزایش نرم تخلیه.
- ii. افزایش نرم بارگیری.

طی جلسه‌های متعدد آموزشی، اعضای تیم‌ها آموزش‌های مورد نیاز را فرا گرفته و پس از هر مرحله از آموزش‌ها اقدامات مورد نیاز جهت تکمیل هر یک از مراحل پنج‌گانه متدولوژی شش سیگما یعنی تعریف، اندازه‌گیری، آنالیز، بهبود و کنترل توسط تیم‌های

### مرحله تعریف

هدف اصلی در این مرحله، تعریف دامنه، اهداف، منابع و زمان در دسترس برای انجام پروژه انتخاب شده می‌باشد. پس از آن که پروژه بامشخصات دقیق‌تری تعریف شد در این مرحله مشخص می‌شود که چه چیزهایی باید در محدوده پروژه مورد بررسی قرار گیرد و پروژه چه مسایلی را در بر می‌گیرد. در این مرحله لازم است جزئیات فرآیندها و مستندات موجود مورد بررسی قرار گیرد و در واقع درک کامل و یکسانی از فرآیند برای اعضای تیم حاصل گردد. جمع‌آوری و تحلیل نظر مشتریان از جمله موضوع‌های مهم این مرحله می‌باشد. بخشی از اقدام‌های مورد نیاز در مرحله تعریف عبارتند از:

i. انجام محاسبه‌های مالی.

ii. تهیه منشور پروژه.

iii. تهیه نقشه فرآیند.

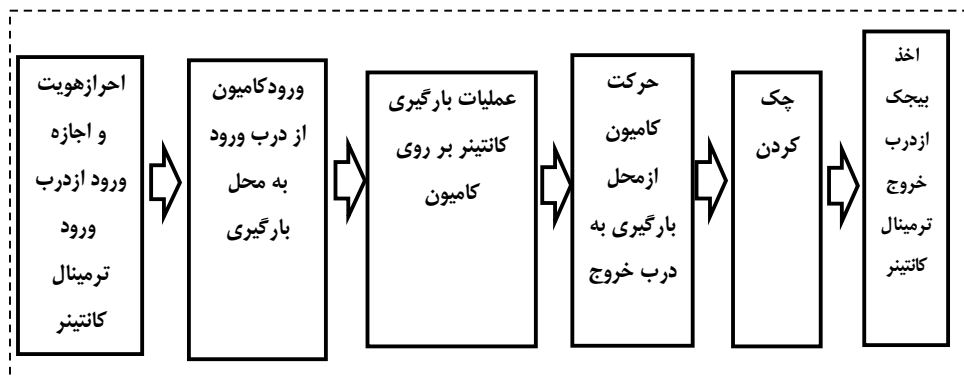
iv. دیدگاه و نظر مشتری و تعیین مشخصه‌های بحرانی

به عنوان نمونه نقشه فرآیند برای مساله تحویل کالا به صاحبان به صورت ذیل

می‌باشد.



Supplier	Input	Process	Output	Customer
صاحبان کالا	کامیون	شروع : احراز هویت و اجازه ورود از درب ورود ترمینال کانتینر پایان: اخذ بیجک از درب خروج ترمینال کانتینر	کانتینر خارج شده	صاحبان کالا
صاحبان کالا	کانتینر			
تایدواتر	تجهیزات		اسناد	صاحبان کالا
صاحبان کالا	اسناد			



پس از انجام مرحله تعریف، تیم با توجه به محاسبه‌های مالی مورد تایید واحد مالی سازمان نشان داد که حل مساله با صرفه‌جویی‌های قابل توجهی همراه می‌باشد.

### مرحله اندازه گیری

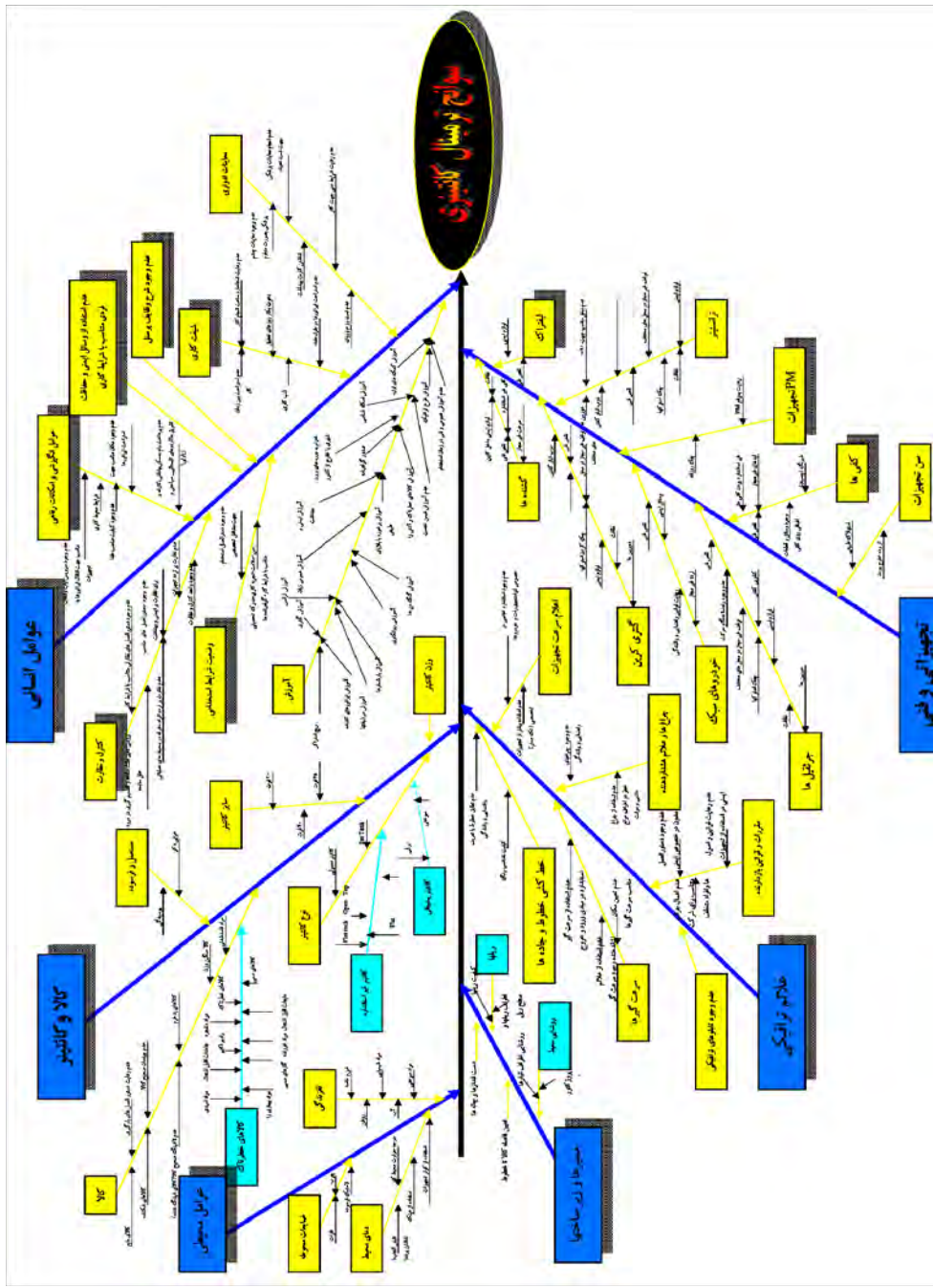
قبل از آن که تجزیه و تحلیل مساله تعریف شده آغاز شود لازم است وضعیت فعلی به درستی مشخص گردد. ابتدا به کمک داده‌های واقعی فرآیندها را کمی کرده و سپس قابلیت و توانایی فرآیندها محاسبه می‌شوند به طوری که فرآیند مورد نظر به دقت اندازه‌گیری می‌شود. ترسیم نمودارهای آماری و تشخیص سطح سیگما از مهم‌ترین

فعالیت‌های این مرحله می‌باشد که در ذیل به بخشی از اقدام‌های انجام شده اشاره می‌شود :

- i. طوفان فکری.
- ii. نمودار علت و معلول.
- iii. تجزیه تحلیل حالات و آثار بالقوه شکست (FMEA).
- iv. برنامه جمع‌آوری داده‌ها.
- v. روش‌های نمایش داده‌ها.
- vi. محاسبه قابلیت فرآیند و سطح سیگما.

به عنوان نمونه نقشه فرآیند برای مساله تحویل کالا به صاحبان به صورت ذیل

می‌باشد.



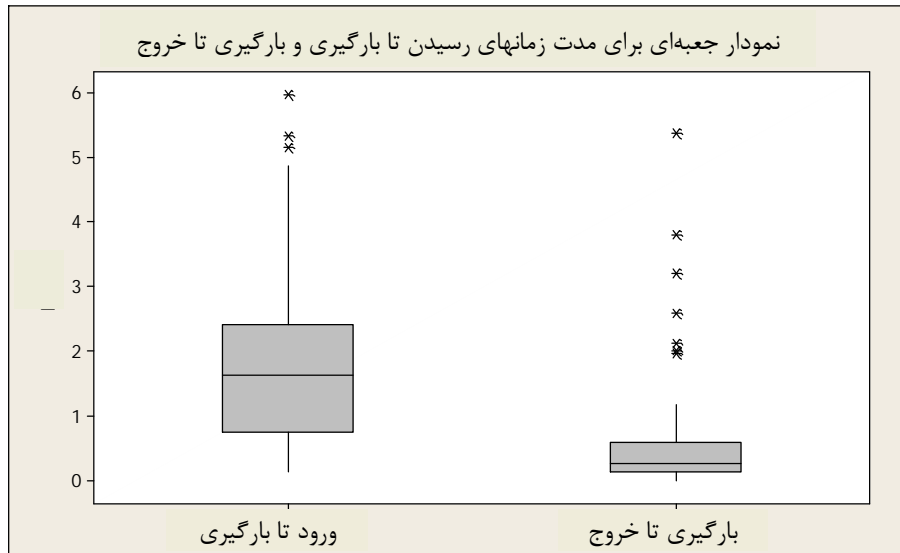
شکل ۵: نمودار علت و معلول

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خطا و اثرات آن									
نام تیم: کاهش زمان تحویل کانتینر به صاحبان کالا									
وظیفه فرآیند	حالات بالقوه شکست	اثرات بالقوه شکست	S E V	X	علل بالقوه/ مکانیزم‌های ایجاد شکست	O C C	کنترل‌های جاری	D E T	R P N
CTD2 کاهش زمان بارگیری	زمان بارگیری بیش از ۲۴۵ دقیقه شود	نارضایتی مشتریان	۱۰		منابع انسانی				
		به خواب خوردن کامیون‌ها	۸		بارشمار	۲	در CTD3 کنترل اندکی وجود دارد	۱ ۰	۲۰ ۰
		دیر رسیدن محموله به مقصد			راننده کامیون	۱	تذکر سر شیفت	۹	۹۰
		ترافیک در ترمینال	۶		اپراتور ترانستینر	۶	به وسیله بی سیم بارشمار	۱	۶۰
		اتلاف وقت اپراتور تجهیزات	۵		عوامل محیطی				
		کمبود تجهیزات	۵		موانع مسیر تردد	۴	روش خاصی نیست	۱ ۰	۴۰ ۰
		ازبین رفتن انگیزه اپراتور	۴		کامیون‌ها	۵	روش خاصی نیست	۱ ۰	۵۰ ۰
		عدم انگیزه بار شمار	۳		نبود علایم راهنمایی	۳	رییس ترمینال	۴	۱۲ ۰
		کمبود کامیون‌های شهری	۲		خرابی سطح مسیر	۶	نظارت مسئول درب خروج	۶	۳۶ ۰

		خستگی راننده	۵		تراکم مراجعه ارباب رجوع	۸	روش خاصی نیست	۱ ۰	۸۰ ۰
		افزایش احتمال سرقت در cy	۸		تداخل مسیر کشنده های شهری و خودی	۵	حفاظت از ترمینال	۶	۳۰ ۰

		ترافیک در درب گمرک	۴		نبود سیستم نوبت دهی مکانیزه	۷	سیستم نوبت دهی حال حاضر را درب خروج کنترل می کند	۷	۴۹۰
		افزایش حوادث	۸		عدم اطلاع رسانی به ارباب رجوع	۳		۸	۸۰
					عدم ثبت صحیح یارد عدم برنامه ریزی دقیق در مورد تخصیص ترانسستینرها به اپراتورها	۴ ۸	سر شیفت ترمینال کانتینری	۷	۵۶۰

شکل ۶: تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خطا و اثرات آن



شکل ۷: نمودار جعبه ای مدت زمان رسیدن تا بارگیری و بارگیری تا خروج

پس از بررسی های انجام شده و اجرای ابزارهای مرحله اندازه‌گیری، تیم باید سطح سیگمای فرآیند خود را محاسبه کند. به طور نمونه در پروژه مدت زمان بارگیری تا خروج، زمان‌هایی که بیشتر از ۲۰ دقیقه باشد برای ما نقص به حساب می‌آید، که تعداد آن‌ها ۷۵ مشاهده از ۱۶۳ مشاهده است.

$$PPM = \frac{75}{163} * 1000000 = 460122.69$$

همان گونه که مشخص گردید از هر یک میلیون صاحب کالایی که برای گرفتن کالای خود به بندر کانتینری مراجعه می‌کنند به طور متوسط ۴۶۰۱۲۲ نفر از آن‌ها زمان بارگیری تا خروجشان بیش از ۲۰ دقیقه به طور انجامیده، و سپس با توجه به جدول سطح سیگما که ارتباط بین PPM با سطح سیگما می باشد سطح سیگمای این پروژه ۱۶ می‌باشد.

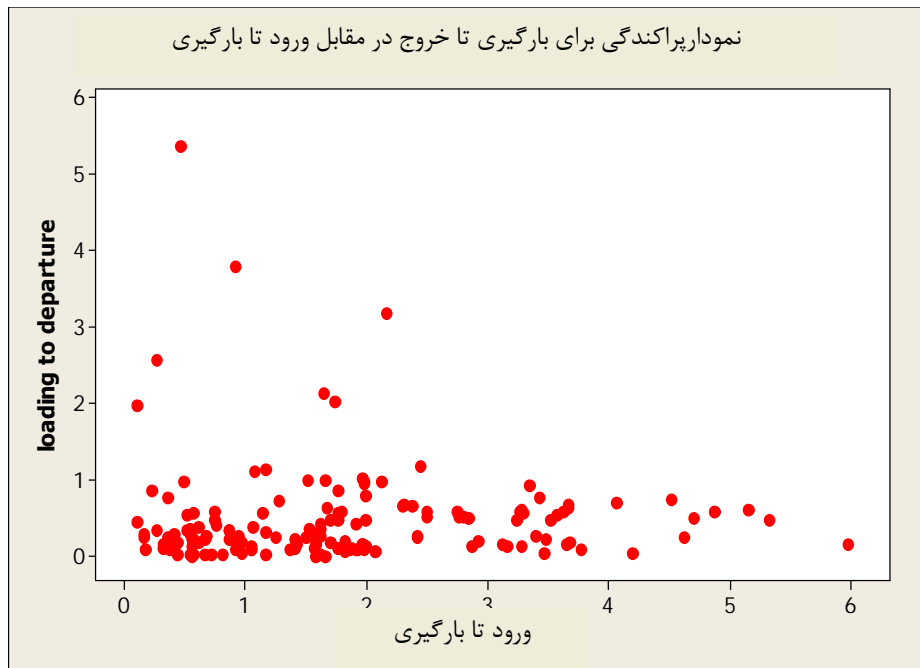
جدول ۱: جدول سطح سیگما

سطح سیگما	DPMO
1 Sigma	۶۹۷۷۰۰
2 Sigma	۳۰۸۷۰۰
3 Sigma	۶۶۸۰۷
4 Sigma	۶۲۱۰
5 Sigma	۲۳۳
6 Sigma	۳,۴

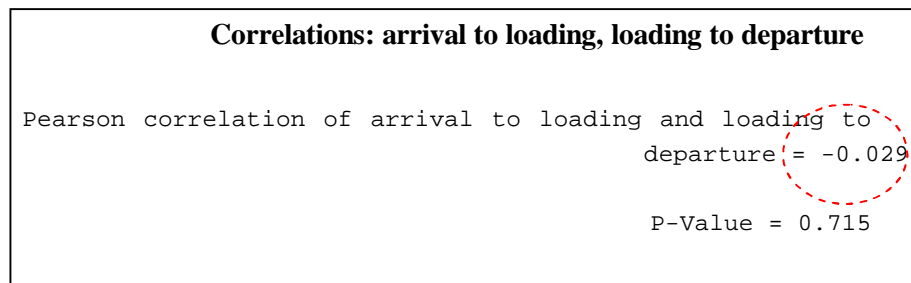
### مرحله آنالیز

در این مرحله باید اعتبار و صحت ریشه‌ها و دلایل موثر بر مساله شناسایی گردند. هدف اصلی، شناسایی دقیق علت‌های موثر بر مساله است تا باعث شناخت عمیق‌تری از فرآیند گردد. علاوه بر این، فعالیت‌هایی که ارزش افزوده ندارند شناسایی شده و امکان حذف و تعدیل آن‌ها بررسی می‌گردد. هم‌چنین از ابزارهای آماری متنوعی برای مقایسه مشخصه‌های متفاوت فرآیند استفاده می‌گردد.

- i. نمودار پراکندگی.
- ii. نمودار چند متغیره.
- iii. آزمون‌های فرض آماری.
- iv. تحلیل واریانس.
- v. آزمون‌های همبستگی و رگرسیون.

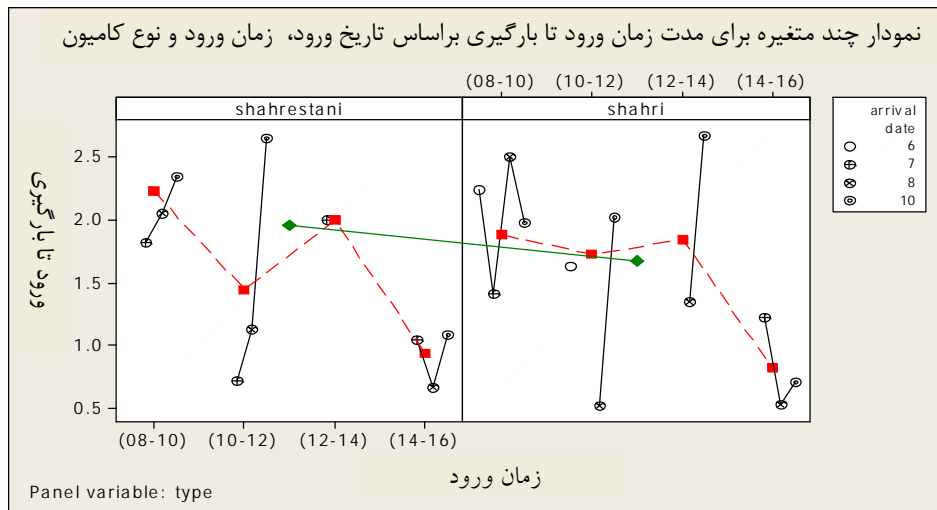


شکل ۸: نمودار پراکندگی برای زمان بارگیری تا خروج در مقابل ورود تا بارگیری



شکل ۹: ضریب همبستگی بین زمان بارگیری تا خروج در مقابل ورود تا بارگیری





شکل ۱۰: نمودار چند متغیره برای مدت زمان ورود تا بارگیری بر اساس تاریخ ورود، زمان و نوع کامیون

### مرحله بهبود

در این مرحله راه حل‌ها و نظرات ارایه می‌شود و از نظر امکان اجرا و اثربخشی رتبه‌بندی می‌گردد. قبل از اجرا، ریسک راه حل‌های انتخابی نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرند. و در نتیجه مناسب‌ترین راه حل براساس تحلیل هزینه‌ها و منافع انتخاب می‌گردد. اجرای راه حل برگزیده شده نیز از مهم‌ترین بخش‌های این مرحله می‌باشد.

- i. تکنیک‌های خلاقیت
- ii. ماتریس اولویت بندی
- iii. تکنیک‌های تصمیم‌گیری
- iv. نمودار درختی

۷. نمودار گانت

۶. صفحه شطرنجی برنامه ریزی

۷. اجرای آزمایشی

تیم حل مساله پس از بررسی لازم و به کارگیری ابزارهای فوق به راه حل‌های مناسب دست یافت. که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود :

۱. اطلاع رسانی قبل از ورود کامیون‌ها به ترمینال‌های کانتنری.

۲. چاپ نقشه CY .

۳. ساماندهی کامیون‌های شهری و طراحی پارکینگ.

۴. تدوین قوانین و مقررات راهنمایی.

۵. تهیه فرمت اولویت دهی در خصوص حرکت ترن‌ها در خطوط.

۶. چیدمان B/L در خطوط به گونه‌ای باشد که از پراکندگی در خطوط جلوگیری شود.

۷. اختصاص پارکینگ به گونه‌ای که پاسخ‌گوی حجم کامیون‌های وارده باشد.

۸. ارائه خدمات راه دور جهت کاهش تردد.

۹. افزایش باسکول در ورودی‌ها.

۱۰. تمرکز خدمات اسنادی شامل اسناد صادرات و ... در خارج از اسکله.

۱۱. ایجاد کارت‌های احراز هویت مشترک برای کلیه متقاضیان خدمات بندری/

گمرکی.

۱۲. و...

## مرحله کنترل

در نهایت در مرحله کنترل سعی می‌شود تا سایر عضوهای سازمان نیز در پروژه سهیم گردند و احساس مسوولیت نمایند. اطمینان از این که بهبود صورت گرفته حفظ می‌گردد و فرآیند پس از بهبود تحت کنترل خواهد ماند مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل‌های انجام شده تاکید این مرحله بر ماندگار و پایدار ماندن بهبودهای اعمال شده است. به علاوه مساله حل شده به صاحبان آن منتقل می‌گردد. هم چنین در این مرحله علاوه بر مستند کردن فرآیندهای بهبود یافته، به منظور ماندگاری آن‌ها باید سطح سیگما مجدداً نیز جهت نشان دادن بهبود محاسبه گردد. پس از محاسبات انجام شده سطح سیگمای حاصل ۶.۳ گردید.

## ۴. نتیجه گیری

در بررسی‌های انجام شده، شش سیگما به عنوان یک متدولوژی، قابل کاربرد در صنعت و خدمات می‌باشد و نیز محقق گردیده که صرفه جویی‌های حاصل از استفاده این متدولوژی در خدمات به مراتب بیشتر از واحدهای تولیدی است. در این خصوص شایان ذکر می‌باشد که در اجرای هشت پروژه مذکور صرفه جویی حاصله که به تایید واحد سازمان محقق گردید بالغ بر چند صد میلیون تومان گردیده است.

## مراجع

1. Fred Patton, "Does Six Sigma Work in Service Industries", Quality Progress, September (2005).
2. Kristen Johnson, "Six Sigma Delivers On-Time Service", Quality

Progress, December (2005).

3. Chip Caldwell, Jim Brexler and Tom Gillem, "Engaging Physicians In Lean Six Sigma", Quality Progress, November (2005).
4. Grace Esimai, "Lean Six Sigma Reduces Medication Errors", Quality Progress, April (2005).
5. Samuel E. Windsor, "Transactional Six Sigma for Green Belts", ASQ Press, Milwaukee, (2006).
6. Valarie A. Zeithaml, A. Parasuraman and Leonard L. Berry, "Delivering Quality Service, Balncing Customer Perception and Expectation", Free Press, New York, (1990).
7. Kai Yang, "Design for Six Sigma for Service", McGraw-Hill, (2005).
8. Parveen S. Goel, Praveen Gupta, Rajeev Jain, and Rajesh K. Tyagi, "Six Sigma for Transactions and Service", McGraw-Hill, (2005).
9. NK Khoo, "How Six Sigma Can Effectively Integrated Into the Government Agencies?", Lean Sigma Institute, (2004).
10. Michael L. George, "Lean Six Sigma for Service", McGraw-Hill, (2003).

## ارزیابی و پایش میزان بهره‌وری مراکز تحقیقاتی با استفاده از تکنیک

### جمع تجمعی چند متغیره

دکتر علی سرایی

دکترای مهندسی صنایع

Email: saraieali@yahoo.com

### چکیده

ارزیابی و پایش میزان بهره‌وری مراکز تحقیقاتی از جمله مسایل مهم بخش‌های دولتی و خصوصی است که به دلیل ماهیت خاص آن استفاده از تکنیک‌های علمی را طلب می‌نماید. در این مقاله، ضمن بررسی برخی شاخص‌های رایج ارزیابی عملکرد، روش نوینی بر مبنای تکنیک‌های کنترل فرآیند آماری پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از آن می‌توان عملکرد مراکز پژوهشی را کنترل نمود. با استفاده از این روش می‌توان بردار میانگین شاخص‌ها را با در نظر گرفتن هم‌پراشی بین آن‌ها که معمولاً با ماتریس واریانس-کوواریانس تبیین می‌گردد توسط تکنیک جمع تجمعی چند متغیره PPCUSUM مورد پایش قرار داد. برای تشریح مسئله و نحوه حل آن نیز مثالی ارائه شده است.

**کلید واژه‌ها:** بهره‌وری- مراکز تحقیقاتی- جمع تجمعی چند متغیره- کنترل فرآیند

آماري



## ۱. مقدمه

شاید بتوان دغدغه‌های مراکز پژوهشی کشور در زمینه بهره‌وری را در دو مرحله ذیل دسته‌بندی نمود:

✓ طراحی نظام اندازه‌گیری و سنجش بهره‌وری.

✓ طراحی نظام کنترل و پایش بهره‌وری.

در مرحله اول نظامی مورد نظر است که به مدیران کمک نماید تا حاصل عملکرد مراکز تحقیقاتی را اندازه‌گیری نموده و جایگاه آن را در میان سایر مراکز مشخص نمایند. در مرحله دوم نظامی مورد نیاز است که در صورت افول بهره‌وری یعنی انحراف از وضعیت مطلوب، در اسرع وقت هشدار داده و یا به عبارت دیگر بهره‌وری مراکز پژوهشی را پایش نماید.

