

An optimization approach for wharf location by Genetic algorithm, event tree and neural network; Case study: mechanized railway terminal for transportation of mineral bulk materials in Shahid Rajaei port

Hamed Jafari¹, Ali Akbar Shirzadi Javaid^{*2}, Parviz Ghoddousi³, Hassan Maleki Tabar⁴, Mohsen Naderi⁵

1- Master of science student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2 - Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3 - Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

4 - Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

5 - Master of science, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this research, by using the genetic algorithm, which is a type of meta heuristic algorithms, the optimal number of wharfs is calculated based on the number of existing ships, the profit from the export and import of iron ore, and the waiting time. The best chromosome of each generation is classified according to the maximum amount of profit obtained during the operation period of the project. In addition to identifying the best number of ships and waiting time, it also identifies the best possible capacity for the project by using the event tree and taking into account the possibilities of tides, market supply and demand, and the impact of the sanction, so that the project can reach to the maximum profit at the time of operation with the least risk. Then, by using the neural network and taking into account the costs of dredging, dike and conveyor belt, the exact location of the dike is determined, so that the cost of construction is reduced to the minimum possible amount. This research has been carried out as a case study on the construction of a mechanized rail terminal for mineral bulk materials in Shahid Rajaei port and it helps the experts in this field for feasibility and basic studies to identify the most optimal mode as soon as possible in order to Avoid wasting time and resources. In this research, the use of 2 wharfs with a capacity of 16 million tons per year has been identified as the best plan. Also; The best place to build a wharf has been identified at a distance of 350 meters from the end of the land.

ARTICLE INFO

Receive Date: 16 June 2024

Revise Date: 22 August 2024

Accept Date: 14 September 2024

Keywords:

*Shahid Rajaei port
wharf location
wharf number
Bulk materials*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.446325.3367](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.446325.3367)

*Corresponding author: Ali Akbar Shirzadi Javaid.

Email address: shirzad@iust.ac.ir

بهینه کردن جانمایی اسکله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، درخت رویداد و شبکه عصبی؛ مطالعه موردی: پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد فله معدنی بندر شهید رجایی

حامد جعفری^۱، علی اکبر شیرزادی جاوید^{۲*}، پرویز قدوسی^۳، حسن ملکی تبار^۴، محسن نادری^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۴- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۵- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک که نوعی از الگوریتم‌های فراکاوشی است، تعداد بهینه اسکله‌های موردنیاز بر مبنای تعداد کشتی‌های موجود، سود حاصل از صادرات و واردات سنگ آهن و زمان انتظار محاسبه می‌شود و بهترین کروموزوم‌های هر نسل بر حسب مقدار بیشینه سود حاصل، طی بازه بهره‌برداری پروژه، دسته‌بندی می‌شوند. همچنین با استفاده از درخت رویداد و با در نظر گرفتن احتمالات جزر و مد، عرضه و تقاضای بازار و تأثیر تحریم، علاوه بر شناسایی بهترین تعداد کشتی‌ها و زمان انتظار، بهترین ظرفیت ممکن برای طرح را نیز شناسایی می‌کند تا پروژه با ریسک حداقل به سود حداکثری در زمان بهره‌برداری برسد؛ سپس با استفاده از شبکه عصبی و با در نظر گرفتن هزینه‌های لایروبی، دایک و تسمه‌نقاله، جانمایی دقیق محل اسکله مشخص می‌شود تا هزینه ساخت آن به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد. این پژوهش به صورت موردی روی احداث پایانه مکانیزه ریلی مواد فله معدنی اسکله بندر شهید رجایی انجام شده است و به متخصصین این حوزه جهت مطالعات امکان‌سنجی و پایه کمک می‌کند که بهینه‌ترین حالت ممکن در سریع‌ترین زمان شناسایی شود تا از هدررفت وقت و منابع جلوگیری شود. در این پژوهش، استفاده از ۲ پست اسکله و با ظرفیت ۱۶ میلیون تن در سال، به عنوان بهترین طرح شناسایی شده است. همچنین؛ بهترین مکان جهت احداث اسکله نیز در فاصله ۳۵۰ متر از انتهای زمین شناسایی شده است.