در حالی که تاکنون مطالعات مناسبی در زمینه طراحی شاخص‌های بهره‌وری مراکز تولیدی و خدماتی به طور اعم و مراکز تحقیقاتی به طور اخص انجام شده است لیکن روش‌های علمی پایش و کنترل شاخص‌های مذکور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هرچند روش‌های مبتنی بر تجارب عملی و یا حسی هم اکنون به عنوان رایج‌ترین روش‌های کنترل میزان بهره‌وری مراکز مزبور به کار برده می‌شوند، اما صرف نظر از برخی محدودیت‌های موجود در روش‌های علمی، با استفاده از تکنیک‌های ریاضی می‌توان روند افزایش یا کاهش شاخص‌ها را پایش نموده و چنانچه روند مزبور به حد نامطلوب نزدیک گردد یک اعلام هشدار صادر و تصمیم مقتضی اتخاذ گردد.

از آن جا که اغلب شاخص‌های سنجش بهره‌وری دارای ماهیتی به هم وابسته بوده و از یکدیگر تاثیر پذیر هستند نتایج حاصل از کنترل جداگانه آن‌ها ممکن است گمراه کننده باشد. در فرآیند پایش، اغلب چندین شاخص باید به صورت هم زمان کنترل

شوند. لذا نیازمند به کارگیری مفاهیم کنترل آماری چند متغیره هستیم. نمودارهای چندمتغیره متعددی برای کنترل میانگین فرآیند طراحی شده‌اند که اغلب آن‌ها تعمیم روش‌های یک متغیره هستند. از جمله مهمترین نمودارهای چند متغیره، می‌توان به نمودارهای هتلینگ<sup>۱</sup>، نمودارهای جمع‌تجمعی چند متغیره<sup>۲</sup> و میانگین متحرک موزون نمایی<sup>۳</sup> چند متغیره اشاره نمود.

استفاده وسیع از نمودارهای جمع‌تجمعی به دلیل عملکرد مناسب آن‌ها در شناسایی سریع انحرافات کوچک و پشتوانه‌های آماری که تئوری نسبت‌های احتمال<sup>۴</sup> برای این تکنیک فراهم نموده است، انگیزه‌های لازم برای به کارگیری آن در این مقاله را فراهم می‌آورد. مهم‌ترین دلیل استفاده روش جمع‌تجمعی آن است که تکنیک جمع‌تجمعی به نوع تابع توزیع حساس نیست. این مقاله حاوی مطالب ذیل است:

بخش دوم به مفروضات طراحی مدل اختصاص دارد، در بخش سوم مفاهیم بهره‌وری و برخی شاخص‌های سنجش عملکرد در مراکز پژوهشی مرور می‌گردد. در بخش چهارم ضمن ارایه مدل‌های پایش فرآیند، انواع نمودارهای جمع‌تجمعی چند متغیره معرفی و دلایل انتخاب تکنیک جمع‌تجمعی چند متغیره  $ppcusum$ <sup>۵</sup> آورده خواهد شد. در بخش پنجم تکنیک جمع‌تجمعی چند متغیره  $ppcusum$  تشریح می‌گردد. برای تشریح روش پایش، مثالی در بخش ششم ارایه و سرانجام در بخش هفتم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات آورده خواهد شد.

---

1 Hotelling

2. Multivariate Cumulative Sum (MCUSUM)

3. Multivariate Exponentially Weighted Moving Average

4. Sequential Probability Ratio Theory (SPRT)

5. Projection Pursuit Cumulative Sum method (PPCUSUM)



## ۲. مفروضات

برای ساده‌سازی روابط ریاضی همچنن تجزیه و تحلیل نمودار پایش، مفروضات ذیل در نظر گرفته می‌شوند:

۱- سطح عملکرد مرکز پژوهشی توسط نمودار کنترل جمع‌تجمعی چندمتغیره با استفاده از روش PPCUSUM دوطرفه ارزیابی می‌گردد. به عبارت دیگر علاوه بر آن که برای عملکرد نامطلوب هشدار صادر می‌گردد، مواردی که عملکرد بالاتر از حد مطلوب می‌باشد نیز شناسایی می‌گردد.

۲- در هر دوره زمانی یک نمونه که حاوی مقادیر  $p$  شاخص ارزیابی سطح عملکرد است تهیه می‌گردد.

۳- ضرایب اهمیت شاخص‌ها با یکدیگر یکسان فرض می‌شوند.

۴- نمونه حاوی مقادیر شاخص‌ها در هر دوره زمانی از تابع توزیع نرمال چندمتغیره با بردار  $p$  بعدی میانگین مطلوب  $\mu$  و ماتریس کوواریانس  $p \times p$  بعدی  $\Sigma$  پیروی می‌کنند. مقادیر مطلوب  $\mu_0$  و  $\Sigma_0$  معلوم و مشخص هستند.

۵- هنگامی که عملکرد در وضعیت نامطلوب قرار می‌گیرد تا شناسایی و تصمیم‌گیری مدیر در این حالت باقی می‌ماند.

## ۳. بهره‌وری در مراکز تحقیقاتی

به طور کلی بهره‌وری دارای سه مولفه مهم کارآیی، اثربخشی و به کارگیری مداوم عوامل تولید کار است و شاخص‌های بهره‌وری به دو دسته شاخص‌های بهره‌وری جزئی و کلی عوامل تقسیم می‌شوند. در شاخص‌های بهره‌وری جزئی ارتباط ستانده نظیر ارزش

افزوده با یک نهاده مورد توجه است در حالی که در شاخص‌های بهره‌وری کلی، ارتباط ستاده با کل نهاده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سنجش بهره‌وری فعالیت‌های مراکز پژوهشی به دلایلی نظیر ذیل پیچیده است و به عوامل متعددی نظیر مأموریت‌ها<sup>۴</sup> و اهداف کلان<sup>۵</sup>، گستره مراکز، سطوح سازمانی و نوع عوامل تحقیقاتی بستگی دارد.

✓ علاوه بر دشوار بودن طراحی شاخص‌های مناسب، تعیین میزان اهمیت هر شاخص به سهولت امکان‌پذیر نبوده و ملحوظ نمودن ضرایب اهمیت در طراحی مدل پایش، موجب پیچیدگی مدل و حل آن می‌گردد.

✓ برای پایش عملکرد، اغلب چندین شاخص باید به صورت هم‌زمان کنترل شوند. از آن‌جا که این شاخص‌ها ماهیتی پیچیده و به‌هم وابسته دارند لذا نتایج حاصل از پایش جداگانه آن‌ها گمراه‌کننده است. [2]

✓ علاوه بر پایش هم‌زمان مقادیر میانگین شاخص‌ها باید میزان تغییر پذیری آن‌ها نیز کنترل گردد که این امر موجب پیچیده‌تر شدن مدل می‌شود.

✓ اغلب تفسیر نتایج حاصل از پایش شاخص‌ها به سادگی امکان‌پذیر نبوده و تفسیر نادرست آن‌ها ممکن است گمراه‌کننده باشد.

هرچند هدف این مقاله ارائه روشی برای پایش و کنترل شاخص‌ها می‌باشد اما برای تشریح موضوع، در ادامه این قسمت برخی شاخص‌های رایج مرور می‌شود.

---

6. Mission

7. Goals & Objectives

### • شاخص نیروی متخصص

از جمله روابطی که برای سنجش بهره‌وری نیروی متخصص مورد استفاده قرار می‌گیرد رابطه (۱) است:

$$P_t^h = \sum_{j=1}^n \frac{s_{jt}}{e_{jt}} \quad (1)$$

که در آن  $s_{jt}$  نشان‌دهنده فروش خدمات تحقیقاتی - پژوهشی مرکز یعنی مبلغ قرارداد پروژه  $j$ ,  $1 \leq j \leq n$  و  $e_{jt}$  نمایانگر هزینه‌های عامل نیروی انسانی متخصص انجام پروژه  $j$  در دوره زمانی  $t = 1, 2, \dots, t$  است.

### • شاخص ریسک

هرچند شاخص ریسک به عنوان شاخص بهره‌وری محسوب نمی‌گردد، اما در عمل سنجش آن بسیار مفید است. مفهوم ریسک برای مدیران دارای تعابیر یکسانی نیست. یکی از مناسب‌ترین و در عین حال ساده‌ترین شاخص‌های سنجش ریسک مدیریت توسط رابطه (۲) تبیین می‌گردد.

$$\sigma_t^2 = E[I_{jt} - I_t^*]^2 = \sum_{I_{kj}} (I_{jt} - I_t^*)^2 \cdot f(I_{jt}) \quad (2)$$

که در آن  $I_{jt}$  و  $I_t^*$  به ترتیب سود مورد انتظار و سود واقعی مرکز پژوهشی در قبال انجام پروژه  $j$  در دوره زمانی  $t$  است. در رابطه (۲) نکات ذیل حایز اهمیت است:

۱. در مواقعی که مرکز تمایلی نداشته باشد، راسا پروژه جذب شده را انجام دهد و بخواهد آن را به پیمانکار جزء واگذار نماید، مقدار ریسک صفر شده و از بین می‌رود. زیرا مبالغ قراردادهای کارفرما و پیمانکار جزء به طور قطعی مشخص

شده و از حالت احتمالی خارج می‌گردد.

۲. مزیت دوم این شاخص آن است که مجذور تفاوت‌ها در ضریب احتمال سودآوری ضرب می‌شود، بنابراین با کاهش احتمال وقوع سودآوری، ریسک آن نیز به تناسب کم می‌گردد.

۳. مزیت سوم آن است که کاهش تغییرات سودآوری به مفهوم افزایش میزان پایداری مرکز پژوهشی در نیل به اهداف مادی یعنی کسب درآمد مطلوب حاصل از مطالعه، طراحی و اجرای پروژه ز یعنی  $I_t^*$  است.

در بسیاری از موارد شاخص انحراف معیار سودآوری کاربرد بیشتری نسبت به شاخص واریانس سودآوری دارد، زیرا به هنگام محاسبه واریانس واحد اندازه‌گیری سود به توان دو می‌رسد در حالی که از نظر دیمانسیون واحد انحراف معیار همان واحد سود حاصل از انجام پروژه است.

### • شاخص کارآفرینی

از جمله شاخص‌های رایج دیگر برای سنجش بهره‌وری مدیران مراکز تحقیقاتی شاخص کارآفرینی است که بستگی مستقیم به عواملی نظیر نفوذ مدیر و فعالیت‌های بازاریابی دارد. یکی از روابط ساده برای سنجش کارآفرینی عبارتست از :

$$\Psi_t = \sum_{j=1}^n \frac{I_{jt}}{C_{jt}} \quad (۳)$$

که در آن  $I_{jt}$  و  $C_{jt}$  به ترتیب نشان‌دهنده سود و هزینه کارآفرینی یعنی جذب و انعقاد قرارداد پروژه  $j$ ،  $1 \leq j \leq n$  در دوره زمانی  $t$  هستند.  $C_{jt}$  شامل هزینه‌های بازاریابی می‌باشد.

با توجه به ماموریت، اهداف استراتژیک، گستره و عوامل تحقیقاتی در ابعاد اجتماعی، فرهنگی و فنی نیز شاخص‌های متعددی وجود دارد.

## ۴. تکنیک‌های پایش فرآیند

تکنیک‌های متعددی برای پایش میانگین فرآیند نظیر نمودارهای هتلینگ، نمودارهای جمع‌تجمعی و میانگین متحرک موزون نمایی طراحی شده‌اند. در این مقاله نمودار جمع‌تجمعی به دلایل ذیل مورد استفاده قرار گرفته است:

- ✓ توانایی کشف انحرافات کوچ [2] و عدم حساسیت به پیروی مشاهدات از تابع توزیع نرمال.
- ✓ پشتوانه‌های آماری که تئوری نسبت‌های احتمال برای این تکنیک فراهم نموده است.

تاکنون روش‌های جمع‌تجمعی چند متغیره متعددی شکل گرفتند که عبارتند رابطه

جمع‌تجمعی:

- MCX توسط Woodall and Ncube [6] و رابطه جمع‌تجمعی Healy [7].
  - رابطه جمع‌تجمعی Mcusum و COT توسط Crosie.
  - رابطه جمع‌تجمعی MC1 توسط Pignatiello and Runger.
  - رابطه جمع‌تجمعی MCZ توسط Hawkins.
  - رابطه جمع‌تجمعی ppcusum برای بردار میانگین توسط Ngai and zhang.
- پایش عملکرد فرآیند ارتباط مستقیمی به روش جمع‌تجمعی منتخب دارد. لذا برای پاسخ به این سؤال که کدام روش بهتر از سایرین است باید معیارهای کارایی و ملاحظات اقتصادی حاصل از به کارگیری این روش‌ها که توسط بسیاری از محققان

نظیر Chan and Zhang مورد توجه قرار گرفته است.

Zhang and Ngai نشان دادند [11] که تکنیک PPCUSUM تعمیمی از هر دو رابطه Healy و Pignatiello-Runger است. هم چنین این روش براحتی قابل تعمیم برای سایر موارد مثل پایش تغییرات فرآیند است در این مقاله از روش PPCUSUM برای پایش بردار میانگین شاخص‌ها استفاده می‌شود.

## ۵. جمع تجمعی چند متغیره PPCUSUM

فرض کنید  $x_{kt}$  معرف مقدار شاخص  $k$ ,  $0 < k \leq p$  در دوره زمانی  $t$  باشد، علی‌رغم آنکه روش جمع تجمعی نسبت به نوع تابع توزیع حساس نیست، معهدا همانگونه که در بخش ۲ ذکر گردید فرض نمائید بردار  $X_t = [x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{pt}]$  از توزیع نرمال چند متغیره با پارامترهای میانگین مطلوب  $\mu_0$  و ماتریس کوواریانس  $\Sigma_0$  پیروی می‌کند که در آن :

$$\mu_0 = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p] \text{ و } \Sigma_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12}^2 & \dots & \sigma_{1p}^2 \\ \sigma_{12}^2 & \sigma_{22}^2 & \dots & \sigma_{2p}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1}^2 & \sigma_{p2}^2 & \dots & \sigma_{pp}^2 \end{bmatrix}$$

آماره PPCUSUM طبق رابطه (۴) که معادل روابط (۵) و (۶) است تعریف

می‌گردد [11]:

$$C_1^a = \max\{0, a^T y_1 - k_\mu\}, C_2^a = \max\{0, C_1^a + a^T y_2 - k_\mu\}, \dots, C_i^a = \max\{0, C_{i-1}^a + a^T y_i - k_\mu\}$$

که در آن  $y_t = \Sigma_0^{-1/2}(x_t - \mu_0)$ ،  $\|a\|=1$  و  $\|a\|$  معرف نرم اقلیدسی انحراف بردار میانگین در جهت بردار  $a$  می‌باشد. همچنین  $k_\mu$  معرف مقدار مرجع است.

Zhang and Ngai و بر اساس نتایج Healy خاطر نشان ساختند چنانچه بردار میانگین فرآیند در جهت بردار  $a$  تغییر کند نمودار جمع تجمعی که بر اساس تصاویر  $\{d_t^T y_t, t=1,2,\dots\}$  بنا شده باشد دارای بهترین عملکرد براساس معیار میانگین طول دنباله  $\hat{ARL}$  است. این روش را می توان به صورت ذیل خلاصه نمود.

۱. از یک سوم اطلاعات تجربی مقادیر  $\mu_0, \Sigma_0$  را برآورد نمایید. چنان چه  $\mu_0, \Sigma_0$  به عنوان مقادیر مطلوب قابل قبول است، به ازای مقدار خطای نوع اول و قدرت آزمون مورد نظر و یا میانگین طول دنباله و انحراف استاندارد طول دنباله<sup>۹</sup> در حالت تحت کنترل و خارج از کنترل به جداول تهیه شده توسط Zhang and Ngai مراجعه نموده و مقادیر مرجع و حد کنترل نمودار جمع تجمعی  $k_\mu$  و  $H$  را استخراج نمایید.

۲. مشاهدات را با استفاده از رابطه  $y_t = \Sigma_0^{-1/2}(x_t - \mu_0)$  استاندارد کنید:

۳. مقادیر  $C_{ii}, C_{tt}$  را از روابط ذیل به دست آورید :

$$C_{ii} = \|y_i + \dots + y_t\| - (i-t+1)k_\mu \quad (5)$$

$$C_{tt} = \|y_t\| - k_\mu \quad (6)$$

۴. مقدار  $C_t^{\hat{a}_0}$  را از رابطه ذیل به دست آورید:

$$C_t^{\hat{a}_0} \cong \max_{\|a\|=1} C_t^a = C_t = \max\{0, C_{tt}, \dots, C_{ii}\} \quad (7)$$

۵. بر اساس حدود کنترل تعیین شده و برای هر اندازه نمونه مقادیر  $C_t^{\hat{a}_0}$  را ترسیم کنید.

8. Average Run Length (ARL)

9. Standard Deviation Run Length (SRL)

۶. اگر نقاط خارج حدود قرار گیرد، بردار میانگین فرآیند در حالت خارج از کنترل است و یک هشدار اعلام می‌گردد، در غیر این صورت فرآیند تحت کنترل است. به منظور کاربرد روش پایش باید فاصله زمانی تهیه گزارش عملکرد به گونه‌ای تعریف گردد که:

- ✓ استقلال گزارش‌ها نسبت به یکدیگر حفظ گردد.
- ✓ دوره‌ها با گستره زمان پایش تناسب داشته باشند.
- ✓ پارامترهای نمودار کنترل نظیر مقدار مرجع، حد کنترل و تعداد گزارشات با توجه به مطالعات سنجش کارایی به گونه‌ای مناسب در نظر گرفته شوند. همانگونه که ذکر گردید، در این مقاله برای تعیین پارامترهای نمودار از نتایج مطالعات Zhang and Ngai استفاده شده است.

## ۶) مثال برای تشریح نحوه حل مسئله

در این قسمت یک مثال عددی ارایه می‌گردد. هرچند با استفاده از روش PPCUSUM و با به کارگیری نرم‌افزارهای مربوط، هم‌اکنون پایش هم‌زمان ۱۰ مشخصه نیز معمول است اما در این مثال فرض شده است تنها دو مشخصه  $p=2$  به طور هم‌زمان تحت کنترل قرار گیرد. چنان‌چه تنها پایش عملکرد نامطلوب و یا پایش عملکرد بالاتر از حد فوقانی مطلوب مورد نظر باشد می‌توان از نمودارهای کنترل کیفیت چند متغیره یک طرفه استفاده نمود. در این مثال همان‌گونه که در بخش دوم ذکر گردید، فرض می‌شود سطح عملکرد مرکز پژوهشی توسط نمودار کنترل دوطرفه ارزیابی گردد. به عبارت دیگر علاوه بر آن که برای عملکرد نامطلوب هشدار صادر می‌شود، مواردی که عملکرد بالاتر از حد مطلوب می‌باشد نیز شناسایی می‌گردد. برای تمایز این دو دسته عملکرد می‌توان از روش [10] Hawkins استفاده نمود.



به منظور شفافیت در تشریح مسئله فرض می‌شود در صدد پایش مقادیر شاخص‌های معرفی شده در بخش سوم مقاله هستیم. به عبارت دیگر دو شاخص نیروی انسانی متخصص و کارآفرینی در ۳۰ دوره ۳ ماهه مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول شماره ۱ حاوی اطلاعات خام مربوط به دو شاخص مزبور است. بنابراین در این مثال هر نمونه برداری حاوی دو درآیه شاخص نیروی انسانی متخصص و شاخص کارآفرینی

$$X_t = \begin{pmatrix} P_t^h \\ \Psi_t \end{pmatrix}, \quad t = 1, 2, \dots, 30$$

است:

جدول شماره ۱: داده‌های تجربی ۱۰ دوره سه ماهه مربوط شاخص نیروی انسانی و کارآفرینی

نمونه	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
شاخص										
نیروی متخصص	۳/۰۱	۲/۹۰	۱/۹۲	۲/۷۹	۳/۰۴	۱/۹۷	۲/۲۸	۲/۰۸	۳/۱۱	۲/۸۷
کارآفرینی	۶۵/۳	۵۹/۵	۶۳/۱	۷۳/۲	۶۸/۵	۷۰/۲	۷۵/۱	۶۸/۲	۵۹/۹	۶۷/۴
نمونه	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$	$X_{20}$
شاخص										
نیروی متخصص	۲/۵۳	۲/۲۴	۲/۸۹	۳/۲۲	۲/۶۷	۱/۹۸	۲/۳۴	۱/۸۷	۲/۵۵	۱/۷۶
کارآفرینی	۷۴/۲	۷۲/۱	۷۰/۵	۶۸/۶	۷۳/۴	۷۲/۹	۶۳/۲	۵۸/۱	۷۸/۲	۷۲/۷
نمونه	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{30}$
شاخص										
نیروی متخصص	۲/۵۷	۲/۵۸	۱/۵۰	۳/۰۰	۲/۸۴	۲/۲۴	۲/۸۹	۲/۲۳	۳/۰۲	۲/۰۹
کارآفرینی	۶۹/۲	۷۳/۴	۶۳/۹	۶۴/۶	۷۴/۰	۶۴/۹	۶۷/۴	۷۱/۳	۵۷/۴	۶۹/۷

با توجه به قدم اول الگوریتم ارائه شده در بخش ۵ از یک سوم داده‌های تجربی برای محاسبه مقادیر مطلوب شاخص نیروی انسانی متخصص و شاخص کارآفرینی و همچنین برآورد ماتریس کوواریانس استفاده می‌شود:

$$\hat{\mu}_0 = \begin{bmatrix} 2.6 \\ 67.0 \end{bmatrix}, \hat{\Sigma}_0 = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12}^2 \\ \sigma_{12}^2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.26 & -0.72 \\ -0.72 & 26.98 \end{bmatrix}$$

به ازای مقادیر مفروض قدرت و خطای نوع اول و یا معیار متناظر آن یعنی طول دنباله پارمترهای نمودار کنترل تعیین می‌گردد. بنابراین با مراجعه به جدول ارایه شده توسط Zhang and Ngai مقادیر مرجع و حد کنترل ۰/۵ و ۵ به ازای مقدار  $ARL=133$  به دست خواهد آمد.

برای محاسبه انحرافات از قدم‌های ۲ الی ۶ الگوریتم و روابط (۴) الی (۷) بخش ۵ استفاده می‌کنیم. برای سهولت محاسبات نرم‌افزار Matlab نسخه ۶/۵ به کار گرفته شده است که نتایج آن مطابق جدول شماره ۲ می‌باشد. همان گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، هشدار خارج از کنترلی که مربوط به وضعیت ناهنجار هر دو شاخص باشد رخ نداده است.

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از بکارگیری روش PPCUSUM دو طرفه مربوط شاخص

نیروی انسانی و کارآفرینی

X1	X2	$\mu_{.X1-}$	$\mu_{.X2-}$	Y1	Y2	sumY1	sumY2	Sqrt
3.01	65.3	0.41	-1.7	0.8633	-0.0092	0.8633	-0.0092	0.86
2.9	59.5	0.3	-7.5	1.1732	0.1712	2.0365	0.162	2.04
1.92	63.1	-0.68	-3.9	-1.848	-0.1215	0.1885	0.0405	0.19
2.79	73.2	0.19	6.2	0.8329	0.1379	1.0214	0.1784	1.03
3.04	68.5	0.44	1.5	1.1324	0.0578	2.1538	0.2362	2.16
1.97	70.2	-0.63	3.2	1.6865	0.1041	3.8403	0.3403	3.85
2.28	75.1	-0.32	8.1	-0.2779	0.1444	3.5624	0.4847	3.59
2.08	68.2	-0.52	1.2	-1.1778	-0.0084	2.3846	0.4763	2.42
3.11	59.9	0.51	-7.1	1.6918	0.1773	4.0764	0.6536	4.12
2.87	67.4	0.27	0.4	0.6626	0.0249	4.739	0.6785	4.78
2.53	74.2	-0.07	7.2	0.2806	0.1422	5.0196	0.8207	5.08
2.24	72.1	-0.36	5.1	-0.5284	0.0835	4.4912	0.9042	4.58
2.89	70.5	0.29	3.5	0.9019	0.0892	5.3931	0.9934	5.48
3.22	68.6	0.62	1.6	1.5638	0.071	6.9569	1.0644	7.03
2.67	73.4	0.07	6.4	0.5618	0.1346	7.5187	1.199	7.61
1.98	72.9	-0.62	5.9	-1.0993	0.0817	6.4194	1.2807	6.54
2.34	63.2	-0.26	-3.8	-0.8496	-0.0934	5.5698	1.1873	5.87
1.87	58.1	-0.73	-8.9	-2.2696	-0.2243	3.3002	0.963	3.43
2.55	78.2	-0.05	11.2	0.5756	0.2248	3.8758	1.1878	4.29
1.76	72.7	-0.84	5.7	-1.655	0.0634	2.2208	1.2512	2.54
2.57	69.2	-0.03	2.2	0.0654	0.0429	2.2862	1.2941	2.62
2.58	73.4	-0.02	6.4	0.3491	0.129	2.6353	1.4231	3.02
1.5	63.9	-1.1	-3.1	-2.8379	-0.1325	-0.2026	1.2906	1.3
3	64.6	0.4	-2.4	0.7963	-0.0241	0.5937	1.2665	1.39
2.84	74	0.24	7	1.0005	0.1573	1.5942	1.4238	2.13
2.24	64.9	-0.36	-2.1	-0.9333	-0.0638	0.6609	1.36	1.51
2.89	67.4	0.29	0.4	0.7099	0.0261	1.3708	1.3861	1.94
2.23	71.3	-0.37	4.3	-0.6488	0.0654	0.722	1.4515	1.62
3.02	57.4	0.42	-9.6	1.5744	0.2173	2.2964	1.6688	2.83
2.09	69.7	-0.51	2.7	-1.0612	0.0227	1.2352	1.6915	2.09

## ۷. نتیجه گیری

در این مقاله روشی بر اساس تکنیک‌های کنترل فرآیند آماری ارائه شد که با پشتوانه تئوری نسبت‌های احتمال قادر به پایش هم‌زمان شاخص‌ها می‌باشد. به دلیل آن که اغلب شاخص‌های سنجش بهره‌وری به یکدیگر وابسته بوده و از هم تاثیر پذیر هستند نتایج حاصل از کنترل جداگانه آن‌ها گمراه کننده است لذا روش ارائه شده به گونه‌ای است که همبستگی شاخص‌ها را در فرآیند پایش در نظر می‌گیرد. با استفاده از این روش علاوه بر صدور هشدار برای عملکرد نامطلوب، مواردی که مقادیر شاخص‌ها عملکردی بالاتر از حد مطلوب را دارا می‌باشند نیز شناسایی می‌گردد. این روش برای پایش هم‌زمان دو شاخص بهره‌وری نیروی متخصص و کارآفرینی در قالب یک مثال و برای گستره زمانی ۳۰ ماهه بصورت نمونه تشریح گردید.

## مراجع

- [1] Schainblatt, A.H. "How Companies Measure the productivity of Engineers and Scientists", Research Management, V XXV, No.3, May 1982.
- [2] Montgomery, Douglas C., "Introduction to statistical quality control", November, 2000
- [3] Thomas k. Philips, «Monitoring active portfolios, the Cusum Approach», Journal of portfolio Management, 2003
- [4] Ranftl, R.M. " R&D Productivity", Los Angeles; Hughes Aircraft Company, 1984
- [5] مرکز تحقیقات سازمان بنادر و کشتیرانی، طراحی نظام سنجش بهره‌وری

سازمان بنادر و کشتیرانی؛ ۱۳۸۲

- 
- [6] Woodall, William H.; Ncube, Matoteng M.;" Multivariate CUSUM Quality - Control Procedures" *Technometrics*, Vol. 27, No. 3, , pp. 285-292, 1985.
- [7] Healy, John D."A Note on Multivariate CUSUM Procedures" *Technometrics*, Vol. 29, No. 4, pp. 409-412 ,1987.
- [8] Crosier, Ronald B," Multivariate Generalizations of Cumulative Sum Quality-Control Schemes"*Technometrics*, Vol. 30, No. 3., pp. 291-303.,1988.
- [9] Pignatiello, Runger & Korpela , "Truly Multivariate Cusum Charts", Working paper 86-024 Univrsity of Arizona , System & Industrial Engineering Dep. 1986
- [10] Qiu, Peihua; Hawkins, Douglas; "A Rank-Based Multivariate CUSUM Procedure", *Technometrics*, Vol. 43, No. 2, , pp. 120-132.,2001.
- [11] Hung – Man Ngai & Jian Zhang,"Multivariate CUMULATIVE SUM Control Charts Based on Projection Pursuit", *Statistica Sinica* 11, pp.747-766.,2001.
- [12] Lai K. Chan & Jian Zhang "Cumulative Sum Control Charts for the Covariance Matrix", *Statistica Sinica* 2001,P -11767-790 ,2001.



## مدل ریاضی تخصیص بهینه اسکله به کشتی ها و فضای ذخیره سازی به کانتینرها

محمد بزازی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع

نیما صفائی، دکترای مهندسی صنایع

Mohammad.bazzazi@gmail.com

### چکیده

در این مقاله حل مساله تخصیص بهینه اسکله‌ها به کشتی‌ها به منظور پهلوگیری و به طور هم زمان تخصیص بهینه کانتینرهای هر کشتی به بلوک‌های ذخیره سازی در یک ترمینال کانتینری نمونه با استفاده از یک مدل ریاضی، توسعه داده شده است. ذخیره سازی موقت کانتینرها در بنادر تجاری، یکی از گام‌های اساسی در فرایند حمل و نقل دریایی را تشکیل می‌دهد که دارای دو بخش عمده شامل حمل بار از شناور به محل ذخیره سازی و برعکس می‌باشد که در اصطلاح، به آن عملیات ورود و خروج کانتینر گفته می‌شود. در این مقاله یک رویکرد دو فازی ارایه گردیده است که در فاز اول کل کانتینرهای ورودی به بلوک‌های ذخیره سازی تخصیص بهینه می‌یابد. در ادامه با استفاده از خروجی‌های به دست آمده در این فاز و با هدف کاهش کل هزینه حمل و نقل داخلی در یک ترمینال کانتینری، اسکله بهینه به کشتی‌های ورودی جهت پهلوگیری تخصیص داده شده است و به طور هم زمان مکان کانتینرهای هر کشتی در

بلوک‌های ذخیره سازی تعیین می‌گردد. با توجه به نتایج ارایه شده، کاهش هزینه حمل و نقل نهایی حاکی از کارایی مدل توسعه داده شده می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** اسکله، کانتینر، ترمینال کانتینری، بلوک، کشتی.



## ۱. مقدمه

امروزه صنعت حمل و نقل دریایی<sup>۱</sup> از اهمیت به سزایی در چرخه اقتصادی کشورها برخوردار است چرا که حدود ۹۰٪ صادرات و واردات و به طور کلی حمل و نقل کالا در دنیا از طریق دریا صورت می‌گیرد. در این بین، ترمینال‌های کانتینری<sup>۲</sup> یا همان بنادر تجاری به عنوان حلقه‌ی اتصال دریا و خشکی از اهمیتی دوچندان برخوردار هستند. از این رو؛ سطح کیفیت خدمات در بنادر جهت تسریع در فرآیند حمل و نقل، پاسخ سریع به مشتریان و هم‌چنین جذب مشتریان بیشتر بسیار حایز اهمیت می‌باشد. سطح کیفیت خدمات با نرخ بهره‌وری ترمینالی کانتینری (یا به اختصار ترمینال) رابطه بسیار تنگاتنگی دارد. بهره‌وری یک ترمینال به عوامل متعددی همچون زمان پهلوگیری شناور از لحظه ورود به بندر؛ زمان تخلیه بار از شناور، زمان انتقال بار به فضاهای ذخیره‌سازی موقت یا به اصطلاح بلوک‌ها<sup>۳</sup>، زمان تخصیص و چیدمان بار در بلوک‌ها، زمان ترخیص بار، به‌از، گمرک، زمان بارگیری شناور و غیره بستگی دارد که هر یک در جای خود قابل بحث و بررسی است. در این میان، تعیین مکان بهینه هر کانتینر ورودی یا خروجی در بین بلوک‌های موجود جهت افزایش سرعت ذخیره و بازیابی آن‌ها، یکی از مسایل تاثیرگذار بر بهره‌وری ترمینال‌ها است که به عنوان مساله تخصیص فضای ذخیره<sup>۴</sup> یا به اختصار SSA در ادبیات شناخته می‌شود. مساله مشابه مساله تخصیص تعمیم یافته<sup>۵</sup> است با این تفاوت که تخصیص وابسته به نوع و زمان ورود و خروج کانتینرها علاوه بر

- 
1. Marine Transportation
  2. Terminal Container
  3. Block
  4. Storage Space Allocation
  5. Generalized Assignment Problem

ظرفیت بلوک‌ها می‌باشد. در شرایط واقعی؛ نوع کانتینرها به نوع و شرایط بار داخل آن‌ها بستگی دارد. به عنوان نمونه، اقلام غذایی و فاسدپذیر به طور عمده در کانتینرهای یخچالی نگهداری می‌شوند و باید در مکانی ذخیره شوند که امکان دسترسی به انرژی برق وجود دارد. هم چنین مواد دارویی یا شیمیایی باید در مکان‌هایی ذخیره شوند که در تماس مستقیم با نور آفتاب یا حرارت نباشند. در نتیجه هر نوع کانتینری نمی‌تواند در هر بلوک ذخیره شود. هم چنین نوع کانتینر می‌تواند برحسب ابعاد یا وضعیت پر یا خالی بودن آن نیز متفاوت باشد. به عنوان نمونه، از آنجایی که در بلوک‌ها، کانتینرها بر روی یکدیگر (به صورت چند طبقه‌ای) ذخیره می‌شوند، نمی‌توان یک کانتینر پر را بروی یک کانتینر خالی قرار داد. بنابراین با توجه به شرایط واقعی و نوع و اهمیت ترمینال، مساله SSA می‌تواند بیش از پیش پیچیده‌تر گردد. ترمینال‌ها از تجهیزات و ادوات بارگیری و جابه‌جایی متنوعی جهت انجام فرآیند حمل و نقل کانتینرها استفاده می‌کنند. برخی از این تجهیزات عبارتند از جرثقیل‌های ساحلی<sup>۶</sup> یا QC برای تخلیه و بارگیری کانتینرها از/به شناور، بارکش‌ها<sup>۷</sup> برای جابه‌جایی کانتینرها به/از بلوک‌ها و جرثقیل‌های محوطه<sup>۸</sup> یا به اصطلاح صفافه‌ها همانند RTGC<sup>۹</sup> ها برای چیدمان کانتینرها در بلوک. تعداد، نوع عملکرد، زمان‌بندی و قابلیت این تجهیزات نیز به شدت در بهره‌وری یک ترمینال تاثیرگذار می‌باشد.

به طور کلی، تصمیم‌های مختلفی در عملیات ترمینال دخیل می‌باشند که بر یکدیگر تاثیر متقابل دارند. به عنوان مثال، تصمیم‌های مربوط به ذخیره کانتینرها در بلوک‌ها به

---

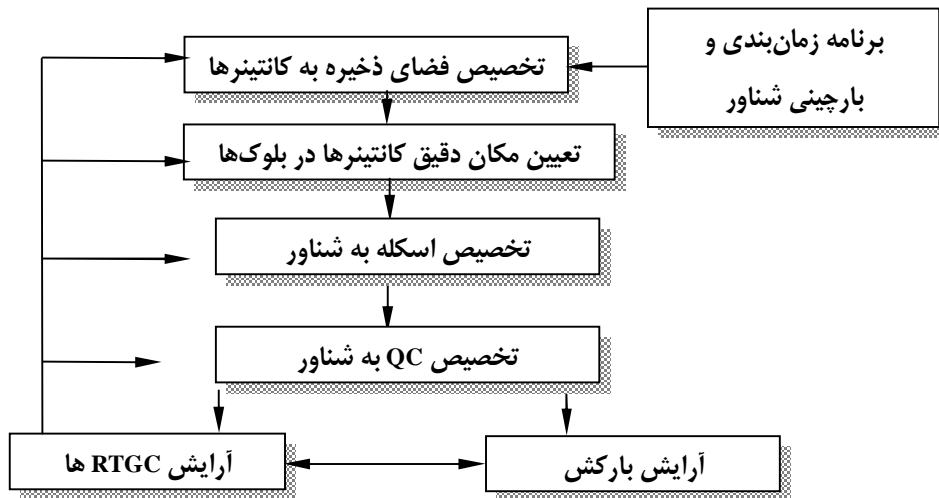
6. Quay Crane

7. Trailer

8. Yard Crane

9. Rubber Tired Gantry Crane

طور مستقیم بر بارکاری تحمیل شده بر RTGC ها و فواصل طی شده توسط بارکش و همچنین به طور غیرمستقیم بر کارایی QC ها تاثیر می‌گذارد. البته کلیه این تصمیم‌ها متأثر از تخصیص اسکله به شناورها می‌باشد. به دلیل پیچیدگی تصمیم‌گیری در شرایط فوق، حصول تصمیم بهینه امری به تقریب غیرممکن می‌باشد. لذا یک رویکرد سلسله مراتبی به صورت شکل (۱) در ادبیات ارائه شده است که فرآیند تصمیم‌گیری در ترمینال را به چند بخش کوچک‌تر تقسیم می‌نماید، به طوری که خروجی یک بخش به عنوان ورودی برای بخش دیگر خواهد بود.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌های عملیاتی در ترمینال کانتینری بندر شهید

#### رجایی

در این تحقیق، از یک رویکرد دو مرحله‌ای برای حل مساله SSR ارائه شده در [۱] استفاده خواهد شد. رویکرد پیشنهادی در مرحله اول با دریافت اطلاعات مربوطه به

زمان ورود و خروج کانتینرها، محموله کشتی‌های ورودی به اسکله را با هدف تعدیل حجم کاری بین بلوک‌ها و تسریع در زمان ذخیره و بازیابی آن‌ها، به بلوک‌ها تخصیص داده و در مرحله دوم مکان بهینه پهلوگیری کشتی‌ها را با توجه به فاصله فیزیکی بین اسکله‌ها و بلوک‌ها و نیز با در نظر گرفتن تخصیص انجام شده در فاز اول، تعیین می‌کند. به عبارت دیگر اقدام بر روی ۲، ۳ و ۴ سلسله عملیات تصمیم‌گیری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی که در شکل ۱ ارایه شده است یکی از نقاط قوت این تحقیق، علاوه بر در نظر گرفتن نوع کانتینر در مساله SSA، در فاز دوم مساله به طور هم زمان به کشتی‌ها اسکله بهینه تخصیص داده می‌شود که تاکنون در ادبیات موضوع در نظر گرفته نشده است. تحقیق جاری بر مبنای شرایط واقعی موجود در بندر شهید رجایی ایران توسعه داده شده است.

## ۲. پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی بروی عملیات گوناگون در داخل ترمینال کانتینری همانند زمان‌بندی جرثقیل‌ها [۲]، تخصیص اسکله [۳]، برنامه‌ریزی اسکله و بهینه‌سازی منابع [۴]، مدیریت منابع انسانی [۵]، برنامه‌ریزی بارگیری و چیدمان بار<sup>۱</sup> در شناور [۶] و زمان‌بندی عملیات دریافت و تحویل کانتینرها توسط صفافه‌ها [۷] انجام شده و رویکردهای مختلفی از جمله رویکردهای مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی، هوش مصنوعی و غیره ارایه شده است. در حالت کلی، کنترل کلیه عملیات ترمینال به صورت هم زمان امکان‌پذیر نبوده و امری بسیاری پیچیده می‌باشد. خلاصه‌ای از عملیات

مختلف ترمینال کانتینری را می‌توان در مرجع [۸] یافت. مساله SSA برای اولین بار به صورت مجزا توسط زانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۱]. آنان درخت تصمیم گیری ارایه شده در شکل (۱) را مبنای فرآیند تصمیم گیری در ترمینال قرار داده و سپس مساله SSA و تخصیص شناور به اسکله را به عنوان دو تصمیم متوالی و وابسته به یکدیگر فرموله نمودند. به طوری که خروجی مساله SSA به عنوان ورودی مساله تخصیص شناور به اسکله در نظر گرفته می‌شود. همان طوری که پیش‌تر نیز اشاره شد، در این تحقیق برای اولین بار نوع کانتینر در مساله SSA در نظر گرفته خواهد شد.

تاکنون تعداد معدودی تحقیقات در زمینه کاربرد رویکردهای فرا ابتکاری به خصوص GA برای حل مسایل ترمینال کانتینری ارایه شده است. آمیا<sup>۱۲</sup> و همکاران از GA برای حل یک مدل غیرخطی تخصیص اسکله به شناور در یک ترمینال چند منظوره استفاده کردند [۹]. کرد<sup>۱۳</sup> و همکاران برای حل مساله تخصیص سرویس که مربوط به جابه جایی مجدد کانتینرها در بلوک‌ها می‌باشد، از GA استفاده کردند [۱۰]. لی<sup>۱۴</sup> و همکاران برای زمان بندی جرثقیل‌های ساحلی از GA استفاده کردند [۱۱]. هم چنین آمیا و همکاران حل مساله برنامه‌ریزی بارگیری و چیدمان بار در شناور را با GA مورد بررسی قرار دادند [۶]. تاکنون حل مساله SSA و به طور هم زمان تخصیص اسکله به شناور با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده توسط هیچ رویکردی بررسی نشده است که از نکات برجسته تحقیق جاری به شمار می‌آید.

---

11. Zhang

12. Imia

13. Cordeau

14. Lee

### ۳. تعریف مساله

یک ترمینال کانتینری یا به طور خلاصه «ترمینال» به مکانی در بندر گفته می‌شود که شناورهای حاوی کانتینر در آنجا لنگر انداخته و کانتینرهای ورودی<sup>۱۵</sup> (خالی یا پر از محموله<sup>۱۶</sup>) را تحویل داده و کانتینرهای خروجی<sup>۱۷</sup> را بارگیری می‌نمایند. جهت سنجش عملکرد ترمینال و ظرفیت شناورها از یک واحد استاندارد بنام TEU<sup>۱۸</sup> استفاده می‌شود که معادل یک کانتینر ۲۰ فوتی است. هر کانتینر ۴۰ فوتی و یا بزرگتر، ۲ واحد TEU محسوب می‌گردد. ترمینال‌ها دارای محوطه یا مکان‌های خاصی جهت ذخیره موقت کانتینرها می‌باشند که به اصطلاح به آن‌ها بلوک گفته می‌شود. بنام بلوک<sup>۱۹</sup> تقسیم می‌شود. هر بلوک یک ناحیه مستطیل شکل با چند سطر یا راهرو<sup>۲۰</sup> می‌باشد به طوری که یک راه رو جهت عبور و مرور بارکش و سایر سطرها جهت ذخیره سازی کانتینر استفاده می‌شود. یک کانتینر خروجی (O/B)، کانتینری است که توسط مشتری به ترمینال آورده شده تا به بندر دیگری فرستاده شود. یک کانتینر ورودی (I/B) عبارت از کانتینری است که توسط یک شناور برای یک مشتری خاص از بندر دیگری آورده می‌شود. بر طبق پژوهش‌های گذشته کانتینرهای تخصیص داده شده به محوطه را از لحاظ وضعیت عملیاتی به چهار دسته می‌توان تقسیم کرد [۱].

کانتینرهای ورودی بر روی شناورها که هنوز تخلیه و به محوطه آورده نشده اند

- 
- 15. Inbound-Import
  - 16. Cargo
  - 17. Outbound-Export
  - 18. Twenty-foot Equivalent Unit
  - 19. Block
  - 20. Lane-Slot

(C<sub>۱</sub>).

کانتینرهای ورودی که از قبل به محوطه تخصیص داده شده و منتظر مشتریان خود می‌باشند (C<sub>۲</sub>).

کانتینرهای خروجی که هنوز به محوطه آورده نشده اند (C<sub>۳</sub>).

کانتینرهای خروجی که از قبل به محوطه تخصیص داده شده و منتظر بارگیری شناورها می‌باشند (C<sub>۴</sub>).

از آن جایی که زمان رسیدن کانتینرهای C<sub>۱</sub> و ترخیص کانتینرهای C<sub>۴</sub> به طور مستقیم بستگی به زمان بندی شناورها دارد، مبدأ زمانی برای جابه جایی این کانتینرها توسط جرثقیل از ابتدا شناخته شده می‌باشد. از طرف دیگر، تنها بر طبق داده‌های گذشته می‌توان توزیع مبدأ زمانی جهت جابه جایی کانتینرهای C<sub>۲</sub> و C<sub>۳</sub> را به دست آورد. در نتیجه، مبدأ زمانی جهت جابه جایی کانتینرهای C<sub>۲</sub> و C<sub>۳</sub> پارامترهای نادقیق و مبهم می‌باشند، ولی یک بازه زمانی به طور تقریب نامحدود برای انبار کردن کانتینرهای C<sub>۲</sub> و C<sub>۳</sub> در محوطه وجود دارد به طوری که چند روز بعد از رسیدن و چند روز قبل از ترخیص شناورهای مربوطه، فرصت برای انبار کردن وجود دارد. دو هدف عمده عبارتند از: ۱- کمینه سازی متوسط زمانی پهلوگیری شناورها و ۲- حداکثرسازی متوسط خروجی QC ها.

بر طبق شرایط خاص بندر شهید رجایی، ۸۰ درصد کالاهای تخلیه و بارگیری شده مربوط به واردات می‌باشد (یعنی کالاهای تخلیه شده). بدین معنی که توزیع کانتینرها در داخل بلوک‌ها و نیز تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها بر مبنای کانتینرهای ورودی می‌باشد. به این صورت که پس از تخصیص کانتینرها که قرار است تخلیه شوند، و نیز تخصیص کشتی به اسکله، کانتینرهای خروجی که قرار است بر روی کشتی مورد نظر

بارگیری شوند، در نزدیک‌ترین مکانی که کشتی پهلو گرفته است به صورت یک جا انبار می‌شوند. لذا تخصیص کانتینرهای خروجی به بلوک‌های مختلف معنی نخواهد داشت. به عبارت دیگر کانتینرهای متعلق به یک کشتی که قرار است از بندر خارج شوند (چه آن‌هایی که از قبل ذخیره گشته و منتظر خروج می‌باشند و چه آن‌هایی که در حال رسیدن به محوطه می‌باشند) همگی در یک مکان مشخص ذخیره می‌گردند. از این رو تمامی تصمیم‌گیری‌های مربوط به امر تخصیص کشتی به اسکله که در فاز دوم اتخاذ خواهد شد بر مبنای مکان تخصیص کانتینرهای ورودی می‌باشد. بنابراین در مرحله اول فقط کانتینرهای نوع  $C_1$  و  $C_2$  در نظر گرفته خواهند شد. چرا که ۸۰ درصد محموله‌ها در بندر مذکور مربوط به کانتینرهای ورودی است.

به دلیل این که عملیات ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی برحسب ساعت برای ۳۶۳ روز سال برنامه‌ریزی می‌شود، لذا ناگزیر به استفاده از یک افق برنامه‌ریزی ثابت می‌باشیم. در رویکرد افق پوششی<sup>۲۱</sup> در شروع هر افق برنامه‌ریزی، برای یک بازه زمانی متشکل از تعداد ثابتی دوره در آینده برنامه‌ریزی می‌نماییم. سپس در اواسط افق جاری یک برنامه‌ریزی جدید براساس آخرین اطلاعات به دست آمده برای افق بعدی انجام داده و این رویکرد به طور پیوسته ادامه می‌یابد.

یک دوره برنامه‌ریزی کوتاه مستلزم حجم محاسبات کمتری می‌باشد، ولی توان پیش‌بینی درمورد آینده را کاهش خواهد داد. در حالی که یک دوره برنامه‌ریزی طولانی ممکن است به لحاظ محاسباتی غیرعملی بوده و حاوی اطلاعات نادقیق بیشتری باشد. جهت رفع این نقص و با بررسی تاثیر افق برنامه‌ریزی به روی پیچیدگی مساله، شدنی بودن محاسبات و صحت داده‌ها و شرایط خاص مورد مطالعات ما افق برنامه‌ریزی بر



مبنای ورود یک کشتی قرار داده می‌شود. این رویکرد به این دلیل در نظر گرفته شده است که تا زمانی که کشتی جدید وارد بندر نشده است، خللی در برنامه پیشین آرایه شده ایجاد نخواهد شد اما به محض ورود کشتی جدید، در صورت برنامه‌ریزی مجدد می‌توان قطعیت بیشتری را برای برنامه آرایه شده متصور بود.

حداکثر زمان اقامت کانتینرهای ورودی به تقریب برابر حداکثر دوره ترخیص آن‌ها می‌باشد که از طول هر دوره برنامه‌ریزی تجاوز خواهد کرد. در نتیجه تعدادی کانتینر وجود دارند که زمان ترخیص آن‌ها در لحظه برنامه‌ریزی مشخص نبوده و یا زمان ترخیص آن‌ها از طول افق برنامه‌ریزی تجاوز می‌کند. از آن جایی که حجم کاری چنین کانتینرهایی در طول افق برنامه‌ریزی رخ نمی‌دهد، در نتیجه به طور مستقیم در مساله SSR دخالت داده نخواهند شد. برای در نظر گرفتن تاثیر کانتینرهای مذکور در مساله، آن‌ها را به نسبت ظرفیت‌های ذخیره در دسترس بین بلوک‌ها توزیع می‌کنیم به گونه‌ای که تراکم بلوک‌ها تعدیل گردد. چنین روش تقریبی، یک تاثیر نهایی بروی عملکرد رویکرد پیشنهادی دارد، به این ترتیب که اکثر کانتینرهای یک شناور در طول افق برنامه‌ریزی (داخل سه روز - قبل و بعد از پهلوگیری شناور) جمع و توزیع می‌شوند و اکثر کانتینرها تحت اطلاعات نادقیق تخصیص می‌یابند چون تنها یک روز از افق برنامه‌ریزی سپری شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، به طور کلی هر کانتینر در این تحقیق دارای چهار خصوصیت مختلف به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- بلوکی که کانتینر باید به آن تخصیص یابد.
- ۲- زمان تخلیه (دوره حضور کانتینر در بلوک).
- ۳- زمان ترخیص کانتینر (دوره خروج کانتینر از بلوک).
- ۴- نوع کانتینر.

### ۳-۱- مرحله اول: تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها

هدف از مرحله اول، تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها با هدف کمینه‌سازی زمان پهلوگیری شناورها از طریق تعدیل حجم کاری RTGC ها و QC ها می‌باشد. در حالت کلی، اگر محموله یک شناور در بلوک‌های مختلف پراکنده شده باشد، RTGC ها در بلوک‌های مذکور نقش پردازشگرهای موازی برای آن شناور را ایفا می‌کنند. در نتیجه زمان جدا شدن شناور از اسکله (زمان تکمیل کار) برابر حداکثر زمان پردازش بین جرثقیل‌های مذکور می‌باشد. در نتیجه تعدیل حجم کاری پردازشگرهای موازی فوق موجب کمینه‌سازی زمان تکمیل شناور مورد نظر به عنوان یک Job خواهد شد. نتایج مشابه بر روی مساله آرایش RTGC ها نشان می‌دهد که تعدیل حجم کاری بلوک‌ها موجب کاهش تاخیر در جابه جایی کانتینرها می‌شود (Zhang et al., 2002). مرحله اول مبتنی بر فرض‌های زیر می‌باشد:

۱. منابع کافی (جرثقیل‌های محوطه) جهت جابه جایی حجم کاری وجود دارد.
۲. حرکت جرثقیل‌های محوطه در بین بلوک‌ها وجود ندارد.
۳. اندازه کلیه جرثقیل‌های محوطه یکسان می‌باشد.
۴. حجم کاری برحسب تعداد کانتینر سنجیده می‌شود.
۴. برای سازگاری، ظرفیت فضای انبار نیز برحسب کانتینر سنجیده می‌شود.
۶. کانتینرها فقط شامل کانتینرهای ورودی و کانتینرهای ورودی که از قبل تخصیص داده شده اند می‌باشند.
۷. اندازه کانتینرها یکسان در نظر گرفته می‌شود (از لحاظ عملی کانتینرهای با اندازه‌های گوناگون با یکدیگر در یک بلوک قرار داده نمی‌شوند و اندازه کانتینرهای موجود در یک بلوک به ندرت متغیر می‌باشد).

۸. کانتینرها دارای انواع مختلفی می‌باشند و هر نوع کانتینر به الزام باید در بلوک‌های مخصوص به ذخیره سازی آن نوع کانتینر ذخیره گردد.