کلمات کلیدی: بندر شهید رجایی، مواد فله معدنی، جانمایی اسکله، تعداد اسکله.

| سابقه مقاله: | | شناسه دیجیتال: | | | |
|------------------------------------|------------|--|---------------|------------|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | doi: |
| ۱۴۰۳/۰۳/۲۶ | ۱۴۰۳/۰۶/۰۱ | ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ | ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ | ۱۴۰۴/۰۲/۳۱ | https://doi.org/10.22065/jsce.2024.446325.3367 |
| *نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: | | علی اکبر شیرزادی جاوید shirzad@iust.ac.ir | | | |

۱- مقدمه

بهبود کردن جانمایی اسکله باتوجه به طرح‌های موجود از منظر افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها، از چالش‌های اساسی بنادر است. با بررسی مقالات، دو حوزه مطالعاتی وجود دارد که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است: تخصیص کشتی‌ها به اسکله (BAP¹) و تخصیص به انبار (YAP²). حوزه BAP به مسائلی مانند برنامه‌ریزی جهت مشخص کردن زمان ورود و خروج کشتی، زمان بارگیری، فاصله بین کشتی‌ها، نوع پست اسکله و... می‌پردازد و هدف آن، کاهش زمان بارگیری و باراندازی کشتی، کاهش تعداد کشتی‌هایی که امکان خدمت‌رسانی به آن‌ها وجود ندارد و کاهش انحراف بین برنامه واقعی و برنامه اولیه است. حوزه YAP به مسائلی مانند یافتن موقعیت مکانی مناسب برای انبار کردن و انتقال مصالح می‌پردازد. این حوزه در پایانه‌های فله‌ای مورد توجه قرار گرفته و در پایانه‌های کانتینری کمتر مورد توجه بوده است. از سویی دیگر، پژوهش‌هایی برای انتخاب بهترین طرح ممکن باتوجه به پیشنهادهای موجود انجام شده است. در این دسته از پژوهش‌ها، با استفاده از ابزارهایی چون سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری³، تحلیل سلسله‌مراتبی⁴ و... بهترین طرح موجود انتخاب می‌شود. در این پژوهش‌ها، با استفاده از طرح‌های پیشنهادی توسط نخبگان، طرح برتر شناسایی می‌شود. از آنجاکه ساخت بندر جدید هزینه زیادی دارد و معیارهای متعددی برای جانمایی بندر و مشخص شدن وضعیت اسکله‌ها وجود دارد، لازم است در مرحله مطالعات توجیهی، آن‌ها را در نظر گرفت. در پژوهش‌های گذشته، بر اساس نظر خبرگان، جانمایی بین چند طرح پیشنهادی انجام می‌شد که در آن احتمال خطا وجود داشت. سپس بعد از تعیین جانمایی، روی بهترین برنامه زمان‌بندی ممکن، جهت پهلوگرفتن کشتی‌ها تحقیقاتی صورت می‌گرفت.

پژوهش حاضر باتوجه به ظرفیت و نوع کشتی، زمان انتظار در صف و سود حاصل از صادرات و واردات مواد فله معدنی، بهینه‌ترین تعداد اسکله مورد نیاز را بر اساس طرح برتر محاسبه می‌کند و مشخص می‌سازد اسکله در کدام نقطه ساخته شود تا هزینه ساخت آن کاهش یابد. باتوجه به اطلاعات محاسبه شده، مشاورین و متخصصین قادر خواهند بود جانمایی بهینه را با دقت بالایی شناسایی کنند. این پژوهش به صورت مطالعه موردی انجام می‌شود. سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران، طی یک برنامه توسعه در نظر دارد برای صادرات و واردات مواد فله معدنی، پایانه مکانیزه ریلی در بندر شهید رجایی احداث کند. به دلیل مشکلات زیست‌محیطی، حقوقی و اقتصادی، چندین جانمایی برای اسکله‌ها پیش‌بینی شده است و از بین جانمایی‌های موجود، یک جانمایی انتخاب می‌شود. به دلیل پیچیده و زمان‌بر بودن مطالعات، حدود ۳ سال زمان صرف شده است تا از بین گزینه‌های پیشنهادی، یک طرح انتخاب شود. پژوهش حاضر این امکان را فراهم می‌سازد تا در زمان بسیار کم‌تری به نسبت ذکر شده، جانمایی برتر شناسایی شود و دقت برآوردها بالا رود. لازم به ذکر است این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار متلب⁵ سال ۲۰۱۵ انجام می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات پیشین

در سال‌های اخیر، تناژ حمل‌شده کالاهای فله‌ای توسط کشتی‌ها رشد چشمگیری داشته است؛ به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۰۸، این عدد ۵/۴ میلیارد تن بوده که تقریباً ۶۶ درصد از کل کالاهای حمل‌شده در جهان بوده است. اما توجه کمی به اهمیت بهینه‌سازی بنادر فله‌ای شده و بنادر کانتینری بیش‌تر مورد توجه بوده است [۱]. ارزیابی پایانه‌ها، نیازمند بررسی ابعاد مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است. از آنجاکه هزینه این طرح‌ها زیاد است و رقابت بالایی در به‌دست‌آوردن زمین وجود دارد، لازم است روند ارزیابی را با دقت بیش‌تری دنبال