### توسعه مدل ریاضی فاز اول

#### پارامترهای ورودی:

$B$ : تعداد کل بلوک‌ها در محوطه.

$T$ : تعداد کل دوره‌های برنامه‌ریزی در یک افق.

$R$ : تعداد کل انواع کانتینرها.

$C_i$ : ظرفیت ذخیره بلوک  $i$  ام به طوری که  $i=1,2,\dots,B$ .

$\tilde{D}_{tkr}$ : تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی  $CI$  از نوع  $r$  که در دوره  $t$  از شناورها

تخلیه شده و باید در دوره  $t+k$  توسط مشتریان تحویل گرفته شوند.

$\beta_{itr}$ : تعداد انتظاری کانتینرهای ورودی  $CI$  از نوع  $r$  که در دوره  $t$  از شناورها تخلیه

و به بلوک  $i$  تخصیص داده شده‌اند (تعداد آن توسط روش توزیع نسبی تعیین

می‌شود) به طوری که زمان دریافت آن‌ها توسط مشتری مشخص نبوده و یا

لااقل مشتری بعد از افق جاری آن را تحویل خواهد گرفت.

$\tilde{P}_{itr}$ : تعداد کانتینرهای ورودی  $CI$  از نوع  $r$  باقی مانده از دوره قبل در بلوک  $i$  که در

طول دوره  $t$  توسط مشتریان تحویل گرفته خواهند شد (از بلوک  $i$  تخلیه خواهند

شد).

$M$ : یک عدد بزرگ.

$\eta$ : ضریب تعدیل ظرفیت هر بلوک.

$W_1$  و  $W_2$ : وزن‌های مربوط به تابع هدف که توسط مدیریت تعیین می‌گردد.

$S_{ir}$ : برابر 1 است اگر کانتینر نوع  $r$  بتواند به بلوک  $i$  تخصیص یابد و 0 در غیر این صورت.

$V_{ir}$ : موجودی اولیه بلوک  $i$  از کانتینر نوع  $r$ .

### متغیرهای تصمیم

$D_{itr}$ : تعداد کانتینرهای ورودی  $C_1$  نوع  $r$  با اطلاعات کامل که در بلوک  $i$  ذخیره شده به طوری که در دوره  $t$  از شناورها تخلیه شده و باید در دوره  $t+k$  توسط مشتری تحویل گرفته شوند.

$D_{itr}$ : تعداد کل کانتینرهای  $C_1$  نوع  $r$  با اطلاعات کامل یا ناقص که در بلوک  $i$  ذخیره شده به طوری که در طول دوره  $t$  از شناورها تخلیه می‌شوند. منظور از کانتینرهای با اطلاعات کامل، کانتینرهایی می‌باشند که از زمان تحویل گرفتن آنها توسط مشتریان اطلاع دقیق در دسترس می‌باشد.

$P_{itr}$ : تعداد کل کانتینرهای  $C_1$  نوع  $r$  که در بلوک  $i$  ذخیره شده به طوری که در دوره  $t$  توسط مشتری تحویل گرفته می‌شوند.

$V_{itr}$ : موجودی بلوک  $i$  از کانتینر نوع  $r$  در پایان دوره  $t$ .

با توجه به تعریف پارامترهای فوق، تابع هدف مدل پیشنهادی به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\min Z = \sum_{i=1}^T \sum_{r=1}^R \left( w_1 \left[ \max_{i=1}^B \{D_{itr}\} - \min_{i=1}^B \{D_{itr}\} \right] + w_2 \left[ \max_{i=1}^B \{D_{itr} + P_{itr}\} - \min_{i=1}^B \{D_{itr} + P_{itr}\} \right] \right) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $D_{itr}$  برابر تعداد کل انتظاری کانتینرهای با اطلاعات کامل و ناقص در

ارتباط با شناور است که نیاز است تا در بلوک  $i$  و در دوره  $t$  تخلیه شوند. هم چنین  $D_{itr}$  برابر تعداد کل انتظاری کانتینرهایی است که باید در بلوک  $i$  و در دوره  $t$  جابه جا شوند (کانتینرهای در ارتباط با مشتری و شناور). بنابراین، رابطه (۱) در واقع عدم تعادل کانتینرهای در ارتباط با شناور به علاوه عدم تعادل تعداد کل کانتینرها در همه بلوکها در هر دوره برنامه ریزی را نشان می دهد. پارامترهای  $w_1$  و  $w_2$  مبین وزن ها یا اهمیت هدف های مذکور می باشند که توسط مدیریت ترمینال تعیین می گردند به طوری که  $w_1 + w_2 = 1$ . به عبارت ساده تر زمانی که ترخیص زودتر کشتی ها بیشتر از تعدیل حجم کاری کل ترمینال برای مدیریت از اهمیت بیشتری برخوردار باشد،  $w_2 < w_1$  خواهد بود و به عکس. لازم به ذکر است که عدم تعادل مذکور باید بر روی نوع کانتینرها به صورت جداگانه جمع بسته شود به این معنی که عدم تعادل باید مابین بلوک های مربوط به هر نوع کانتینر به صورت جداگانه در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، عدم تعادل بلوک های مخصوص کانتینرهای معمولی و بلوک های مختص کانتینرهای یخچالی به صورت جداگانه محاسبه خواهد شد و عدم تعادل نهایی از مجموع آنها به دست خواهد آمد. محدودیت های مدل پیشنهادی عبارتند از:

الف : محدودیت های حفظ جریان کانتینر

$$t=1,2,\dots,T, \quad K=1,2,\dots,T-t, \quad r=1,2,\dots,R \quad \sum_{i=1}^B D_{itkr} = \tilde{D}_{itkr} \quad (2)$$

$$i=1,2,\dots,B, \quad t=1,2,\dots,T, \quad r=1,2,\dots,R \quad D_{itr} = \beta_{itr} + \sum_{k=1}^{T-t} D_{itkr} \quad (3)$$

محدودیت (۲) تضمین می کند که تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی نوع  $C_1$  با

اطلاعات کامل جهت تخصیص به بلوک‌ها منتظر بمانند به طوری که  $\tilde{D}_{ikr}$  برابر مجموع کانتینرهای ورودی نوع  $C_1$  با اطلاعات کامل تخصیص یافته به همه بلوک‌ها می‌باشند. به عبارت دیگر، محدودیت فوق مربوط به کل تقاضای موجود کانتینر برای تخصیص به بلوک‌ها می‌باشد. محدودیت (۳) اطمینان می‌دهد که تعداد کل انتظاری کانتینرهای نوع  $C_1$  و از نوع  $r$  تخصیص یافته به بلوک  $i$  در طول دوره  $t$  ( $D_{itr}$ ) برابر مجموع تعداد کل کانتینرهای نوع  $C_1$  (ورودی) با اطلاعات کامل یعنی  $\sum_{k=1}^{T-k} D_{ikr}$  به علاوه تعداد کل کانتینرهای نوع  $C_1$  با زمان ترخیص نامعلوم یعنی  $\beta_{irr}$  در افق برنامه‌ریزی می‌باشد.

ب : محدودیت‌های بروی کانتینرهای نوع  $C_1$

$$i=1,2,\dots,B, \quad t=1,2,\dots,T, \quad r=1,2,\dots,R \quad P_{itr} = \sum (D_{i(t-k)kr}) + \tilde{P}_{irr} \quad (4)$$

برای درک بیشتر محدودیت شماره (۴) مثال زیر را در نظر آورید (برای سهولت از نوع کانتینر به طور موقت صرف نظر می‌شود):  
فرض کنید  $P_{13}$  برابر است با کانتینرهایی که در دوره سوم از بلوک اول خارج می‌شوند. که این تعداد برابر است با :

- کانتینرهایی که در طول دوره برنامه‌ریزی جاری به بلوک ۱ تخصیص یافته و مقدار  $t+k$  برای آن‌ها (یعنی زمان خارج شدن کانتینر) برابر ۳ باشد، که می‌تواند در حالات زیر اتفاق افتد.
- کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره اول رسیده‌اند و ۲ دوره بعد از آن خواهند رفت. یعنی  $D_{112}$ .
- کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره دوم رسیده‌اند و ۱ دوره بعد

از آن خواهند رفت. یعنی  $D_{121}$ .

لذا مقدار  $D_{121} + D_{112}$  برابر کلیه حالت‌های ممکن  $P_{13}$  (در طول افق جاری برنامه‌ریزی) خواهد بود. که برابر است با  $P_{13} = \sum_{k=1}^{3-1} D_{1(3-k)k}$  لذا برای تمام حالت‌ها و برای تمام بلوک‌ها خواهیم داشت:  $P_{it} = \sum_{k=1}^{t-1} D_{i(t-k)k}$ . از سوی دیگر تعدادی کانتینر از افق برنامه‌ریزی قبلی باقی مانده است که بر طبق برنامه در یکی از دوره‌های افق برنامه‌ریزی جاری از بلوک مفروض خارج خواهند شد که این مقدار به عنوان یک ورودی از داده‌های به دست آمده از افق قبلی به صورت  $\tilde{P}_{it}$  در اختیار می‌باشد. به این ترتیب مقدار کل کانتینرهایی که در هر دوره از دوره‌های افق جاری و با در نظر گرفتن نوع کانتینر از بلوک‌های ذخیره سازی خارج خواهند شد به صورت  $P_{itr} = \sum_{k=1}^{t-1} D_{i(t-k)kr} + \tilde{P}_{itr}$  به دست می‌آید.

ج- محدودیت‌های چگالی بلوک

$$V_{itr} = V_{i(t-1)r} + D_{itr} - P_{itr} \quad i=1,2,\dots,B, \quad t=1,2,\dots,B, \quad r=1,2,\dots,R$$

$$(5) \quad V_{itr} \leq \eta C_i \quad i=1,2,\dots,B,$$

$$t=1,2,\dots,B, \quad r=1,2,\dots,R \quad (6)$$

برابر چگالی مجاز برای هر بلوک می‌باشد. محدودیت (5) موجودی را از دوره‌ای  $\eta$  به طوری که به دوره دیگر، به هنگام سازی می‌نماید به نحوی که بیان می‌دارد که موجودی پایان هر دوره برابر است با موجودی ابتدای آن دوره (پایان دوره قبل) به علاوه تعداد کانتینری که در طول این دوره در بلوک مفروض ذخیره خواهد گردید منهای تعداد کانتینری که در طول این دوره از بلوک تخلیه خواهد گردید. محدودیت (6) تضمین می‌کند که موجودی هر بلوک در هر دوره برنامه‌ریزی از سطح مجاز چگالی تجاوز نکند. لازم به ذکر است که میزان چگالی مفروض که عددی بین صفر و یک

می‌باشد به این دلیل در نظر گرفته می‌شود که تعداد کانتینر ذخیره گردیده در هر بلوک، کمتر از ظرفیت کامل بلوک باشد تا فضای کافی برای حرکت جرثقیل‌های محوطه وجود داشته باشد.

$$D_{itr} \leq M.S_{ir} \quad i=1,2,\dots,B, \quad t=1,2,\dots,B, \quad r=1,2,\dots,R \quad (7)$$

محدودیت شماره (۷) تضمین می‌کند که هر نوع کانتینر به بلوک مخصوص خود تخصیص یابد.

### ۳-۲- مرحله دوم: تخصیص شناور به اسکله

بعد از حل مساله SSA و تعیین تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها، می‌توان مکان بهینه پهلوگیری شناورها را با توجه به فاصله فیزیکی بین مکان بلوک‌ها و اسکله‌ها تعیین نمود. مساله تعیین مکان بهینه پهلوگیری شناورها، یک مساله تخصیص کلاسیک با هدف کمینه سازی کل مسافت طی شده توسط بارکش‌ها بین اسکله و محوطه بلوک‌ها می‌باشد. بنادر تجاری به طور عمده دارای چند ورودی بوده و هر ورودی شامل چند مکان پهلوگیری مجزا می‌باشد به طوری که چند شناور با طول استاندارد می‌توانند هم‌زمان پهلوگیری نمایند. مرحله دوم مبتنی بر فرض‌های زیر می‌باشد:

۱. فواصل بلوک‌ها از اسکله‌های پهلوگیری معین و غیر قابل تغییر است.
۲. جهت ساده سازی، طول کشتی‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود لذا بر مبنای آن هر کشتی می‌تواند در هر اسکله پهلو گیرد.
۳. زمان عملیات پهلوگیری کشتی‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. به عبارت ساده تر فرض می‌شود که هر کشتی به محض رسیدن به بندر آماده تخلیه بار خود



می‌باشد.

۴. به دلیل بررسی کانتینرهای ورودی؛ به طور موقت فرض می‌شود که کشتی‌هایی که به این قسمت بندر مراجعه می‌کنند همگی دارای بار پر و کانتینرهای ورودی می‌باشند؛ لذا از کشتی‌هایی که ماموریت حمل بارهای خروجی (صادراتی) را دارند صرف نظر می‌شود.

در این قسمت، مدل ریاضی مربوط به فاز دوم مساله ارایه خواهد شد به تعیین مکان (اسکله) بهینه برای پهلوگیری کشتی‌ها، به همراه تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی در بلوک‌ها مربوط می‌شود:

### فرض‌های مربوط به فاز دوم

- ۱- فواصل بلوک‌ها از اسکله‌های پهلوگیری ثابت و غیر قابل تغییر است.
- ۲- جهت ساده سازی، طول کشتی‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود لذا بر مبنای آن هر کشتی می‌تواند در هر اسکله پهلو گیرد.
- ۳- زمان عملیات پهلوگیری کشتی‌ها، در نظر گرفته می‌شود به عبارت ساده‌تر فرض می‌شود که هر کشتی به محض رسیدن به بندر آماده تخلیه بار خود می‌باشد.
- ۴- به دلیل بررسی کانتینرهای ورودی به طور موقت فرض می‌شود که کشتی‌هایی که به این قسمت بندر مراجعه می‌کنند همگی دارای بار پر و کانتینرهای ورودی می‌باشند، لذا از کشتی‌هایی که ماموریت حمل بارهای خروجی (صادراتی) را دارند صرف نظر می‌گردد.

## نوتاسیون

### پارامترهای ورودی

$s/h$ : تعداد کشتی‌های ورودی به بندر در طول دوره برنامه ریزی.

$p$ : تعداد کل مکان‌های قابل پهلوگیری (اسکله).

$d_{iv}$ : فاصله بلوک  $i$  ام تا مکان پهلوگیری  $v$  ام.

$S_t$ : تعداد کل شناورهای پهلوگرفته در ترمینال در پی‌یود  $t$ .

$D_{ikr}$ : متغیر خروجی فاز اول که به عنوان یک ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$D_{itr}$ : متغیر خروجی فاز اول که به عنوان یک ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$N_{jkr}$ : تعداد کانتینر نوع  $r$  متعلق به کشتی  $j$  با اطلاعات کامل که در دوره  $t$  وارد

ترمینال شده و در دوره  $t+k$  توسط مشتریان تحویل گرفته خواهند شد.

$N_{jtr}$ : تعداد کانتینر نوع  $r$  متعلق به کشتی  $j$  با اطلاعات ناقص که در دوره  $t$  وارد

ترمینال شده به نحوی که زمان دریافت آن‌ها توسط مشتریان مشخص نمی‌باشد

و یا لاقط مشتریان بعد از افق جاری آن‌ها را تحویل خواهند گرفت.

### متغیرهای تصمیم

$X_{ijkr}$ : تعداد کانتینرهای ورودی  $C_1$  از نوع  $r$  متعلق به کشتی  $j$  با اطلاعات کامل که

در بلوک  $i$  ذخیره شده (باید ذخیره گردند) به طوری که در دوره  $t$  از شناورها

تخلیه شده و باید در دوره  $t+k$  توسط مشتری تحویل گرفته شوند.

$X_{ijtr}$ : تعداد کانتینرهای  $C_1$  از نوع  $r$  متعلق به کشتی  $j$  با اطلاعات ناقص که در بلوک

$i$  ذخیره شده (باید ذخیره گردند) به طوری که در طول دوره  $t$  از شناورها تخلیه

می‌شوند.

$y_{ij}$ : برابر یک است اگر کشتی  $r$  به مکان  $v$  تخصیص یابد. و صفر است در این حالت.

## تابع هدف فاز ۲

$$\min Z = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^{sh} \sum_{v=1}^p \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^T \sum_{r=1}^R (d_{iv} x_{ijtkr} y_{vj} + d_{iv} x_{ijtr} y_{vj}) \quad (8)$$

تابع هدف (۷) کل مسافت طی شده توسط بارکش‌های داخلی را با در نظر گرفتن مکان تخصیص داده شده به کشتی را کمینه می‌کند. دو قسمت مدل نیز مربوط به کانتینرهای تخصیص یافته هر کشتی با اطلاعات کامل و ناقص می‌باشد. این مدل نیز غیر خطی می‌باشد لذا جهت خطی سازی آن با استفاده از تکنیک مربوطه تابع هدف به صورت زیر تبدیل می‌گردد:

## محدودیت‌های مدل

St :

$$\sum_{j=1}^{sh} x_{ijtkr} = D_{itkr} \quad \forall i, j, t, k | k \leq T - t, r \quad (9)$$

$$\forall i, t, r \sum_{j=1}^{sh} x_{ijtr} = D_{itkr} - \sum_{k=1}^T D_{itkr} \quad (10)$$

محدودیت شماره (۹) محدودیت تقاضا می‌باشد. به عبارت دیگر این محدودیت بیان می‌دارد که مجموعه کانتینرهای تخصیص یافته با اطلاعات کامل متعلق به تمامی کشتی‌ها نباید متفاوت از مقدار تخصیص متعادل فاز اول باشد.

محدودیت شماره (۱۰) مفهوم مشابهی را برای کانتینرهای با اطلاعات ناقص بیان می‌دارد.

\*مفهوم اطلاعات کامل و ناقص در فاز اول مساله توضیح داده شد.

$$\sum_{i=1}^B x_{ijk r} = N_{jkr} \quad \forall i, t, k, r \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^B x_{ijr} = N_{itr} \quad \forall i, t, r \quad (12)$$

محدودیت شماره (۱۱) مبین محدودیت مقدار تخلیه شناور می‌باشد. به عبارت دیگر این محدودیت بیان می‌دارد که مجموعه کانتینرهای (با اطلاعات کامل) تخصیص یافته به تمامی بلوک‌ها باید برابر مجموعه کانتینرهای موجود در کشتی‌ها باشد. محدودیت شماره (۱۲) مفهوم مشابهی را برای کانتینرهای با اطلاعات ناقص بیان می‌دارد.

$$x_{ijtr} \leq MS_{ir} \quad \forall i, j, t, k, r \quad (13)$$

$$x_{ijk r} \leq MS_{ir} \quad \forall i, j, t, r \quad (14)$$

محدودیت‌های شماره (۱۳) و (۱۴) محدودیت‌های مربوط به نوع کانتینر می‌باشند که در فاز اول توضیح داده شد.

$$\sum_{v=1}^P y_{vj} \leq 1 \quad \forall i \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{sh} y_{vj} \leq 1 \quad \forall v \quad (16)$$

محدودیت شماره (۱۵) بیان می‌دارد که هر کشتی فقط به یک مکان (اسکله) باید تخصیص یابد.

محدودیت شماره (۱۶) بیان می‌دارد که هر مکان (اسکله) فقط به یک کشتی باید تخصیص یابد.

$$y_{vj} \in (0,1) \quad (17)$$

متغیر  $y_{vj}$  برابر یک است اگر کشتی  $j$  به مکان  $v$  تخصیص یابد. و صفر است در غیر این صورت.

## ۴. نتایج محاسباتی

این بخش، صحت عملکرد مدل پیشنهادی را مورد بررسی قرار می‌دهد. مسایل نمونه بر طبق اطلاعات واقعی به دست آمده از بندر شهید رجایی ایجاد شده‌اند. کلیه مسایل نمونه توسط یک سیستم پنتیوم با ۵۱۲ مگابایت RAM حل شده‌اند. مدل‌های آرایه شده در مرحله‌های اول و دوم توسط نرم افزار LINGO 8.0 حل شده‌اند.

### ۴-۱- ورودی‌های اولیه

جهت درک بهتر مساله، فرض کنید که یک کشتی از افق برنامه‌ریزی قبلی در بندر حضور دارد که عملیات تخلیه بر روی آن هم چنان ادامه دارد تا مابقی کانتینرهای آن تخلیه گردند (کشتی A). کشتی دیگری نیز وارد حوضچه بندر شده و آماده پهلوگیری می‌باشد (فرض کنید زمان پهلوگیری به طور تقریب صفر است) و عملیات تخلیه بر روی آن از ابتدای دوره اول آغاز می‌گردد (کشتی B). کشتی سوم نیز وارد منطقه بندری شده است اما تا زمان پهلوگیری ۳ ساعت برابر یک دوره برنامه‌ریزی زمان نیاز دارد. لذا عملیات تخلیه بر روی آن از ابتدای دوره دوم شروع خواهد گردید (کشتی C). توجه کنید

که در شرایط واقعی پهلوگیری در بندر شهید رجایی حدود ۴ ساعت زمان می‌برد، اما این موضوع خللی بر کلیت مساله وارد نمی‌سازد چرا که می‌توان زمان فوق را به صورت زمان در دسترس در مدل در نظر گرفت که به طور موقت به صورت پیش فرض حذف شده است. از سوی دیگر فرض می‌کنیم که ۴ بلوک ذخیره سازی و ۴ مکان پهلوگیری (اسکله) در اختیار می‌باشد که کشتی A از افق برنامه‌ریزی قبلی در اسکله دوم پهلو گرفته است. همان گونه که شرح داده شد، هدف مساله در مرحله اول تخصیص کل کانتینرها به بلوک‌های ذخیره‌سازی می‌باشد به نحوی که حجم کاری کل کمینه گردد و هدف مرحله دوم تخصیص کشتی‌های ورودی به اسکله‌های قابل پهلوگیری به همراه تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی در بلوک‌های ذخیره‌سازی می‌باشد. جدول‌های زیر اطلاعات اولیه مربوط به هر کشتی را ارائه می‌دهند که شامل دوره زمان ورود کانتینر  $(t)$ ، زمان خروج کانتینر  $(t)$ ، و نوع کانتینر  $(r)$  می‌باشد. لازم به ذکر است که کانتینرهای هر نوع که در دوره‌های مربوطه وارد می‌شوند همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، دارای دو وضعیت باشند: کانتینرهایی که زمان خروج آن‌ها (زمان تحویل گرفتن توسط مشتریان) مشخص می‌باشد و کانتینرهایی که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی در اختیار نیست. لذا اطلاعات مربوط به این مهم به صورت دو ستون جداگانه a و b (ستون a مربوط به کانتینرهایی هستند که از زمان خروج آن‌ها اطلاع داریم و ستون b مربوط به کانتینرهایی که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی نداریم)، برای هر نوع کانتینر و در هر دوره برنامه‌ریزی در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. مقادیر مربوط به متغیرهای ورودی مساله نمونه، در جدول شماره ۵ آمده است که این مقادیر (مقادیر مندرج در جدول ۵) از اطلاعات اولیه موجود در جداول ۱ تا ۳ به دست آمده است. به عبارت دیگر جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ نحوه محاسبه متغیرهای اولیه مساله را از اطلاعات

خام به دست آمده از کشتی‌های فرضی، نشان می‌دهد.

جهت درک بهتر مطلب، توضیح زیر ارایه می‌گردد:

همان گونه که ذکر شد مقادیر مربوط به ستون  $b$  مربوط به کانتینرهایی می‌باشد که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی در دست نیست. به عنوان مثال به مقادیر مربوط به ستون‌های  $b$  مربوط به جداول ۲ و ۳، که زیر آن‌ها خط کشیده شده است، توجه نمایید. مجموع آن‌ها برابر  $100+0=100$  می‌باشد. این وضعیت به معنی آن است که مجموع تعداد کانتینرهای دو کشتی  $B$  و  $C$  (کشتی‌هایی که در طول افق برنامه‌ریزی مورد بررسی، وارد بندر شده یا خواهند شد) که در طول دوره اول  $t_1$  تخلیه شده و از نوع اول  $T_1$  می‌باشند و هم چنین از زمان دقیق خروج آن‌ها نیز اطلاعی نداریم (نوع  $b$ ) برابر ۱۰۰ عدد می‌باشند. این داده ورودی (۱۰۰ واحد) به نحو زیر در درون متغیر  $\beta_{itr}$  قرار خواهد گرفت:

از سوی دیگر در توضیح متغیر ورودی  $\beta_{itr}$  ذکر گردید که تعداد آن توسط روش توزیع نسبی تعیین می‌شود.

معنی این وضعیت آن است که تعداد کل کانتینرهای نوع  $T$  که در طول دوره  $t$  تخلیه می‌شوند به طور نسبی در بین تمامی بلوک‌ها توزیع می‌شوند. از این رو تعداد ۱۰۰ واحد به دست آمده در بالا به طور نسبی (مساوی) در بین تمامی بلوک‌های مخصوص کانتینرهای نوع  $T_1$  توزیع می‌گردد. با توجه به این نکته که تنها بلوک‌های ۲ و ۳ و ۴ مجاز به ذخیره‌سازی کانتینرهای نوع ۱ می‌باشند، لذا مقادیر  $\beta_{211}$  و  $\beta_{311}$  و  $\beta_{411}$  به ترتیب برابر ۳۵ و ۳۰ و ۳۵ (مقادیری که در جدول ۵ زیر آن‌ها خط کشیده شده است) در نظر گرفته می‌شوند.

توضیح تکمیلی این که، مقادیر کانتینرهای نوع  $b$  مربوط به کشتی  $A$  در محاسبه

مذکور در نظر گرفته نمی‌شوند، چون بر طبق فرض در نظر گرفته شده، کشتی A از افق برنامه‌ریزی قبلی در بندر باقی‌مانده است. از آن جایی که بر طبق توضیحات اولیه، مساله ما به صورت یک افق برنامه‌ریزی دوره‌ای اجرا می‌شود، فرض می‌گردد که مقادیر مربوط به این کشتی در برنامه‌ریزی افق قبلی در نظر گرفته شده است اما از آن جایی که در مورد خروج یا عدم خروج آن‌ها اطلاعاتی در دست نمی‌باشد لذا نمی‌توانیم که آن‌ها را به طور کلی در نظر نگیریم از این رو این مقادیر در درون متغیر  $V_{ir}$  گنجانده می‌شوند. به عبارت دیگر این مقادیر را به عنوان بخشی از موجودی اول دوره در نظر می‌گیریم.

این نحوه محاسبه هر چند که تقریبی و نسبی می‌باشد ولی خللی در منطق تابع هدف مساله ایجاد نمی‌کند چرا که هدف نهایی تعدیل بهینه می‌باشد که این مهم در این راستا به تابع هدف مساله کمک نیز می‌نماید.

مقادیر متغیر  $\bar{D}_{kr}$  را نیز می‌توان با توجه به تعریف ارائه شده برای این متغیر به راحتی از طریق جدول‌های ۱ تا ۳ به دست آورد.

مقادیر مربوط به متغیر  $\bar{P}_{irr}$  از اطلاعات مربوط به افق برنامه‌ریزی قبلی به دست می‌آید که در این جا، با توجه به داده‌های نمونه به دست آمده است.



جدول ۱: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتی A

(کشتی باقی مانده از افق قبل)

$t_4$		$t_3$		$T_2$		$t_1$		
$r_2$		$r_1$		$r_2$		$r_1$		
$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	
					20		50	$K_1$
							50	$K_2$
				20		50	50	$K_3$
							40	$K_4$

جدول ۲: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتی B

(کشتی آماده پهلوگیری)

$t_4$		$T_3$		$T_2$		$t_1$		
$r_2$		$r_1$		$r_2$		$r_1$		
$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	
			60		50		50	$K_1$
			60		50		50	$K_2$
			60		50		40	$K_3$
			60		40		40	$K_4$

جدول ۳: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتی C

(کشتی که در ابتدای دوره دوم آماده پهلوگیری و شروع عملیات می‌باشد)

$T_4$		$t_3$				$t_2$				$t_1$						
$r_2$		$r_1$		$r_2$		$r_1$		$r_2$		$r_1$		$r_2$			$r_1$	
$B$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$		$b$	$a$
10	60		۱۰		50		30				50					$K_1$
	60				50					40	50					$K_2$
	60				50						50					$K_3$
	50				30						50					$K_4$

جدول ۴: مقادیر متغیر  $S_{ir}$  نوع کانتینرهایی که می‌تواند در هر بلوک ذخیره شوند

	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$	$i_5$	$I_6$	$i_7$	$I_8$
$r_1$	0	0	1	1	1	1	1	1
$r_2$	1	1	0	0	0	0	0	0

جدول ۵ تمامی مقادیر مربوط به متغیر  $D_{itkr}$  یعنی خروجی اصلی مدل فاز اول را ارائه می‌دهد. همان گونه که شرح داده شد از این خروجی به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل فاز دوم استفاده می‌گردد. چرا که در فاز اول هدف تخصیص کلیه کانتینرهای رسیده در یک افق برنامه‌ریزی به کلیه بلوک‌های ذخیره سازی با هدف تعدیل حجم کاری است. به عبارت دیگر در فاز اول تمامی کانتینرها به صورت متعادل بین بلوک‌ها توزیع می‌گردند و در فاز دوم با استفاده از این تخصیص کلی داده شده و با توجه به این نکته که هر کشتی چه تعداد از کانتینرهای تخصیص داده شده را در اختیار

دارد و با هدف کمینه ساختن کل هزینه حمل و نقل، به هر کشتی اسکله بهینه تخصیص یافته و به طور هم زمان کانتینرهای هر کشتی نیز به بلوک‌های ذخیره‌سازی تخصیص می‌یابد.

جهت درک بهتر مساله، در جدول ۵ کلیه مقادیر موجود در سطر و ستون‌های مربوط به دوره اول  $t_1$  را در نظر بگیرید. ملاحظه می‌شود که بیشتر کانتینرهای تخصیص یافته به بلوک‌های ۶، ۷، ۸ و کانتینرهای نوع اولی می‌باشند ( $r_1$ )، که در طول دوره اول تخلیه گشته ( $t_1$ ) و یک دوره بعد از آن از محوطه خارج می‌شوند ( $k_1$ ). به عبارت دیگر :

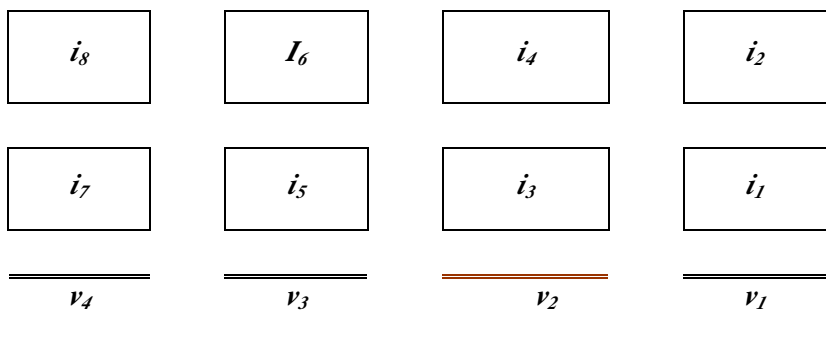
$$D_{8111}=15 \quad , \quad D_{7111}=15 \quad , \quad D_{6111}=15$$

حال فرض کنید بیشتر این ۴۵ کانتینر متعلق به کشتی  $C$  می‌باشد لذا بدیهی است که تخصیص اسکله به کشتی‌ها به نحوی باید صورت گیرد که تا حد ممکن کشتی  $C$  به بلوک‌های ۶، ۷، ۸ نزدیک باشد.

جدول ۵: مقادیر متغیر  $D_{ikr}$  یکی از خروجی اصلی فاز اول که به عنوان یکی از ورودی

اصلی فاز دوم در نظر گرفته می‌شود

		$i_1$		$i_2$		$i_3$		$I_4$		$i_5$		$i_6$		$I_7$		$i_8$	
		$r_1$	$r_2$	$R_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$R_2$	$r_1$	$r_2$
$t_1$	$k_1$	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	15	0	15	0	15	0
	$k_2$	0	0	0	0	9	0	24	0	0	0	0	0	8	0	9	0
	$k_3$	0	0	0	0	9	0	0	0	23	0	8	0	0	0	0	0
	$k_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_2$	$k_1$	0	0	0	0	16	0	1	0	25	0	۲۵	0	17	0	16	0
	$k_2$	0	0	0	0	13	0	37	0	۱۳	0	13	0	12	0	12	0
	$k_3$	0	0	0	0	26	0	11	0	2	0	۱۱	0	12	0	38	0
	$k_4$	0	0	0	0	11	0	14	0	23	0	۱۷	0	25	0	0	0
$t_3$	$k_1$	0	35	0	15	۱۵	0	37	0	0	0	۱۶	0	24	0	25	0
	$k_2$	0	50	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	13	0	0	0
	$k_3$	0	0	0	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
	$k_4$	0	15	0	15	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
$t_4$	$k_1$	0	60	0	0	۵۰	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
	$k_2$	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	40	0
	$k_3$	0	5	0	55	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
	$k_4$	0	50	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	20	0	0	0



شکل ۱: نحوه چیدمان بلوک‌ها و مکان‌های پهلوگیری

## ۴-۲- مقادیر متغیرهای ورودی مربوط به فاز دوم

شکل ۱ نشان دهنده نحوه چیدمان بلوک‌ها و مکان‌های پهلوگیری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی است (قسمتی از ترمینال) مکان  $V_2$  مربوط به کشتی است که از افق برنامه‌ریزی قبلی هنوز در حال تخلیه بار می‌باشد. لذا پر واضح است که به مکان دوم نمی‌توان کشتی تخصیص داد.

جدول ۶ میزان فاصله اقلیدسی مرکز هر اسکله تا مرکز هر بلوک ذخیره‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۶: مقادیر مربوط به متغیر  $d_{iv}$

$d_{iv}$	$i_1$	$I_2$	$I_3$	$i_4$	$I_5$	$I_6$	$i_7$	$I_8$
$V_1$	20m	50 m	50 m	80m	80m	110m	110m	140 m
$V_2$	50 m	80 m	20 m	50m	50m	80m	80m	110 m
$V_3$	80 m	110 m	50 m	80m	20m	50m	50m	80 m
$V_4$	110 m	140 m	80 m	110m	50m	80m	20m	50 m

یکی دیگر از ورودی‌های اصلی مساله در فاز دوم میزان و نوع کانتینرهای مربوط به هر کشتی می‌باشد که به طور قطع تخصیص باید بر مبنای نوع و تعداد آن‌ها صورت گیرد، که این مقادیر در جدول‌ها ۷ و ۸ نمایان است

جدول ۷: مقادیر مربوط به متغیر  $N_{jkr}$ 

$J_1$								
	$t_1$		$t_2$		$t_3$		$t_4$	
	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$R_1$	$r_2$
$k_1$	۵۰	۰	۵۰	۰	۵۰	۰	۶۰	۰
$k_2$	۵۰	۰	۵۰	۰	۵۰	۰	۶۰	۰
$k_3$	۴۰	۰	۵۰	۰	۵۰	۰	۶۰	۰
$k_4$	۰	۱۰	۴۰	۰	۴۰	۰	۶۰	۰
$J_2$								
	$t_1$		$t_2$		$t_3$		$t_4$	
	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$R_1$	$r_2$
$k_1$	۰	۰	۵۰	۰	۳۰	۵۰	۱۰	۶۰
$k_2$	۰	۰	۵۰	۰	۰	۵۰	۰	۶۰
$k_3$	۰	۰	۵۰	۰	۰	۵۰	۰	۶۰
$k_4$	۰	۰	۵۰	۰	۰	۳۰	۰	۵۰

جدول ۸ نیز میزان کانتینرهای مربوط به هر کشتی را که از زمان تخلیه آنها از محوطه اطلاع دقیق در دست نیست نشان می‌دهد که این مقادیر نیز به عنوان یکی دیگر از ورودی‌های اصلی مساله در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۸: مقادیر مربوط به  $N_{jtr}$ 

$N_{jtr}$	$J_1$		$J_2$	
	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$
$t_1$	100	0	0	0
$t_2$	50	0	40	0
$t_3$	50	0	30	0
$t_4$	0	0	0	10

### ۴-۳- نتایج محاسباتی نهایی

مقادیر متغیرهای خروجی نهایی مساله را که شامل تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی و نیز اسکله بهینه جهت پهلوگیری کشتی می‌باشد را نشان می‌دهد.

#### خروجی‌های اصلی مساله

$$\text{OFV}=294510$$

$$X_{1242}=10$$

$$X_{3221}=40$$

$$X_{3231}=30$$

$$X_{5111}=100$$

$$X_{5121}=50$$

$$X_{5131}=50$$

$$Y_{12}=1$$

$$Y_{41}=1$$

$i_8$	$i_6$	$i_4$	$i_2$
$i_7$	$i_5$	$i_3$	$i_1$
<hr/> $J_1$	<hr/> $v_2$	<hr/> $J_2$	

همان گونه که ملاحظه می‌شود مکان دقیق تمامی کانتینرهای دو کشتی رسیده به بندر در بلوک‌ها تعیین گردیده است و مکان ۱ به کشتی دوم (کشتی C) و مکان ۴ به کشتی اول (کشتی B) تخصیص یافته است. این تخصیص به طور تقریبی نیز قابل پیش بینی بود. چراکه با توجه به جداول ۲ و ۳ ملاحظه می‌گردد که بیشتر بار کشتی C شامل کانتینرهای نوع ۲ می‌باشد و از سوی دیگر با توجه به جدول ۴ کانتینرهای نوع دوم را می‌توان تنها در بلوک‌های اول و دوم ( $I_1, I_2$ ) ذخیره نمود. لذا جهت کاهش مسافت حمل و نقل طبیعی است که باید کشتی C به مکانی تخصیص یابد که حتی المقدور به بلوک‌های ۱ و ۲ نزدیک باشد. از این رو ملاحظه می‌شود که مدل مذکور تخصیص منطقی‌ای را ارائه داده است.

#### ۴-۴- تحلیل نتایج

حال جهت تحلیل عملکرد مدل، توضیحاتی زیر ارائه می‌شوند:

بر اساس سیاست مدیریت بندر شهید رجایی میزان هزینه حمل و نقل در نظر گرفته شده به ازای هر متر  $0/02\$$  می‌باشد. که شامل هزینه سوخت مصرفی بارکش‌های داخلی و نیز کلیه هزینه‌های استهلاک است.

لذا میزان کل هزینه حمل و نقل بر اساس تخصیص داده شده برابر است با:

$$OFV * 0.02 = 294510 * 0/02 = 5890\$$$

از سوی دیگر با توجه به تخصیص واقعی داده شده بر مبنای ورودی‌های یکسان مساله که در بندر شهید رجایی در افق نمونه مورد بررسی صورت گرفته است، نتایج زیر حاصل شده بود:

کشتی ۲ به مکان (اسکله) اول و کشتی ۱ به مکان (اسکله) سوم و میزان تابع هدف



بر اساس تخصیص‌های داده شده برابر:  $OFV=316110$  به دست آمده بود. ملاحظه می‌گردد که تفاوت اصلی مابین تخصیص بهینه و تخصیص تقریبی ارایه شده توسط بندر، انتخاب مکان ۳ به جای مکان ۴ برای کشتی اول می‌باشد. اما همین اختلاف به ظاهر کوچک تابع هدف را به میزان ۲۱۶۰۰ واحد بهبود داده است. به عبارت دیگر مدل ارایه شده  $21600 \times 0/02 = 432\$$  در یک افق برنامه‌ریزی کاهش هزینه دربرداشته است و از آن جایی که هر افق برنامه‌ریزی شامل ۱۲ ساعت می‌باشد لذا میزان کاهش هزینه سالانه برابر است با :

$$432 \times 2 \times 363 = 313632\$$$

لازم به توضیح است که بندر شهید رجایی به طور رسمی ۲ روز از سال تعطیل می‌باشد.

از سوی دیگر از آن جایی که امکان دارد به دلیل عوامل جوی و نبود بار عملا در روزهای دیگری نیز تخلیه و بارگیری صورت نگیرد لذا بر اساس اطلاعات گذشته ضریب تعدیل  $0/75\%$  برای حجم عملیات تخلیه و بارگیری در طول یک سال به دست آمده است. لذا میزان تقریبی صرفه جویی هزینه سالیانه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$313632 \times 0.75 = 235224 \$$$

که میزان نهایی صرفه جویی مستقیم ناشی از دو مدل ارایه شده می‌باشد که از نقطه نظر اقتصادی، توجیه پذیری کامل مساله فوق را نشان می‌دهد. هرچند براساس تعریف مساله، که پیش‌تر توضیح داده شد، دو مدل ارایه شده نتایج غیر مستقیم فراوانی را در افزایش بهره‌وری سلسله عملیات تصمیم‌گیری در یک ترمینال کانتینری در بر خواهند داشت.

در جدول زیر مقادیر مختلف مربوط به میزان صرفه جویی‌های به دست آمده ناشی از استفاده از مدل فوق در نمونه مسایل مختلف ارایه شده است. این اطلاعات واقعی در

دوره‌های برنامه‌ریزی مختلف و به صورت نمونه‌ای از ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی به دست آمده است :

NO	تعداد کشتی ورودی	تعداد کل کانتینرها	تعداد اسکله‌های قابل پهلوگیری	OFV <sub>A</sub>	OFV <sub>B</sub>	GAP
1	3	2421	۴	453254	421526	0.07
2	2	1650	۴	320245	290827	0.09
3	3	2230	۵	440625	409781	0.07
4	2	1545	۳	315245	300177	0.047
5	2	1517	۴	287412	257292	0.10
6	3	2242	۵	436275	389734	0.10
7	2	1720	۳	334526	321109	0.04
8	4	3720	۵	610210	568495	0.06
9	4	3640	۵	609145	566504	0.07
10	3	2456	۴	465233	432666	0.07
11	2	1743	۲	348524	344127	0.01
12	2	1812	۴	367210	341505	0.07
13	3	2570	۵	469250	426402	0.09
14	2	1427	۵	275410	246131	0.10
Average				409469	379020	.075

OFVA نشان دهنده مقدار تابع هدف نهایی با توجه به تخصیص غیربهینه و OFVB

نشان دهنده مقدار تابع هدف نهایی با توجه به تخصیص بهینه‌ای است که با استفاده از

رویکرد دو فازی فوق به دست آمده است. GAP نیز درصد کاهش در میزان تابع هدف

را در رویکرد بهینه نسبت به تخصیص غیر بهینه نشان می‌دهد.

همان گونه که ملاحظه می‌شود در ۱۴ مساله نمونه مورد بررسی، رویکرد دو فازی ارایه شده به طور متوسط ۷٪ کاهش هزینه نهایی حمل و نقل را در برداشته است. به عبارت دیگر با توجه به متوسط هزینه حمل و نقل به دست آمده ناشی از چیدمان غیر بهینه که برابر 409469 می‌باشد و مقایسه آن با هزینه ناشی از تخصیص بهینه (379020)، ملاحظه می‌گردد که در یک افق برنامه‌ریزی به طور متوسط  $379020 - 409469 = 30339$  واحد کاهش در میزان تابع هدف که همان کل مسافت طی شده توسط بارکش‌های داخلی می‌باشد، به دست آمده است که با در نظر گرفتن هزینه ثابت  $\$0,02$  به ازای هر واحد، متوسط کاهش هزینه  $\$609$  در هر افق برنامه‌ریزی را شاهد خواهیم بود. که در طول یک سال حدود 0.5 میلیون دلار خواهد بود.

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل با رویکرد دو فازی با هدف افزایش کارایی ترمینال کانتینری بنادر توسعه داده شده ارایه گردیده است. به نحوی که در فاز اول کلیه کانتینرهایی که در یک افق زمانی مشخص وارد بندر شده‌اند یا خواهند شد، به بلوک‌های ذخیره سازی با هدف تعدیل حجم کاری تخصیص بهینه می‌یابند. و در فاز دوم بر مبنای مکان تعیین گردیده هر نوع کانتینر (خروجی فاز اول)، کلیه کشتی‌ها به اسکله‌ها با هدف کاهش کل مسافت طی شده تخصیص یافته و به طور هم زمان کانتینرهای هر کشتی نیز به بلوک‌ها تخصیص می‌یابند. در نهایت بر اساس اطلاعات واقعی نتایج حل بهینه (نرم افزار lingo) با تخصیص غیر بهینه‌ای که از اطلاعات واقعی به دست آمده‌اند مقایسه گردید که رویکرد در جهت کاهش هزینه‌های نهایی از کارایی بالایی برخوردار می‌باشد.

جهت تحقیقات آینده می‌توان موارد زیر را پیشنهاد نمود:

۱. ارزیابی الگوریتمی کارا جهت حل فاز دوم مساله در ابعاد بزرگ.
۲. ارزیابی مدلی جهت تخصیص QC به شناورها.
۳. ارزیابی مدلی جهت آرایش بهینه بارکشیها در محوطه ترمینال.
۴. ارزیابی مدلی جهت چیدمان بهینه کانتینرها (به صورت عمودی و افقی) در درون بلوک‌های ذخیره سازی.
۵. ارزیابی مدلی جهت چیدمان بار بر روی کشتی‌ها.
۶. توسعه مدل‌های فاز اول و دوم مساله با افزودن کانتینرهای ترانزیتی.

## مراجع

- [1]. Zhang C., Liu J., Wan Y.W., Murty K.G and Linn R.J. Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research Part B* 37 (2003) 883–903.
- [2]. Zhang, C., 2000. Resource planning in container storage yards. Ph.D. Thesis, The Hong Kong University of Science and Technology.
- [3]. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B* 35 (4), 401–417.
- [4]. Legato, P. and Mazza, R.M., Berth Planning and Resource Planning Optimization at a Container Terminal via Discrete Even Simulation, *European Journal Operational Research* 133 (2001) 537-547.
- [5]. Legato, P., and Monaco, M.F., Human resources management at a marine container terminal, *European Journal of Operational Research* 156 (2004) 769–781.
- [6]. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura E. and Papadimitriou, S., Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks, *European Journal of Operational Research* (2004). Article in Press.

- 
- [7]. Kima, K.H., Leea, K.M., and Hwang, H., Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, *Int. J. Production Economics* 84 (2003) 283–292
- [8]. Zhang, C., Wan, Y.-w., Liu, J., Linn, R., 2002. Dynamic crane deployment in container storage yards. *Transportation Research B* 36 (6), 537–555.
- [9]. Imai, A., Nishimura, E., Hattori M. and Papadimitriou S., (2007). Berth allocation at indented berths for mega-containerships, *European Journal of Operational Research* 179 (2), 579-593.
- [10]. Cordeau, J.F., Gaudioso, M., Laporte G. and Moccia, L., (2007). The service allocation problem at the Gioia Tauro Maritime Terminal, *European Journal of Operational Research*, 176(2), 1167-1184.
- [11]. Lee, D.H., Wanga H.Q. and Miao, L. Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Article in Press.



## تدوین مدل دینامیکی یکپارچه توسعه بنادر تجاری کشور

مصطفی مرشد- کارشناس ارشد مدیریت سیستم ها

رسام مشرفی- دانشجوی دکترای اقتصاد و برنامه ریزی سیستم های اقتصادی

[morshed@pso.ir](mailto:morshed@pso.ir)

[rassam-moshrefi@yahoo.com](mailto:rassam-moshrefi@yahoo.com)

### چکیده

این مدل به طور خلاصه به شبیه‌سازی عملیات هر یک از بنادر تجاری موردنظر در قالب سیستمی پویا می‌پردازد تا پس از آن از طریق تحلیل حساسیت رفتار سیستم بندر در طول زمان نسبت به سیاست‌گذاری‌های مختلف ارزیابی گردد و با اهداف و انتظارات سازمان، سایر نهادها و ذینفعان مقایسه شود تا این که مدیران بتوانند به تدوین الگوی توسعه عملیاتی هر یک از بنادر تجاری مورد بررسی بپردازند.

علاوه بر اهداف اصلی، اهداف فرعی دیگری نیز از اجرای این طرح مورد نظر است که

برخی از آن‌ها را به شرح ذیل می‌توان برشمرد:

- بررسی اثر پیش‌بینی دورنمای تقاضای خدمات بنادر بر شاخص‌های عملکرد.
- پیشنهاد در خصوص بهبود هر یک از سیستم‌ها و تعیین گلوگاه‌ها.
- پیش‌بینی ظرفیت.

کلید واژه ها: مدل دینامیکی، سیستم‌های پویا، متغیرهای درون‌زا، شاخص‌های عملکرد.





## ۱. مقدمه

امروزه تصمیم‌سازی (Decision Making) و تعیین روند پیش‌بینی رویدادها در آینده موسسات و شرکت‌ها به روش شبیه‌سازی از امور متداول و علمی می‌باشد که بنادر از آن مستثنی نیستند.

الگوی توسعه دینامیک بنادر تجاری براساس روش مدل‌سازی دینامیک سیستمی تدوین می‌یابد. فرآیند این نوع مدل‌سازی ذاتاً فرآیندی خلاقانه و هوشمند می‌باشد از این رو حتی یک مساله مشخص ممکن است توسط مدل‌سازان مختلف با روش‌ها و نگرش‌های مختلفی طراحی گردد. با این وجود به طور کلی مدل‌سازی از فرآیند قاعده‌مندی تبعیت می‌کند که هر چند به طور مشخص بین مراحل آن نمی‌توان مرز دقیقی تعیین نمود، اما گام‌های مشخصی را برای رسیدن به شبیه‌سازی معتبر از سیستم مورد مدل‌سازی در خود دارد به خصوص وقتی هدف از مدل‌سازی پاسخگویی کمی به یک نیاز باشد این مراحل به شکل روشن‌تری قابل شناسایی خواهند بود.

مدل‌سازی سیستمی به منظور پاسخ‌گویی کمی به یک نیاز تحلیلی از سه مرحله اساسی تشکیل می‌شود. این سه مرحله عبارتند از :

بسط مفهوم مدل<sup>۱</sup>، تدوین مدل در قالب مدل دینامیک سیستمی<sup>۲</sup>، ارزیابی اعتبار مدل طراحی شده<sup>۳</sup>. البته دو مرحله تکمیلی و در عین حال تحلیلی دیگر تحت عناوین تحلیل حساسیت نسبت به متغیرهای برون‌زا<sup>۴</sup> و تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات

- 
1. Developing the concept of model
  2. Developing a system dynamic model
  3. Checking the model behavior
  4. Sensitivity to exogenous factors

ساختاری<sup>۵</sup> نیز قابل افزودن به مراحل سه گانه فوق است.

هر گام مورد اشاره در فوق قابل تقسیم به مراحل جزئی تری می باشد. طرح تدوین مدل دینامیکی توسعه بنادر تجاری کشور نیز مدلی کمی است. به این ترتیب مراحل زیر در دستیابی به محصول نهایی که همان مدل بندر و تعیین ظرفیت دینامیک آن در اثر تحولات گوناگون است، باید انجام گیرد.

متدولوژی طراحی این سیستم مبتنی بر استاندارد PMBOK (Project Management Body of Knowledge) می باشد و تاریخچه آن در انجمن مدیریت پروژه آمریکا در سال ۱۹۶۹ با هدف جمع آوری سوابق و تجربیات محیط های مختلف مدیریتی شکل گرفته است و در دهه هشتاد پروژه های توسط این انجمن برای ایجاد رویه ها و مفاهیم مورد نیاز حرفه مدیریت پروژه با سه محور عمده :

۱- تعیین مشخصه های علمی حرفه ای ۲- خلاقیات، مفاهیم و ساختار مدیریت پروژه ۳- استاندارد و تعیین نحوه حرفه ای شدن تبیین و تعریف گردید و در سال ۱۹۹۶ کتابی تحت عنوان مدیریت پروژه به چاپ رسید که در سال ۲۰۰۰ توسط انجمن مدیریت پروژه آمریکا به روز آوری گردید که این استاندارد با کد مشخص ANSI/PMI از سال ۲۰۰۱ ملاک اجرای مدیریت پروژه حرفه ای قرار گرفته است.

در دهه اخیر رشد میزان تجارت جهانی از رشد تولید جهانی فراتر رفته است این روند کلی جهان در بحث تجارت بین المللی، خواه ناخواه زمینه ها و انگیزه های بالقوه تقویت زیربنای ارتباطی و حمل و نقل را فراهم آورده است از همین رو بنادر به عنوان نقطه اتصال حمل و نقل اقتصادی و کارآمد دریایی به سایر شیوه های حمل اهمیتی

دوچندان یافته است و از سوی دیگر اهداف کلان و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در راستای تبدیل شدن به قدرت اقتصادی منطقه و تعامل فعال با اقتصاد بین‌المللی نیز نیازمند وجود یک سیستم توانمند حمل و نقل در کشور به خصوص در تجارت دریایی می‌باشد.

باتوجه به اهمیت و نقش استراتژیک بنادر و ضرورت بررسی و بهبود مداوم توان عملیاتی آن‌ها طراحی و تدوین سیستم یک مدل دینامیکی توسعه بنادر و ترسیم وضعیت عملکردی آینده بنادر به صورت شبیه‌سازی به عنوان ابزاری توانمند در جهت کمک به تصمیم‌گیری مدیران اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در راستای بهبود مستمر (Continuous Improvement) عملکرد و دستیابی به اهداف و آرمان‌های مورد نظر از بندر، این مدل از کارایی مؤثر و نتیجه بخشی برخوردار خواهد بود و با تحلیل حساسیت و شبیه‌سازی رفتار متغیرها و شاخص‌های عملکرد بندر در طول زمان نسبت به وقایع پیرامونی و سیاست‌گذاری‌های مختلف و مقایسه آن با اهداف و انتظارات سازمان می‌توان به سیاست مطلوب و استراتژی کلی بنادر به طور صحیح دست یافت.

سیستم مدل دینامیکی توسعه بنادر در قالب مدل شبیه‌ساز با استفاده از نرم افزار خاص می‌بایست از مراحل و فرآیندها و گام‌های زیر عبور نماید.

## جایگاه طرح

این مقاله به عنوان طرح پایه مدل دینامیکی توسعه بنادر تجاری کشور تدوین یافته است و در آن چارچوب حرکت در فازهای طراحی روابط علی و معلولی و مدل سازی به طور عمومی ارایه می‌گردد. به عبارت دیگر این نوشتار چکیده ای از فرآیندهای مورد توجه و روشهای مدل سازی مورد انجام شده نظر برای رسیدن به مدل دینامیکی هر یک

از هفت بندر تجاری شهید رجایی، امام خمینی، بوشهر، چابهار، امیرآباد، نوشهر و انزلی را رایه می‌دهد.

کارکرد مورد انتظار از این طرح این است که در عین اختصار و بدون ورود به جزئیات، عناصر اصلی و روش نگرش به ابعاد مساله بحرانی بنادر را به طور ضمنی می‌تواند رایه دهد.

### ۱- بسط مفهوم مدل

در این مرحله به تعریف سیستم مورد نظر به شکل توصیفی پرداخته خواهد شد و به طور مشخص شامل گام‌های زیر خواهد بود:

۱. توصیف مساله در واقعیت (شناخت بنادر).
۲. تعریف هدف از مدل (متدولوژی طرح).
۳. تعریف مرزهای سیستم (متدولوژی طرح).
۴. تدوین کلامی مدل (مدل‌سازی و اعمال نظرات مدیران و کارشناسان بندری).
۵. تدوین دیاگرام‌های علی اولیه (تدوین فاز روابط علی و معلولی).
۶. بررسی کیفی روابط علت و معلولی در مدل اولیه (جلسات درونی گروه مدل‌سازی و شناخت تبیین نظرات مدیران و کارشناسان کارفرما).

### • توسعه مدل دینامیک سیستمی

در این مرحله اطلاعات فرآوری شده در گام قبلی به قالب نرم‌افزاری تبدیل می‌گردد و در نهایت ساختار اصلی و پایه مدل تدوین می‌شود. به طور عام مقاله حاضر یکی از خروجی‌های اصلی این مرحله است. به طور خاص نیز روابط علت و معلولی بنادر و

بخشی از روش کالیبراسیون و شبیه سازی در این مرحله قرار می گیرند. برای توسعه مدل دینامیک سیستمی برداشتن گام‌های زیر ضروری است.

۱. تعریف دیمانسیون اجزا در مدل علی (به طور تفصیلی و خاص).
۲. تعریف روابط تابعی بین اجزا در دیاگرام علت و معلولی (فاز کالیبراسیون).
۳. جمع‌آوری داده‌های ضروری برای تدقیق توابع (بخش عمده‌ای از زمان در فاز شناخت به این فرآیند اختصاص خواهد یافت).
۴. اعمال روابط تابعی در نرم افزار itthink (بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در فاز شناخت).
۵. آزمون اعتبار ساختاری مدل تدوین شده (این مرحله پس از جلسات تایید ساختار و دریافت نظرات کارشناسی نهایی خواهد شد).
۶. ساده‌سازی ساختار مدل (این گام نیز به طور اولیه بر اساس مباحث درونی گروه‌های مدل سازی و شناخت به انجام می‌رسد و نهایی شدن آن منوط به نهایی شدن گام قبلی است).

### • بررسی رفتار مدل

۱. تنظیم متغیرهای زمانی همانند افق زمانی شبیه سازی و دوره انتگرالگیری (DT) (مربوط به مراحل نهایی آزمون مدل می‌شود و پس از شبیه سازی نهایی خواهد شد).
۲. تنظیم مقادیر اولیه، پارامترها و متغیرهای برون‌زا در سال پایه شبیه سازی.
۳. ایجاد و استفاده از سناریوهای مختلف برای ایجاد و مقایسه نمودارهای روند زمانی مختلف.

۴. ارزیابی اعتبار رفتاری و کاربردی نتایج مدل (پس از نهایی شدن ساختار قابل اجرا است).

۵. ارزیابی وافی به مقصود بودن نتایج مدل (پس از نهایی شدن مدل قابل اجرا است).

### • تحلیل حساسیت با ایجاد تغییر در پارامترها

۱. ارزیابی حالت تعادل سیستم (در همه شرایط این ارزیابی ممکن نمی‌باشد).
۲. ارزیابی دامنه‌هایی از حالات که سیستم به آن میل می‌کند یا دامنه‌های ثبات سیستم (در همه سیستم‌ها قابل اجرا نمی‌باشد، اما به هر حال شناسایی آن منوط به نهایی شدن و تایید اعتبار ساختاری و رفتاری سیستم است).
۳. ارزیابی شرایط بحرانی به معنی شناسایی ترکیباتی از پارامترها که با آنها سیستم تعادل یا دامنه‌های ثبات خود را از دست می‌دهد.

### • تحلیل رفتار بر اثر تغییرات ساختاری

۱. تعریف معیارهای ارزیابی برای بهینه یابی.
  ۲. بهینه‌یابی ساختار سیستم به کمک ارزیابی معیارهای طراحی شده.
  ۳. پایدارسازی سیستم‌های ناپایدار با تغییرات ساختاری.
- به طور کل خروجی‌های این قسمت، هدف از اجرای طرح که همان تدوین نرم افزار توسعه دینامیک یکپارچه بندر است را تامین می‌نماید. برخی از معیارهای ارزیابی به صورت پارامترهای عملکرد در فاز شناخت شناسایی شده است. اما بدیهی است امکان افزودن پارامترهای ارزیابی عملکرد دیگری پس از نهایی شدن مدل مقدور می‌باشد.

مدل سازی یک فرآیند دارای «بازخورد» است نه دنباله‌ای از گام‌ها و مراحل پشت سر هم. مدل سازی چیزی جز تکرار دایم، پژوهش و پرسش مداوم، آزمون و اصلاح نیست. بنابراین مدل سازی به شکل یک چرخه تکرار شونده‌ای<sup>۶</sup> است که بین مراحل مختلف آن تعامل دینامیک وجود دارد. علاوه بر این، چرخه مهم‌تر دیگری بین مدل و دنیای واقعی فعال است که می‌توان آن را چرخه یادگیری عمل نامید. استراتژی‌ها، ساختارها و قواعد تصمیم‌گیری مورد استفاده در دنیای واقعی را می‌توان در دنیای مجازی (مدل) اعمال و آزمون نمود. تجربیات حاصل از این آزمون‌های هدایت‌شده، منجر به طراحی استراتژی‌های جدید، ساختارها و قواعد تصمیم‌گیری جدید می‌گردند. این سیاست‌های جدید سپس در دنیای واقعی اجرا می‌گردد و اثرات ناشی از اجرای آن مجدداً به شکل اطلاعات دریافت می‌شود که خود منجر به دیدگاه‌های جدید و بهبود مجدد مدل‌های ذهنی<sup>۷</sup> از دنیای واقعی می‌گردند و این فرآیند به طور مداوم در جریان است. بنابراین مدل سازی در ذات خود فرآیند یک باره که منجر به جوابی قطعی شود نخواهد بود بلکه، فرآیندی دایمی است که بین عملکرد دنیای واقعی و مجازی در حرکت مداوم است.

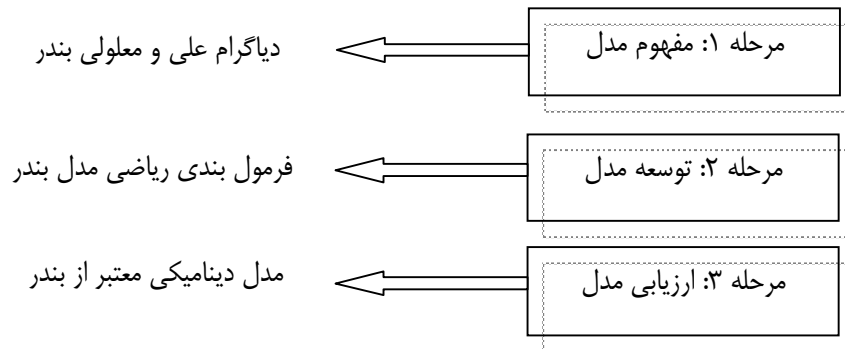
---

6. Iterative Loop

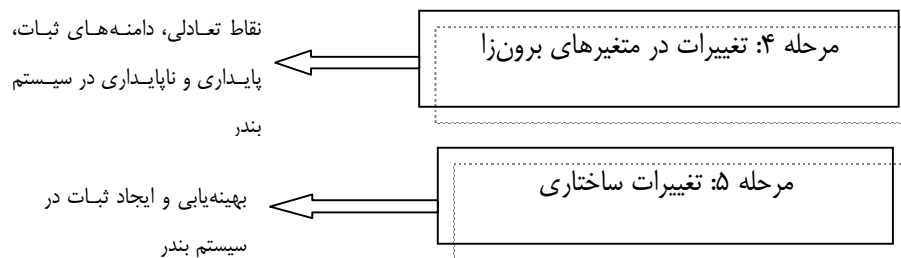
7. Mental Model

## نمودار (۱-۱) گام‌های توسعه مدل دینامیکی و خروجی‌های هر گام

گام‌های اصلی ساخت مدل دینامیک سیستمی



گام‌های تحلیلی مورد استفاده برای کاربران سیستم



## ۲. توصیف زیرسیستم‌های محیطی مدل دینامیکی

### توسعه بنادر تجاری کشور

#### ۲-۱- زیر سیستم‌های محیطی سیستم بندر

پس از مرور مختصری بر کل فرآیند مدل سازی دینامیک سیستمی و گام‌های اجرایی آن در رابطه با مدل دینامیک توسعه یکپارچه بنادر تجاری کشور، در این بخش

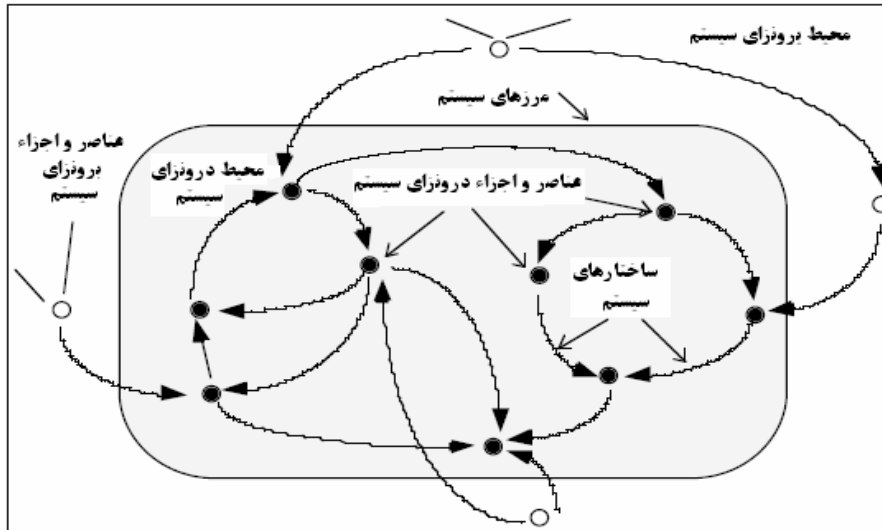


با بسط مفهوم مدل بندر زمینه‌های ارایه روابط علت و معلولی فراهم می‌گردد. همان طور که در گزارش متدولوژی طرح حاضر نیز مورد اشاره قرار گرفت مدل توسعه بنادر تجاری کشور از سه زیر سیستم اصلی تشکیل می‌گردد که دو زیرسیستم از این مجموعه به بررسی اقتصاد داخل و ترانزیت و تجارت بین‌الملل اختصاص می‌یابد و در واقع بر روی محیط بندر تمرکز دارد، و یک زیر سیستم نیز به مدل سازی درونی بندر می‌پردازد.

نمودار (۱-۲) مفاهیم درون‌زا و برون‌زا و مرز و محیط سیستم را به طور شماتیک ارایه می‌دهد.

به عبارت دیگر اگر کادر محصور شده سیستم درونی بندر فرض شود، زیرسیستم اقتصاد داخل و تجارت و ترانزیت بین‌الملل در خارج از این مجموعه و در واقع خارج از مرزهای سیستم بندر قرار می‌گیرند. البته همان طور که ملاحظه می‌شود این متغیرهای محیطی، مشابه آن چه در واقعیت وجود دارد، هم چنان بر درون سیستم بندر تاثیرگذار هستند. تفکیک سیستم به زیرسیستم‌های قراردادی باعث تغییر در ماهیت روابط نمی‌گردد. بلکه تنها برای نظام‌مند نمودن و دسته بندی روابط و بارز نمودن بخش‌های کلیدی و پراهمیت تر در مدل سازی است.

نمودار (۱-۲) ساختار عمومی سیستم و ماهیت درون‌زا و برون‌زا بودن متغیرهای سیستم



با این نگرش سه زیر سیستمی که در کنار یکدیگر مدل سیستمی توسعه بنادر تجاری کشور را می‌سازند در ادامه تشریح می‌گردد.

## ۲-۲- تعامل زیرسیستم‌های محیطی و زیرسیستم بندر

بررسی وضعیت اقتصاد داخل و ترانزیت کالا از کشور در راستای تدوین الگوی تقاضا از خدمات بنادر است. تقاضا برای خدمات بندری مانند تقاضا برای تمامی زیرگروه‌های حمل و نقل و یا در بیانی کلان نگرتر مانند تقاضا برای تمامی عوامل و واسطه‌های تولید و مصرف، تقاضایی مشتق شده<sup>۸</sup> می‌باشد. طبق تعریف، توابع تقاضای مشتق شده توابع تقاضایی هستند که وابسته به تقاضای عامل و یا عوامل دیگری می‌باشند و به خودی

8. Derived Demand

خود تقاضای مستقلی برای آن‌ها وجود ندارد. با بررسی عوامل موثر بر تقاضای حمل و نقل می‌توان دریافت که تقاضای حمل و نقل نیز تقاضایی مشتق شده است که به دلیل نیاز مراکز تولید به مواد اولیه و محصولات واسطه‌ای و یا فواصل جغرافیایی بین مراکز تولید و مصرف محصولات نهایی مورد تقاضا قرار می‌گیرد. این نیاز برای جابه‌جایی کالاهای مختلف در حوزه بنادر به دو صورت تجلی می‌یابد.

الف- جریان متکی بر اقتصاد داخلی (واردات و صادرات کالاها).

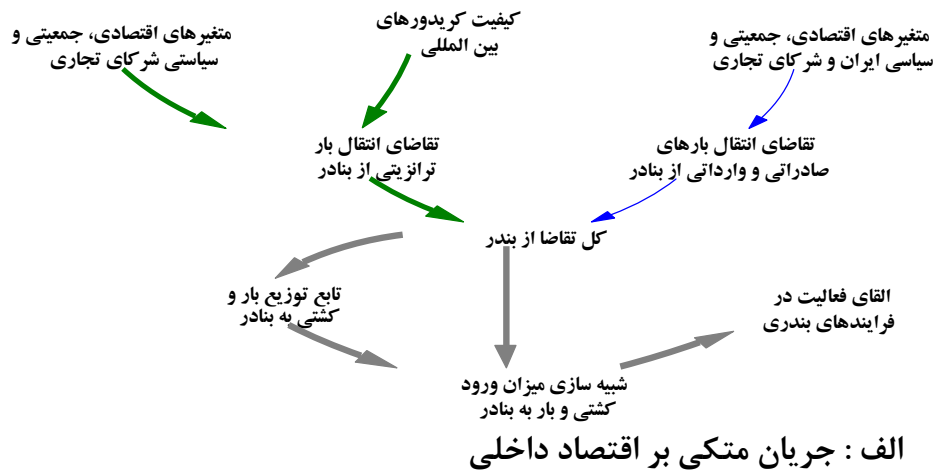
ب- جریان متکی بر تجارت منطقه‌ای و جهانی (ترانزیت کالاها).

واردات و صادرات به طور کل منتج از عدم تعادل بین تولید و مصرف در داخل کشور است.<sup>۹</sup> در حالی که ترانزیت، حوزه‌های بین‌المللی این عدم تعادل را مد نظر قرار می‌دهد. نمودار (۲-۲) مسیر اصلی تاثیرگذاری زیرسیستم‌های محیطی بر تقاضای خدمات بندری را نشان می‌دهد.

---

۹. هر چند در اقتصادهای پیشرفته امروز دنیا، مفهوم خودکفایی و برابری تولید و مصرف، تجارت را منتفی نمی‌کند. گسترش تجارت دوطرفه باعث شده است که حتی در زمان برابری مقداری تولید و مصرف یک محصول در یک کشور، صادرات و واردات آن محصول همچنان به شکل صادرات و واردات محصولات با عناوین تجاری مختلف (brand) وجود داشته باشد. به عنوان مثال در حالیکه میزان امکانات تولیدی دو کشور فرانسه و آلمان در زمینه تولید خودرو تکافوی نیاز داخلی شان را می‌دهد، اما برای رفاه مصرف‌کنندگان و رضایت گروه‌های مختلف مصرف‌کننده، همزمان پژو از فرانسه به آلمان صادر می‌شود و بنز نیز از آلمان به فرانسه ارسال می‌گردد.

## نمودار (۲-۲) نقش و جایگاه ترانزیت و اقتصاد داخلی در شبیه سازی عملکرد بنادر



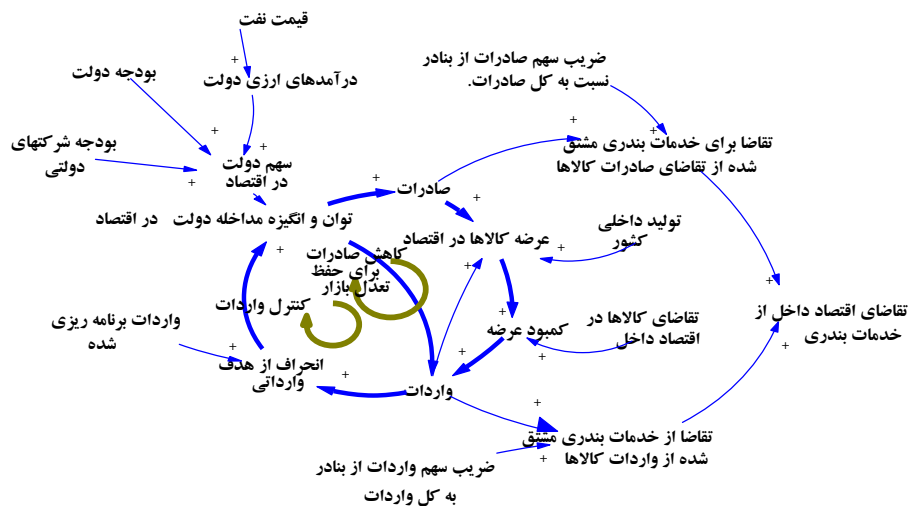
این عامل در ایجاد تقاضا برای خدمات بندری شامل جریان ورود کالا به داخل کشور برای مصرف در بخش‌های مختلف اقتصادی یا صدور کالا از کشور به صورت مازاد تولید می‌باشد. عامل اصلی در شکل‌گیری این جریان، ساختار اقتصاد داخلی از لحاظ نوع تولید و الگوی مصرف و وضعیت اقتصادی کشور و شرکای تجاری و به خصوص برنامه‌های دولت در زمینه تنظیم بازار و سیاست‌های تجاری می‌باشد. این جریان را می‌توان در قالب بررسی بخش اقتصاد داخلی تجزیه و تحلیل نمود.

نمودار (۲-۳) دو حلقه منفی موجود در روابط علی و معلولی سیستم کنترل‌کننده واردات و صادرات را بارزتر نموده است.<sup>۱۰</sup> همان‌طور که مشاهده می‌گردد این دو حلقه منفی باعث می‌شود که واردات و صادرات کشور، از طریق مداخله دولت دستخوش

۱۰. این دو حلقه عبارتند از حلقه «کنترل واردات» و حلقه «کاهش صادرات برای حفظ تعادل بازار داخل».

تغییراتی شود و پیش بینی صرفاً متکی به روند گذشته و بدون توجه به برنامه‌های دولت نتواند پاسخگو باشد<sup>۱۱</sup>.

### نمودار (۲-۳) مکانیزم کنترل واردات و صادرات کالاها توسط دولت در اقتصاد کشور



### ب: جریان متکی بر تجارت منطقه‌ای و جهانی کالا

جریان تجارت بین‌المللی کالاها را می‌توان تحت عنوان تبادل کالاها بین بلوک‌های عمده تجاری جهان و مبادلات منطقه‌ای تعبیر نمود. اهمیت این بخش در تدوین مدل دینامیکی توسعه بنادر در این است که به دلیل موقعیت ژئواستراتژیک کشور و قرار گرفتن ایران در مسیر جریان‌های عمده جابه‌جایی کالاها بین شرق - غرب و شمال -

۱۱. برای مطالعه در مورد حلقه‌های مثبت و منفی و به طور کل روش نگرش سیستمی و مدل‌سازی دینامیک سیستمی با متدولوژی ضروری است.

جنوب جهان، به طور بالقوه بنادر کشور توان جذب بارهای ترانزیتی قابل ملاحظه ای را دارند.<sup>۱۲</sup> در مقابل سرمایه گذاری عظیم کشورهای اطراف ایران برای ایجاد مزیت ترانزیتی و عدم سرمایه گذاری لازم و به موقع توسط ایران، از میزان این تقاضای بالقوه به تدریج می‌کاهد. به عبارت دیگر میزان تقاضای ترانزیتی از بنادر ایران یک تابع شرطی است که بین حدود حداکثر و حداقلی بسیار متفاوتی قابل تغییر است. بدیهی است در نظر گرفتن این تفاوت‌های چشمگیر می‌تواند در تدوین مدل دینامیکی توسعه بنادر تجاری بسیار حایز اهمیت باشد.

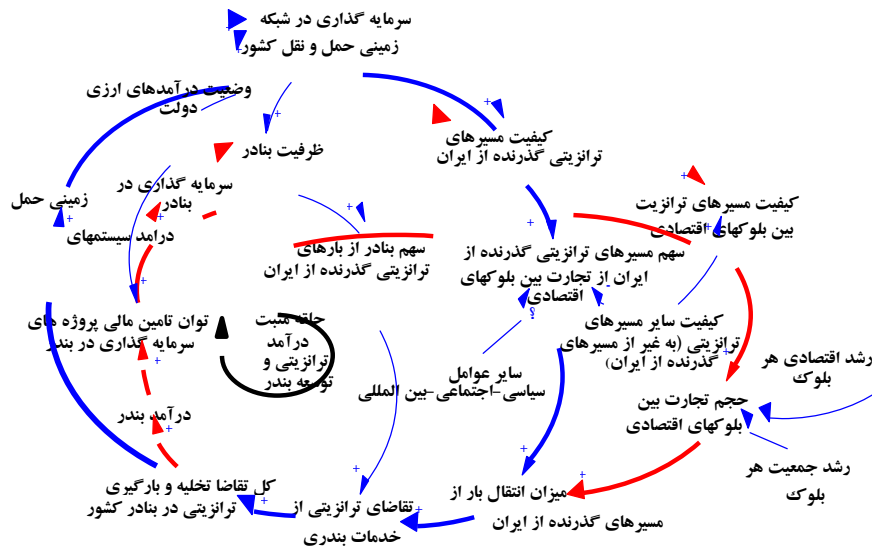
نمودار (۲-۴) عوامل اصلی تاثیرگذار بر جذب کالاهای ترانزیتی به بنادر و حلقه‌های مثبت موجود در این سیستم را نشان می‌دهد. بر اساس مفاهیم تفکر سیستمی وجود حلقه‌های مثبت در یک سیستم منجر به رفتار گریزگونه<sup>۱۳</sup> در سیستم می‌گردد. برخی از حلقه‌های جهت دهنده به تقاضای ترانزیتی بنادر در نمودار زیر مشخص شده است.

۱۲. بر اساس مطالعه طرح جامع بنادر بازرگانی ایران میزان پتانسیل عبور کالاهای ترانزیتی غیرنفتی از کشور حدود ۱۸/۸ میلیون تن در سال ۱۳۸۱، حدود ۲۵ میلیون تن در سال ۱۳۸۸ و در حدود ۳۰/۳ میلیون تن در سال ۱۳۹۴ پیش بینی می‌گردد.

۱۳. رفتار گریزگونه (runaway behavior) رفتاری است که به سرعت منجر به افزایش و یا کاهش متغیر موجود در سیستم می‌گردد. به عبارت دیگر تحریک مثبت (منفی) یک متغیر در درون حلقه می‌تواند با گردش روابط علت و معلولی مجدد منجر به افزایش (کاهش) متغیر تحریک شده گردد. وجود حلقه‌های مثبت در سیستم تقاضای ترانزیتی بنادر کشور موید حساسیت بالای این تقاضا به سیاستهای اتخاذ شده داخلی و عوامل خارجی است. اگر این عوامل در مجموع تحرک مثبتی را باعث شوند بر اساس حلقه‌های علت و معلولی می‌توانند منجر به جهش بلندمدت تقاضای ترانزیتی بنادر کشور گردند و البته برعکس این مساله نیز صادق است.

نمودار (۲-۴) حلقه‌های مثبت (positive loops) اصلی تعیین کننده تقاضای ترانزیتی از

### بنادر کشور

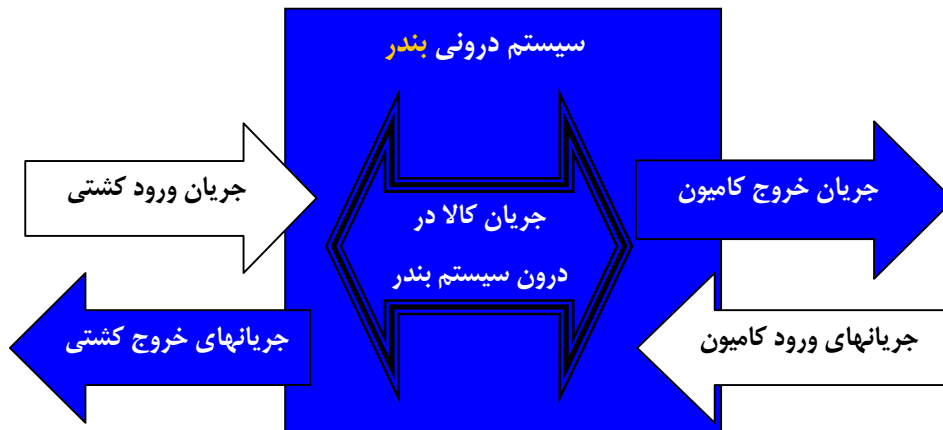


## ۳. زیرسیستم بندر

### ۳-۱- مدل مفهومی سیستمی بندر

کل سیستم بندر به عنوان یک مبدل، وضعیت<sup>۱۴</sup> جریان حمل کالاها را از حالت دریایی به زمینی و یا از زمینی به دریایی تبدیل می‌نماید. به هر حال فرآیندهای درونی این سیستم بر اثر جریان ورود و خروج کشتی و کامیون متاثر می‌گردند. نمودار (۳-۱) اهمیت محوری این سه جریان را در شبیه سازی سیستم بندر نشان می‌دهد. در ادامه به طور مختصر ارتباط این جریان‌ها با یکدیگر ارایه می‌شود.

### نمودار (۱-۳) جریان‌ها اصلی در شبیه‌سازی بندر



جریان ورود کشتی‌ها و کالا: جریان ورود کشتی به بندر جریانی است که توسط توابع توزیع متغیرهای تصادفی مدل‌سازی می‌شود. در مطالعات ایستا این توابع بر اساس داده‌های آماری گذشته نگر به دست می‌آید. به همین دلیل از قدرت پیش‌بینی بلند مدت برخوردار نخواهند بود<sup>۱۵</sup>. اما در مطالعه حاضر، از آن جایی که تدوین مدل پویایی از بنادر مورد نظر است، ضروری است تحول در میانگین کشتی‌های وارده به بندر نیز در نظر گرفته شود. میانگین توابع توزیع ورود کشتی به بندر، وابسته به وضعیت زیر سیستم ترانزیت و تجارت بین‌الملل و اقتصاد داخل است.

به عبارت دیگر فرمت و نوع توزیع ورود کشتی‌های مختلف به بندر بر اساس اطلاعات دریافتی در فاز شناخت هر یک از بنادر کشور محاسبه می‌گردد. حتی تأثیری

۱۵. چون وقتی از تابع توزیع ورود کشتی بر اساس اطلاعات گذشته برای آینده استفاده شود، میانگینی که حول آن اعداد تصادفی ورود کشتی ساخته می‌شود، همان میانگین گذشته خواهد بود. حال اگر به دلیلی مثلاً مانند خودکفایی در تولید گندم این میانگین در حال کاهش باشد، برای اینکه بتوان از تابع توزیع محاسبه شده برای پیش‌بینی آینده استفاده نمود باید این میانگین را تعدیل نمود.



که میانگین توزیع ورود کشتی‌ها از سیستم تجارت و اقتصاد داخل می‌پذیرد نیز وابسته به شرایط هر بندر متفاوت شبیه سازی می‌گردد.<sup>۱۶</sup>

جریان خروج کشتی‌ها و کالا: شبیه سازی جریان خروج کشتی‌ها از یک سو وابسته به جریان ورود کشتی‌ها و از سوی دیگر وابسته به سیستم درونی بندر در ارایه سرویس به کشتی‌های وارده است. به این ترتیب، این جریان، جریانی درون‌زا خواهد بود. (جریان ورود کشتی به بندر در نمودار (۳-۱) ارایه شده است).

جریان ورود کامیون<sup>۱۷</sup>: شبیه سازی جریان ورود کامیون به بندر از زاویه کالاهای وارده به بندر (جهت صادرات، ترانزیت خروجی) جریانی تصادفی می‌باشد که میانگین آن متکی به متغیرهای اقتصاد داخل و ترانزیت و تجارت بین الملل است. جریان ورود کامیون‌های خالی به منظور انتقال بارهای وارداتی یا ترانزیت وارده، در صورتیکه سیستم حمل یکسره نباشد، نیز متغیری تصادفی است که میانگین آن تابعی از میزان کالاهای دپو شده در سیستم بندر و میزان رسوب متوسط کالاهای مختلف است.

جریان خروج کامیون: جریان خروجی کامیون از سیستم درونی بندر تابعی از جریان

۱۶. لازم به ذکر است که تنها یک مدل برای سناریوسازی وضعیت ترانزیت و تجارت بین الملل در تدوین الگوی توسعه دینامیک بنادر تجاری کشور می‌توان تدوین نمود، اما همانطور که اشاره شد، بنادر متفاوت تأثیرات متفاوتی از سناریوهایی که برای اقتصاد داخل و ترانزیت و تجارت بین الملل قابل طراحی است، می‌پذیرند.

۱۷. در این مقاله که به طور عمومی به بررسی مدل مفهومی توسعه دینامیکی بنادر تجاری کشور می‌پردازد، برای پرهیز از جزئیات بحث حمل و نقل ریلی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. بدیهی است در ارایه مدل بنادر امیرآباد، شهید رجایی و امام خمینی که دسترسی ریلی در آن‌ها وجود دارد، این بخش به مدل اضافه خواهد شد.

ورود کامیون و عملکرد سیستم درونی بندر است به همین دلیل کل این جریان نیز تابعی تصادفی نخواهد بود. هرچند متغیرهای تصادفی دیگری در درون سیستم بندر ممکن است منجر به رفتار تصادفی این جریان بشوند.

### ۳-۲- تدرین مدل نمونه (prototype) دینامیکی

#### زیرسیستم بنادر تجاری کشور

پیش از تشریح نمونه برای سیستم بنادر، لازم است مجدداً اشاره شود که این مدل، مدلی عمومی است که بر روی نقاط مشترکی که در سیستم بنادر کشور وجود دارد، متمرکز شده است. به بیان دیگر مدل دینامیکی هر یک از هفت بندر که در این فاز روابط علی و معلولی و در فازهای بعدی کالیبراسیون و مدل دینامیکی آن باید طراحی گردد برای هر بندر وابسته به شرایط آن بندر تا حدی متفاوت خواهد بود، اما کلیات آن با مدل ارائه شده مشابه می‌باشد. به خصوص این تفاوت در کالیبراسیون روابط بین متغیرها وجود دارد.

#### ۳-۲-۱- نمای کلان مدل سیستم دینامیکی بندر

همان طور که در بخش ۳-۱ اشاره شد، سیستم بندر وظیفه ارتباط بین دو جریان ورود کشتی و ورود وسایل انتقال زمینی به طور عام و کامیون به طور خاص را از طریق جریان کالا به عهده دارد. اما این انتقال منوط به طی شدن فرآیندهای متعددی است که هر یک از این فرآیندها نیز خود تابعی از عوامل گوناگونی است. به همین دلیل در اکثر مطالعات در زمینه بررسی و تحلیل ظرفیت جریان بندر، برای انتقال بار بین جریان

ورود کشتی و جریان ورود کامیون از مطالعات شبیه سازی سیستمی بهره برداری می‌گردد.<sup>۱۸</sup>

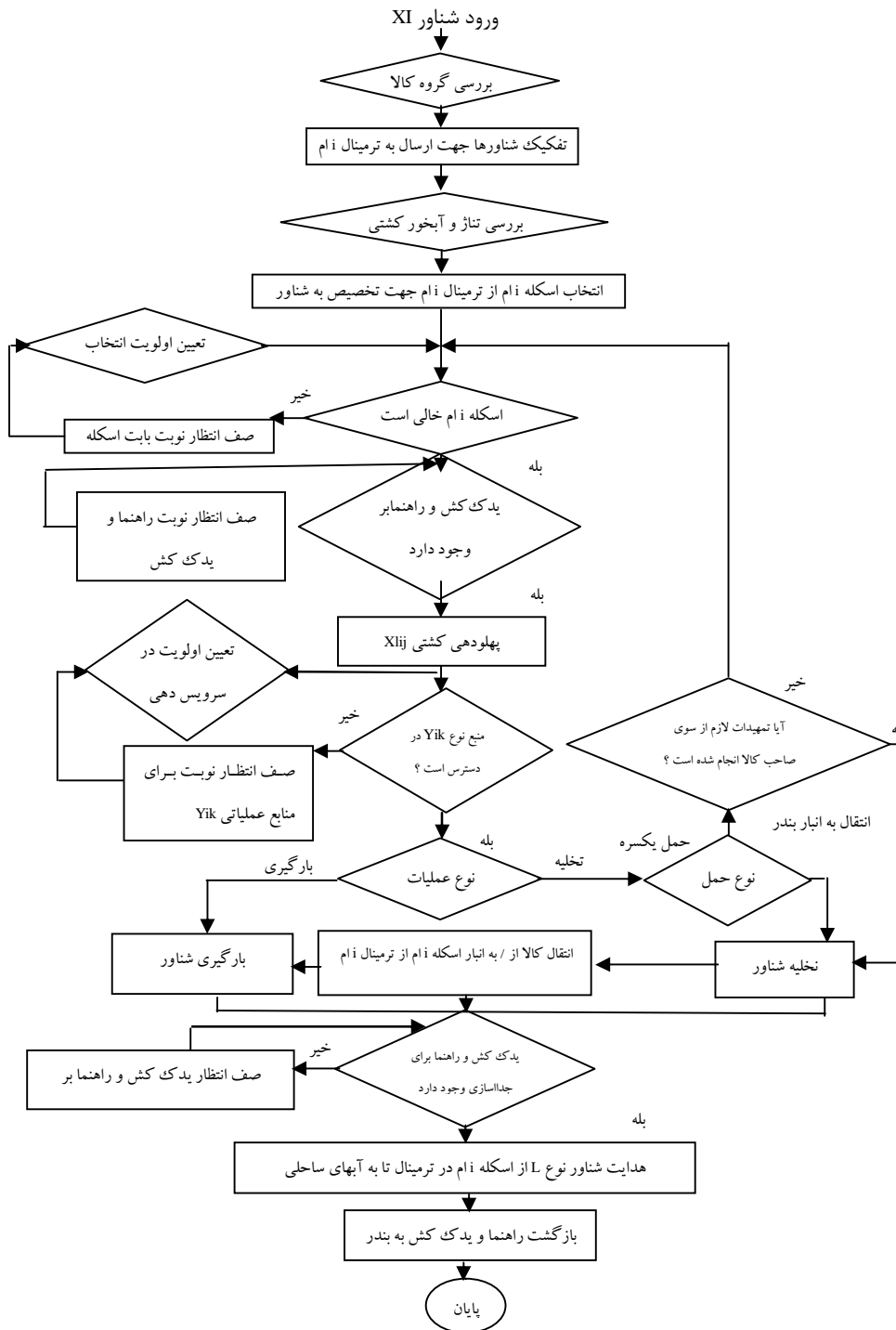
شمای کلی این جریان‌ها در نمودارهای (۲-۳) به طور مثال ارائه شده است. این شمای پایه مدل‌سازی دینامیکی بندر می‌باشد. فرآیندهایی که در درون بندر در ارتباط با جریان ورود و خروج کشتی برای تخلیه یا بارگیری بار روی می‌دهد، در نمودار (۲-۳) نشان داده شده است. جریان کالا در درون سیستم بندر را هم که به همین ترتیب است باید طراحی و ترسیم شود.

به این ترتیب این سه جریان را می‌توان شمای بسط یافته نمودار (۱-۳) دانست. در واقع این حرکت از کل به جزء و بسط تدریجی مدل که در ادامه این مقاله و فازهای بعدی طرح رعایت می‌گردد، منطق نگرش سیستمی به مساله بندر است که مبنی بر متدولوژی مدل‌سازی توسعه دینامیک بنادر تجاری کشور می‌باشد.

---

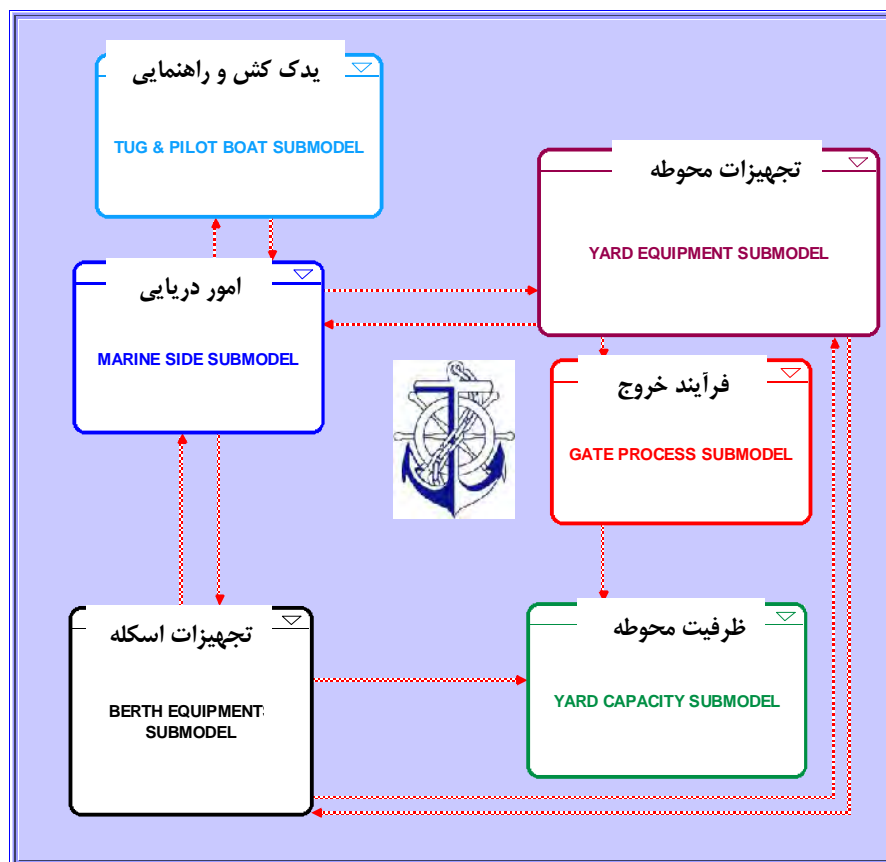
۱۸. برای مطالعه بیشتر در این زمینه به فصل ششم کتاب Port Planning and Development, Ernest Models And Analytical عنوان G. Frankel, Wiley Interscience Publication, 1986 تحت عنوان Techniques For Port Development رجوع شود.

نمودار (۲-۳) الگوریتم ورود و خروج کشتی به بندر



برای مدل‌سازی این جریان‌ها در طراحی و مدل‌سازی سیستم بندر ضروری است، مدل‌های کوچک‌تری<sup>۱۹</sup> در نظر گرفته شود که امکان ارتباط سیستماتیک بین این جریان‌ها در آن وجود داشته باشد. در تدوین مدل نمونه بندر شش زیر مدل در نظر گرفته شده است. این شش زیر مدل در مجموع مدل دینامیکی بندر را می‌سازند. نمودار (۵-۳) این زیر مدل‌ها را در کنار یکدیگر ارائه می‌دهد.

نمودار (۵-۳) فضای کلان مدل بندر و زیر مدل‌های مرتبط



این ۶ زیرمدل اصلی بر اساس جریان ورود و خروج کشتی به/از بندر، جریان کالا در درون بندر و جریان ورود و خروج کامیون به/از بندر بر مبنای تقاضا به ترتیب عبارتند از:

۱. زیرمدل بخش دریایی (MARINE SIDE SUBMODEL).
  ۲. زیرمدل یدک کش و راهنما (TUG & PILOT BOAT SUBMODEL)
  ۳. زیرمدل تجهیزات اسکله (BERTH EQUIPMENT SUBMODEL)
  ۴. زیرمدل تجهیزات محوطه (YARD EQUIPMENT SUBMODEL)
  ۵. زیرمدل ظرفیت محوطه (YARD CAPACITY SUBMODEL)
  ۶. زیرمدل فرآیندهای درب بندر (GATE PROCESS SUBMODEL)
- هر یک از این شش زیرمدل نقش خاص خود را در شکل دهی به مدل یکپارچه بندر ایفاء می‌کند. که در این بخش به طور مختصر و در بخش ساختار پویای مدل با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
- زیرمدل بخش دریایی کشتی و اسکله، در واقع سازوکار ورود و خروج کشتی به بندر را مدل‌سازی می‌نماید. بدیهی است ورود کشتی به بندر تابعی از تقاضای بهره برداری از بندر خواهد بود که به دو مدل محیطی بندر<sup>۲۰</sup> مرتبط خواهد شد. البته چون در این مقاله تنها به مدل بندر پرداخته می‌شود، این دو مدل به سیستم بندر متصل نمی‌گردند و متغیر ورود کشتی به بندر به صورت برون‌زا در بخش دریایی دیده می‌شود.
  - سازوکار و کیفیت ورود و خروج کشتی به بندر از یک سو تابعی از چگونگی

۲۰. مدل اقتصاد داخل و مدل ترانزیت و تجارت بین الملل

عملکرد بندر است و از سوی دیگر بر روی عملکرد بندر نیز تاثیر گذار است. به همین دلیل ارتباط‌هایی<sup>۲۱</sup> بین این بخش و بخش‌های تجهیزات اسکله، تجهیزات محوطه و زیرمدل راهنما بر و یدک کش به چشم می‌خورد.

- زیرمدل راهنما بر و یدک کش زیر مدلی است که به طور مستقیم تنها با بخش دریایی در ارتباط است و از این طریق به سایر بخش‌های مدل بندر متصل می‌گردد.
- زیر مدل تجهیزات اسکله که وظیفه تخلیه و بارگیری کشتی‌های پهلو گرفته به بندر را الگوسازی می‌نماید، مهم‌ترین بخش مدل بندر است. چون در این بخش تبدیل جریان دریایی به زمینی انجام می‌گیرد و دینامیک کشتی‌ها به دینامیک کالا و بار تبدیل می‌گردد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، تمامی بخش‌ها ارتباط مستقیمی با این زیر مدل دارند<sup>۲۲</sup>.
- در زیرمدل تجهیزات محوطه در واقع چرخه بار بین کشتی، تجهیزات اسکله و تجهیزات محوطه تکمیل می‌شود. این زیرمدل به مدل‌سازی جریان تخلیه و بارگیری کامیون‌ها و کشنده‌ها در محوطه‌ها اختصاص می‌یابد.
- زیر مدل ظرفیت محوطه‌ها، به طور پویا میزان بار رسوب شده در محوطه‌های

#### 21. links

۲۲. تنها بخشی که به زیرمدل تجهیزات اسکله به طور مستقیم مرتبط نمی‌باشد، زیر مدل دروازه بندر (gate) است. در مدل نمونه طراحی شده این ارتباط به طور غیرمستقیم و از طریق گیت بندر انجام می‌گیرد. البته برای ساده‌سازی در این مرحله در مدل نمونه جریان حمل یکسره به سیستم بندر اضافه نشده است که در صورت افزودن آن به سیستم بندر (کاری که در مدل تخصصی هر یک از هفت بندر انجام می‌گیرد) ارتباط مستقیمی بین دروازه‌های بندر و اسکله به وجود خواهد آمد.

بندر را مدل‌سازی می‌نماید به همین دلیل با میزان بار تخلیه شده از کشتی و بار انتقال یافته به خارج بندر وابسته است. به همین دلیل زیر مدل تجهیزات اسکله که وظیفه تخلیه و بارگیری را به عهده دارد و زیر مدل دروازه‌های بندر که وظیفه ورود و خروج کالا از بندر را مدل‌سازی می‌نماید روی این زیر مدل تأثیرات مستقیمی دارند. از آنجاییکه فرض شده است که نوع تجهیزات بندر در طی دوره شبیه‌سازی مورد نظر تغییرات اساسی نمی‌نماید، تجهیزات بندر تأثیری بر روی ظرفیت رسوب کالا در محوطه‌های بندری اثرات شدید نمی‌گذارند.<sup>۲۳</sup>

- زیر مدل دروازه خروجی بندر در واقع بخشی از سیستم بندر است که جریان کامیونهای وارده به بندر را به جریان کالا در درون بندر، متصل می‌نماید.
- پس از این مرور مختصر بر زیر مدل‌های سیستم بندر، در ادامه ساختار پویای مدل بندر مورد اشاره قرار خواهد گرفت و روابط علی و معلولی آن ارایه می‌گردد.

---

۲۳. البته تعداد تجهیزات محوطه ای قابل تغییر است، اما تعداد این تجهیزات تأثیری بر ظرفیت دپوی کالا در محوطه‌های بندری ندارد و تنها سرعت تخلیه و بارگیری کامیونها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما تحول در نوع تجهیزات مثلاً از نوع استرادل کریر به ترانستینر، به دلیل تحول در میزان بار در هر متر مربع زمین باعث تحول در ظرفیت دپوی کالاها در محوطه‌های بندری می‌گردد. بدیهی است تحول در نوع تجهیزات نیاز به تحولات ساختاری در زیرسازیهای بندر دارد، به همین دلیل در مدل نمونه حاضر در نظر گرفته نشده است و این مساله باعث شده است که ارتباط مستقیمی بین تجهیزات محوطه و ظرفیت محوطه‌ها برای دپوی کالا وجود نداشته باشد.



### ۳-۲-۲- نماى پویای سیستم مدل دینامیکی بندر

در این قسمت رابطه پویای میان متغیرهای موجود در هر یک از زیر مدلها با جزئیات بیشتری ارائه می‌شود. متغیرهای ارائه شده در نمودارهای سیستمی به صورت حروف انگلیسی می‌باشند و تا جای ممکن سعی شده است که عنوان گویایی برای متغیرها برگزیده شود، با این وجود نام متغیر به همراه توضیح مربوطه در هریک از بخش‌های طراحی شده در مدل ارائه شده است.

#### الف - تجزیه و تحلیل سیستم دریایی بندر (Marine Side Submodel)

هدف از طراحی این بخش نمونه مدل طراحی سیستم ورود و خروج کشتی به/از بندر می‌باشد. همان طور که پیش از این بیان شد، جریان پیشکرانه بندر شامل ورود کشتی به لنگرگاه، پهلوگیری، سرویس (تخلیه و بارگیری) و در نهایت جداسازی کشتی از اسکله می‌باشد. بنابراین متغیر اصلی که در این بخش که نشان دهنده جریان این زیرمدل می‌باشد، کشتی است. بر این اساس، در این بخش می‌توان حرکت کشتی را به چهار قسمت افراز نمود که عبارتند از:

۱- ورود کشتی به لنگرگاه.

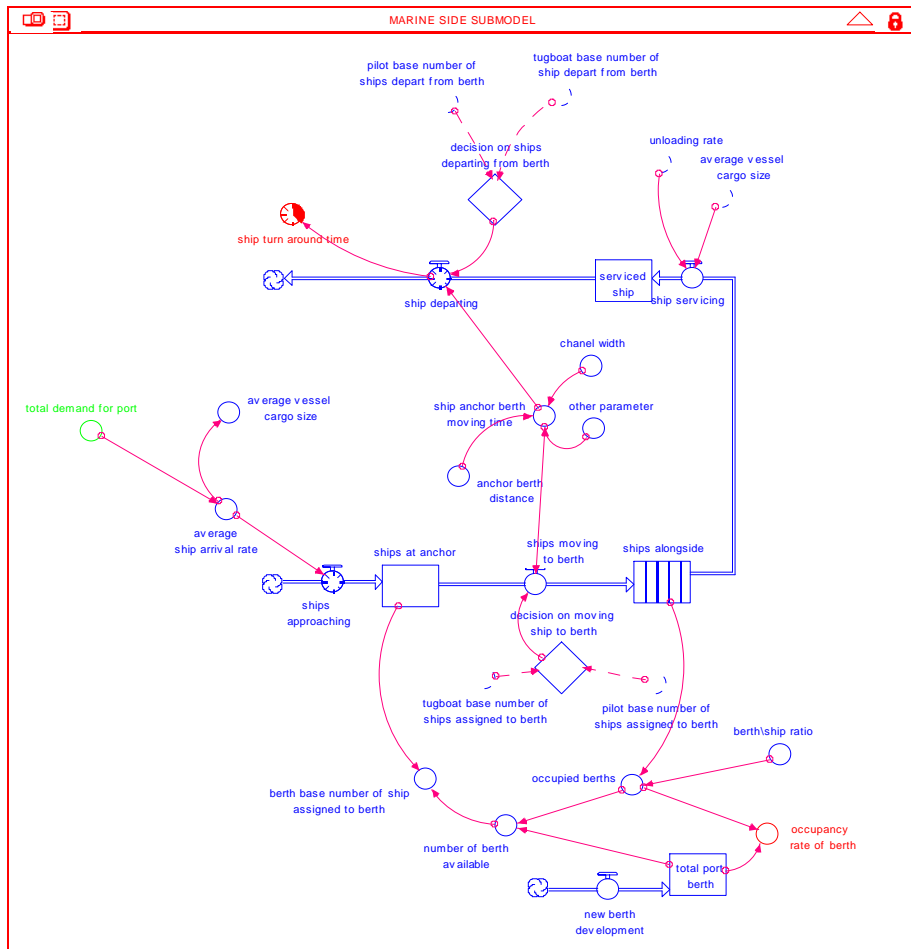
۲- انتقال کشتی از لنگرگاه به اسکله.

۳- سرویس (تخلیه و بارگیری) کشتی.

۴- جداسازی کشتی از اسکله و خروج از بندر.

جریان کشتی در زیرمدل دریایی بندر در دیاگرام سیستمی ارائه شده در نمودار (۳-۶) ارائه شده است که در ادامه به تشریح روابط پویای درون آن و معرفی متغیرهای مربوطه پرداخته می‌شود.

### نمودار (۳-۶) دیاگرام جریان بخش دریایی مدل بندر



#### الف-۱- حدود و مرزهای زیرمدل دریایی بندر

برای تعیین حدود و مرزهای هر سیستمی باید به هدف سیستم توجه نمود، چون هدف سیستم مرزهای بین سیستم و محیط آن را تعریف می‌نماید.<sup>۲۴</sup> در این قسمت

۲۴. برای درک بیشتر محیط و درون سیستم به نمودار (۲-۱) رجوع شود.

سیستم به عنوان یک جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شود حدود و پارامترهای آن بدون توجه به نحوه اثر پذیری متغیرهای سیستم بر یکدیگر به خوبی باید روشن باشد. بر این اساس متغیرهای این بخش و همچنین سایر زیرمدلهای مدل بندر را می‌توان به سه دسته درون‌زا (درونی سیستم)، برون‌زا (محیطی سیستم) و فرابخشی (برون‌زا برای زیرمدل ولی درون‌زا برای سیستم) طبقه بندی کرد. مجموعه متغیرهای زیرمدل دریایی بندر در قالب دسته بندی فوق در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

**متغیرهای برون‌زا:** متغیرهای برون‌زا را پارامترهای سیستم می‌نامند و در تحلیل سناریوهای مختلف جهت بررسی پیامدهای آن از جایگاه ویژه ای برخوردار هستند. این متغیرها خارج از سیستم تعیین می‌شوند و تحت کنترل سیستم نیستند. تعامل این متغیرها با متغیرهای درون‌زای سیستم باعث شکل دهی متغیرهایی می‌گردد که در سایر زیر بخش‌ها نقش اساسی ایفا می‌کنند. در این زیر سیستم نقش متغیرهای برون‌زا را به صورت زیر می‌توان بر شمرد.

متغیر برون‌زای تقاضا برای خدمات بندری تعداد کشتی وارد شده به بندر را تعیین می‌کند. متغیر «فاصله اسکله از لنگرگاه» زمان رسیدن کشتی را از لنگرگاه به بندر تعیین می‌کند. متغیر «عرض کانال آبراه» توانایی تردد کشتی‌ها را به صورت یکطرفه و دو طرفه تعیین می‌کند که این عامل مستقیماً تعداد ورود و خروج کشتی‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متغیر برون‌زای «تعداد اسکله» توانایی بندر را در تعداد پهلودهی کشتی‌ها متأثر می‌سازد. سایر پارامترهای تأثیر گذار را می‌توان شرایط جوی، شرایط سیاسی، اقتصادی کشور، موقعیت جغرافیایی و ... نام برد که همگی بر میزان ورود کشتی (تقاضا برای خدمات بندری) تأثیر دارند.

**متغیرهای درون‌زا:** این متغیرها درون سیستم تعیین می‌شوند و در روابط علی

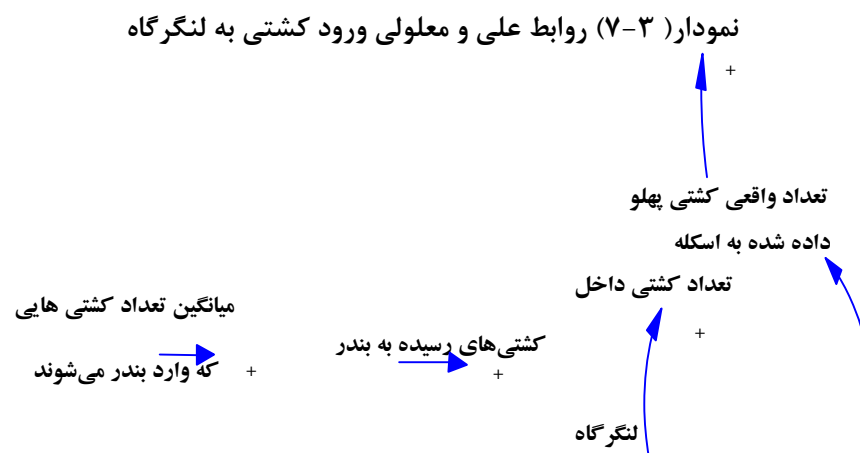
معلولی نقش این متغیرها با تفصیل بیشتری بیان شده است.

متغیرهای ارتباط دهنده (فرابخشی): علاوه بر متغیرهای برونزا و درونزا تعدادی از متغیرهای دیگر در این زیر سیستم وجود دارند که از سایر بخش‌های مدل به این بخش وارد می‌شوند که در سایر بخش‌های مدل وضعیت درونزا و برونزا بودن آنها مشخص می‌گردد. اما اگر این بخش مدل مستقل از سایر بخش‌ها در نظر گرفته شود، این متغیرها را باید برونزا در نظر گرفت.

در ادامه با توجه به مجموعه متغیرهای درگیر در بخش دریایی روابط علت و معلولی چهار مرحله‌ای که ورود و خروج کشتی از بندر را کنترل می‌نماید، تشریح خواهد شد.

## الف-۲- تشریح مراحل بخش دریایی

**ورود کشتی به لنگرگاه:** ورود کشتی به لنگرگاه را با متغیر، میانگین تعداد کشتی‌هایی که وارد بندر می‌شوند دارای روابط علی و معلولی در نمودار ۳-۷ زیر می‌باشد.



انتقال کشتی از لنگرگاه به اسکله: پس از اینکه تعداد کشتی وارد شده به بندر و داخل لنگرگاه مشخص شد، تعداد کشتی که باید به اسکله انتقال یابند مشخص می‌گردد. به منظور انتقال کشتی از لنگر گاه به اسکله سه عامل اساسی نقش دارند که عبارتند از:

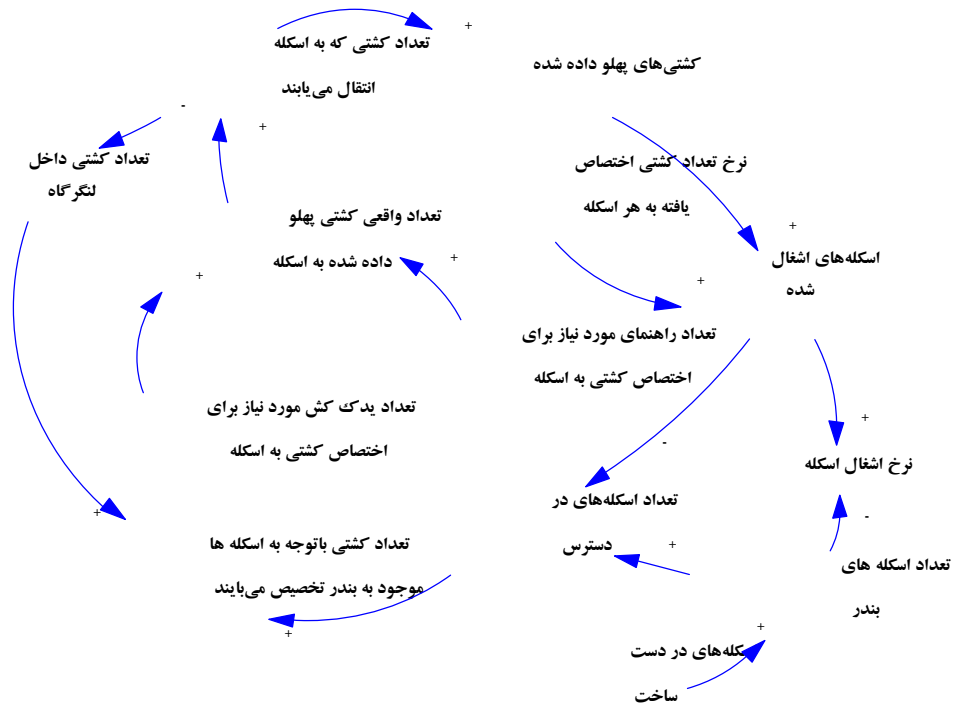
- تعداد اسکله‌های در دسترس<sup>۲۵</sup>.
- تعداد یدک کش مورد نیاز برای اختصاص کشتی به اسکله<sup>۲۶</sup>.
- تعداد راهنما بر مورد نیاز برای اختصاص کشتی به اسکله<sup>۲۷</sup>.

باتوجه به اینکه برای انتقال کشتی به اسکله هر سه مورد فوق نیاز است و در صورتی که یکی از این موارد وجود نداشته باشد نمی‌توان کشتی را به اسکله انتقال داد، ابتدا تعداد اسکله خالی بندر در هر زمان محاسبه می‌شود. این میزان به کمک متغیر تعداد اسکله‌های در دسترس<sup>۲۸</sup> محاسبه می‌شود. این متغیر از تفاضل متغیر تعداد اسکله‌های بندر<sup>۲۹</sup> از متغیر اسکله‌های اشغال شده<sup>۳۰</sup> به دست می‌آید. لذا می‌توان گفت متغیر تعداد اسکله‌های بندر بر تعداد اسکله‌های در دسترس اثر مثبت و متغیر اسکله‌های اشغال شده بر آن اثر منفی دارد. از سوی دیگر باتوجه طرح‌های توسعه بندر می‌توان گفت متغیر اسکله‌های در دست ساخت<sup>۳۱</sup> بر تعداد اسکله‌های بندر اثر مثبت خواهد گذاشت. البته بحث تاثیر تعداد اسکله‌های در دست ساخت دارای بازه زمانی تاثیر بلند مدت است

- 
- 25. number of berths available
  - 26. tugboat base number of ships assigned to berth
  - 27. pilot base number of ships assigned to berth
  - 28. number of berths available
  - 29. total port berth
  - 30. occupied berths
  - 31. new berth development

و اثر آن در شبیه سازی‌های بلند مدت بندر خود را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه تعداد اسکله‌های اشغال شده بندر از حاصل ضرب دو متغیر تعداد کشتی‌های پهلو داده شده<sup>۳۲</sup> و نرخ تعداد کشتی اختصاص یافته به هر اسکله<sup>۳۳</sup> استفاده می‌شود. لذا می‌توان گفت این دو متغیر بر تعداد اسکله‌های اشغال شده بندر اثر مثبت خواهند داشت. روابط این قسمت در نمودار (۸-۳) ارائه شده است.

### نمودار (۸-۳) روابط علی و معلولی انتقال کشتی از لنگرگاه به اسکله



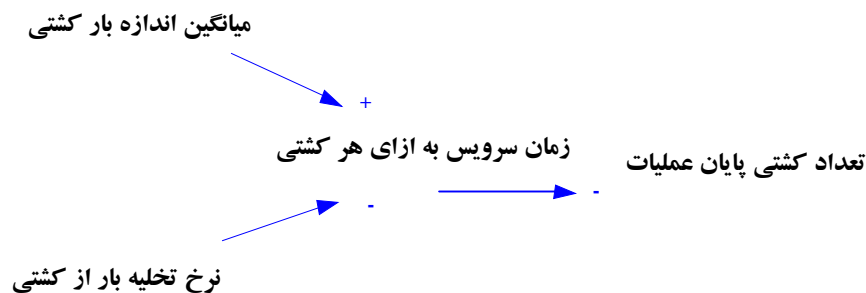
32. ships alongside

33. berth/ship ratio

اما همان طور که اشاره شد در دسترس بودن اسکله به معنی پهلودهی کشتی به اسکله نمی‌باشد. برای این که مشخص شود چه تعداد کشتی به اسکله پهلو داده می‌شود، متغیری به نام تعداد واقعی کشتی پهلو داده شده به اسکله<sup>۳۴</sup> تعریف می‌شود.

**سرویس (تخلیه و بارگیری) کشتی:** دو متغیر اصلی اثر گذار بر زمان سرویس کشتی عبارتند از میانگین اندازه بار کشتی<sup>۳۵</sup> و نرخ تخلیه بار<sup>۳۶</sup> اندازه بار کشتی بر زمان سرویس کشتی اثر مثبت دارد و چون هر چقدر بار کشتی بیشتر باشد به طور قطع در شرایط ثبات سرعت عملیات، زمان سرویس کشتی افزایش می‌یابد. در مقابل متغیر نرخ تخلیه بار بر زمان سرویس اثر منفی دارد. پس از پایان زمان سرویس کشتی به جمع کشتی‌های پایان عملیات<sup>۳۷</sup> می‌پیوندد روابط این قسمت در نمودار (۹-۳) نمایش داده شده است.

#### نمودار (۹-۳) روابط علی و معلولی تخلیه و بارگیری کشتی



34. actual ship assignment to berth

35. average vessel cargo size

36. unloading rate

37. serviced ship

جداسازی کشتی از اسکله: پس از این که تعداد کشتی پایان عملیات، مشخص شد، مرحله جداسازی کشتی از اسکله آغاز می‌شود.

به منظور انتقال کشتی از اسکله به لنگرگاه دو عامل اساسی نقش دارند که عبارتند

از:

- تعداد یدک کش مورد نیاز برای جدایی کشتی از اسکله<sup>۳۸</sup>.
- تعداد راهنما بر مورد نیاز برای جدایی کشتی از اسکله<sup>۳۹</sup>.

باتوجه به این که در جدایی کشتی از اسکله هر دو مورد فوق نیاز است و در صورتی که یکی از این موارد وجود نداشته باشد نمی‌توان کشتی را از اسکله جدا نمود. به همین دلیل متغیری به نام تعداد واقعی کشتی جدا شده از اسکله<sup>۴۰</sup> تعریف می‌شود. این متغیر با توجه به حداقل دو متغیر تعداد راهنما بر مورد نیاز برای جدایی کشتی‌ها از اسکله و تعداد یدک کش مورد نیاز برای جدایی کشتی‌ها از اسکله مشخص می‌گردد. به عبارتی این متغیر یک متغیر تصمیم‌گیری است در صورتی که باتوجه به یدک کش‌های موجود ۴ کشتی را بتوان از اسکله جدا نمود و باتوجه به راهنماهای موجود ۳ کشتی را بتوان از اسکله جدا نمود این متغیر حداقل دو متغیر یعنی عدد سه را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین این دو متغیر بر تعداد واقعی کشتی جدا شده از اسکله اثر مثبت دارند.

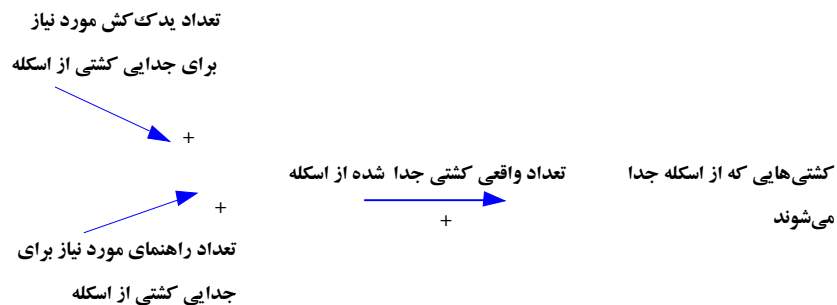
38. tugboat base number of ships depart from berth

39. pilot base number of ships depart from berth

40. actual ship departing from berth



### نمودار (۳-۱۰) روابط علی و معلولی انتقال کشتی از اسکله به لنگرگاه



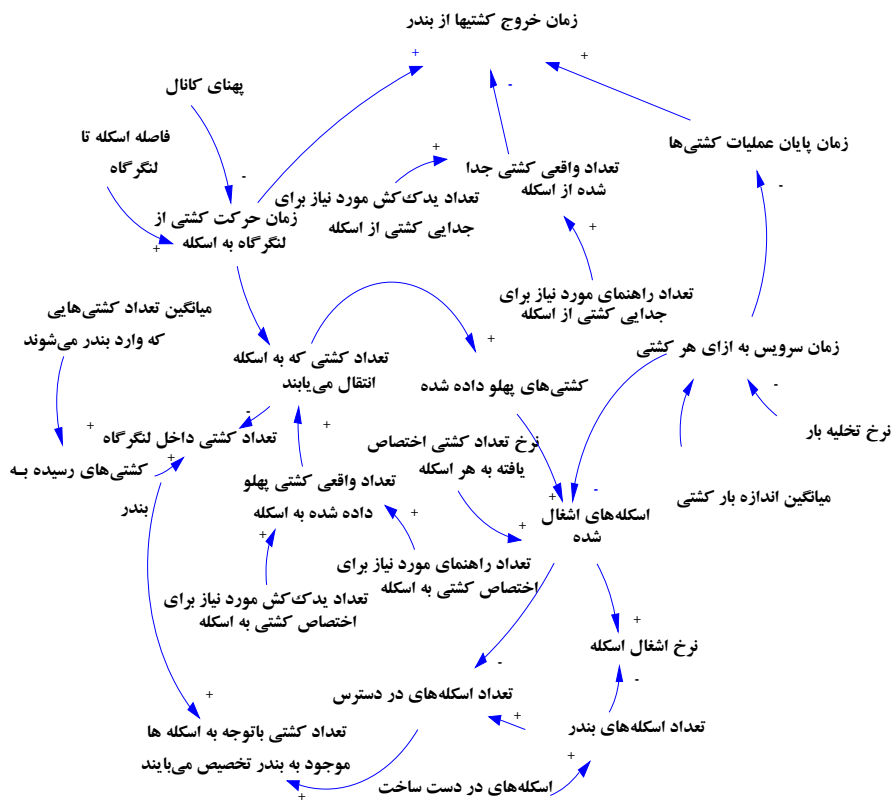
### الف-۳-روابط علی و معلولی زیر سیستم دریایی بندر

پس از مرور بخش به بخش روابط زیر مدل دریایی بندر به بررسی روابط علی و معلولی این زیرسیستم در قالب کلان پرداخته می شود. نمودار (۳-۱۱)، مجموعه متغیرهایی که در فرآیند پهلوگیری تا تخلیه کشتی و در نهایت در جدا شدن آن از اسکله نقش کلیدی دارند، به همراه نوع و جهت رابطه آن‌ها با همدیگر و یا به زبان دیگر رابطه «علی - معلولی» آن‌ها نشان داده شده است. بدون شک کاهش زمان توقف کشتی در بندر یکی از مهم ترین شاخص های ارزیابی عملکرد بنادر محسوب می شود. افزایش زمان توقف کشتی علاوه بر این که آثار اقتصادی زیادی در پی دارد به احتمال زیاد نارضایتی مشتریان را نیز در پی دارد. افزایش زمان توقف کشتی در بندر تابع مجموعه ای متغیرهای مختلف است.

همان طوری که در نمودار نشان داده شده است، افزایش تعداد کشتی های وارده به لنگرگاه چندین اثر عمده بر متغیرهای بندر می گذارد. به طور مثال با افزایش خروج کشتی از اسکله، تعداد اسکله های در دسترس افزایش یافته و همین امر موجب می شود تا تعداد کشتی هایی که در لنگرگاه در صف انتظار هستند، کاهش یابد.

نمودار (۳-۱۱) نمودار علی- معلولی (مدل مفهومی) فرآیند پهلوگیری تا خارج شدن

کشتی از اسکله



براساس تابع توزیع که منتج از نحوه و نوع کشتی وارد می باشد و هم چنین با استفاده از اندازه متوسط بارهای کشتی های وارد، نرخ ورود کشتی به بندر تعیین می شود. سرعت (نرخ) ورود کشتی به بندر، میزان کشتی ها را در لنگرگاه تحت تاثیر قرار می دهد. مدت زمان پیش از پهلو دهی کشتی به اسکله به عنوان زمان انتظار شناسایی می گردد، که تابع عواملی از قبیل «تعداد اسکله، نوع و تعداد تجهیزات، فاصله لنگرگاه از اسکله» و البته تعداد کشتی وارد به بندر می باشد. جهت انتقال کشتی های لنگرگاه به

اسکله، باید از یدک کش و راهنما بهره برد. این متغیرها که از زیر سیستم «یدک کش و راهنما بر» وارد این زیر سیستم شده‌اند، نسبت به انتقال کشتی از لنگرگاه به اسکله اقدام می‌کنند. با انتقال کشتی به اسکله «نرخ اشغال اسکله» افزایش می‌یابد.

متغیر «نرخ تخلیه» که از زیر سیستم «تجهیزات اسکله» وارد این بخش می‌گردد، به همراه اندازه بار، کشتی مدت زمان تخلیه کشتی را تعیین می‌کند، کشتی پس از اتمام عملیات آماده خروج می‌گردد. در موقع خروج، کشتی دوباره از زیر سیستم «یدک کش و راهنما بر» تقاضای یدک کش و راهنما می‌کند. سیستم هم چنین قادر به اندازه‌گیری زمان سرویس و زمان انتظار کشتی‌ها است.

بدین ترتیب هر شش زیر سیستم تعریف شده مدل کلان طرح شده برای بنادر باید مورد تجزیه و تحلیل و با روش و تکنیک مدل دینامیکی به طور یکپارچه که در این مقاله بیان گردیده تعریف و تشریح شده و در نرم افزار تخصصی سیستم‌های پویا (Dynamic System) طراحی و اجرا گردد.

باتوجه به مباحث طرح شده در این مدل خدماتی را که تدوین و اجرای مدل دینامیکی یکپارچه توسعه بنادر تجاری کشور ارایه خواهد داد با استفاده از روش DS و تصمیم‌گیری موارد زیر را می‌توان استخراج و مورد استفاده قرار داد که بسیار در پیش بینی و تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های بندری مقرون به صرفه خواهد بود.

۱. بررسی نحوه اثرگذاری عوامل بیرونی و درونی و استراتژی‌ها و سیاست‌های

سازمان بنادر بر متغیرهای عملکردی بنادر.

۲. پیش‌بینی بازارهای آینده بنادر و سازمان.

۳. پیش‌بینی ظرفیت آینده و سازمان.

۴. تدوین الگوی بهینه سرمایه‌گذاری در زیرسیستم‌های هر یک از بنادر کشور.

۵. پیش‌بینی میزان جذب سرمایه‌گذاری.
۶. بررسی و تحلیل حساسیت عملکرد زیر سیستم‌های بنادر و شرایط بحرانی.
۷. پیشنهاد در مورد بهبود هر یک از سیستم‌ها و استراتژی‌های موجود.
۸. پیشنهاد در مورد اتخاذ استراتژی‌های آینده سازمان.
۹. تخصیص و به کارگیری منابع.

## منابع و مآخذ

- آمار و عملکرد سازمان و بنادر و کشتیرانی ۱۳۸۵
- واردات و صادرات (نشریات گمرک) ۱۳۸۰ - ۱۳۸۵
- گزارش بندر گوادر «تهدید یا فرصت» و رقیب استراتژیکی
- نرم افزار I Think سال ۲۰۰۳
- Port Planning and Development Ernest G Wiley Interscience 1986.
- Element of Port Operation and Management Alah E. Brach Published by Chapman and Hall 1986.



stakeholders. Thereby; the managers could present a model for performance development of each commercial Ports under study.

In addition to the main objectives, minor objectives are involved including:

- Studying the effect of forecasting the perspective for the demand in port services upon performance attributes.
- Submitting proposals for the improvement of systems and determining bottlenecks
- Forecasting the capacity

*Mostafa Morshed And Dr.Rassam Moshrefi*

### Assignment Model for Containers Yards

#### **Abstract**

In this article the issue of integrated storage space assignment together with berth allocation for import containers in a container terminal is extended. This problem is adopted from a real world situation in which the type of container affects the decision making process for the storage space assignment problem. A two-level approach is proposed to solve this problem. The storage space allocation problem and the berth assignment problem are formulated as mathematical programming models in two consecutive levels. In the first level, the import containers are assigned to the storage blocks in order to minimize the storage/retrieval times of the containers. The vessels are then allocated to the berth locations in the second level according to the results obtained from the first level in order to minimize the total distance traveled by container handling equipments between the storage blocks and the vessel berth locations in the yard. The performance of the extended model is examined and verified by a number of numerical examples.

*Mohammad Bazazi*

## Six Sigma in Container Terminals

### **Abstract**

Many improvement approaches with different effectiveness have been introduced to the industry by researchers and university professors. Six Sigma Methodology is one of this approaches which formed within the industry and has attracted the attention of scientific societies and academies all over the world due to its outstanding effectiveness. By having high analysis capability, this methodology which first set up in the production units found its way rapidly through service sectors which have great improvement opportunities. In this article, the experience and learning obtained from implementation of this methodology in Shahid Rajaei Port are given.

*Dr. Noorosana*

## Productivity Monitoring in Research Centers

### **Abstract:**

Evaluating the productivity of research and development centers (R&D centers) is one of the important issues for both governmental and private sectors.

First of all, in this article some evaluating criteria will be designed and then a creative model, based on statistical quality control techniques and projects pursuit cumulative sum (PPCUSUM) approach, will be formulated. By using the designed model, we can monitor the mean vector of criteria and covariance matrix. Finally, an example will be presented.

*Dr. Ali Saraee*

## A Dynamic Model for Integrated Ports Development

### **Abstract:**

This model provides a summary of operation simulation for each commercial port within the framework of a dynamic system. Hence, it could be evaluated by analysis of sensitivity behavior of port system during a period against different policies. The model could be compared with organization objectives and expectations of other institutions and

# DIDGAH ○○○

Scientific, Professional, Port & Marine - Autumn 2007



**Editor Staff:**Hamid Vedadi

**English editor and translator:** Soraya Gheissary

**Editorial Board:**

Siavash Parssian, Hamid Hamidi, Roohallah Baratian,  
Ali Saraee, Mostafa Morshed, Reza Baikpoor, Hamid Vedaid,  
Hamid Reza Pischevar

**Execution Board:**

Mohammad Faghihzade, Tahereh Shahrabi Farahani,  
Hamideh Avazbakhsh, Maedeh Vahedi, Monir Aminabadi

**Postal Address:** R&D Center, Floor 9, Ports & Shipping  
Organization Bldg. South Didar Ave. Shahid Haghani  
Highway, Vanak Sq. Tehran

Tel.: 84932133 Email: r&d@pso.ir