¹ Berth allocation problem (BAP)

² Yard assignment problem (YMP)

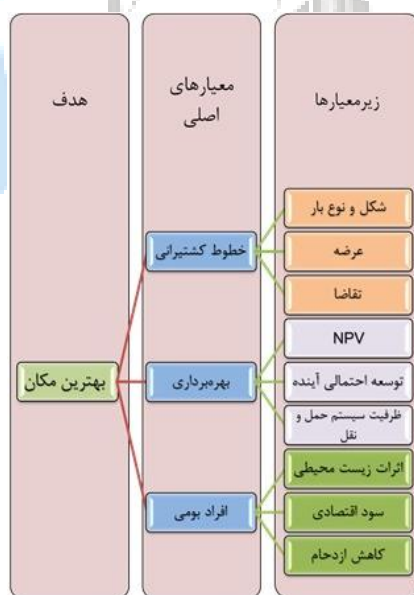
³ DSS

⁴ AHP

⁵ MATLAB

کرد. در بسیاری از طرح‌ها، استفاده از تحلیل منفعت - سود^۶ و تحلیل چندمعیاره^۷، به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا بهترین گزینه موجود را انتخاب کنند. استفاده از تحلیل چندمعیاره در برنامه‌ریزی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته در حالی که استفاده از تحلیل منفعت - سود در روند ارزیابی هر طرح در طول پروژه مورد استفاده قرار گرفته است. اما مزیت نسبی تحلیل چندمعیاره این است که علاوه بر ارزیابی اقتصادی به صورت کمی، می‌توان ارزیابی کیفی همان تحلیل‌های کمی را نیز با استفاده از سیستم نمره‌دهی انجام داد. این پژوهش با بهره‌گیری از مصاحبه و استفاده از تحلیل قدرت - نقص - فرصت - تهدید، اطلاعات مربوط به سه گزینه موجود را به دست آورد و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش دلفی^۸ و طیف لیکرت^۹ گزینه برتر را پیدا نمود. معیارهای طرح در شکل ۱ آورده شده است [۲].

چالش‌های روبه‌رو در بین مدیران این بنادر به دو بخش تقسیم می‌شود: مسائل برنامه‌ریزی و مسائل بهره‌برداری. مسائل برنامه‌ریزی شامل تصمیمات میان‌مدتی و کوتاه‌مدتی مدیران مانند تخصیص به انبار و تخصیص کشتی‌ها به اسکله باتوجه‌به تخصیص منابعی مانند تجهیزات است. مسائل بهره‌برداری شامل تصمیمات روزانه مانند تغییر در ساعات کاری جراثقیل باتوجه‌به اختلالات پیش‌آمده در محل پروژه است [1]. در این مقاله، به نقش مسائل برنامه‌ریزی جهت جانمایی اسکله پرداخته می‌شود. جهت نمایش زمان خدمت‌رسانی، از نمودار زمان - اسکله استفاده می‌شود. کشتی‌ها با مستطیل نمایش داده می‌شوند که طول مستطیل برابر با طول کشتی و عرض آن برابر زمان تحویل بار است. ضمن آنکه زمان خدمت‌رسانی کشتی برابر است با مجموع زمان حمل و زمان انتظار برای پهلوگرفتن در اسکله (شکل ۲). لازم به ذکر است در این نمودار هیچ مستطیلی نباید با مستطیل دیگر همپوشانی داشته باشد [۳]. طرح‌بندی اسکله‌ها، جایگاه کشتی‌ها را برای لنگرگرفتن تحت تأثیر قرار می‌دهند. سه نوع طرح برای لنگرگرفتن وجود دارد که در شکل ۳ مشاهده می‌شود. در حالت گسسته، هر کشتی فقط به یک اسکله تخصیص داده می‌شود؛ اما در حالت پیوسته بر خلاف حالت گسسته این محدودیت وجود ندارد و در حالت ترکیبی می‌توان از هر دو ایده فوق به طور هم‌زمان استفاده کرد. انتخاب هر یک از این سه حالت به فاصله بین کشتی‌ها و عمق زیر آب کشتی بستگی دارد و می‌توان با در نظر گرفتن قیدهای فاصله بین کشتی‌ها، آب‌خور کشتی، نوع بار فله و رعایت نوبت در بارگیری - باراندازی کشتی‌ها و با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند برنامه‌ریزی خطی ترکیبی^{۱۰}، مسئله تخصیص به اسکله را حل کرد [۴].



شکل ۱: معیارهای طرح [۲]

⁶ Cost-benefit analysis

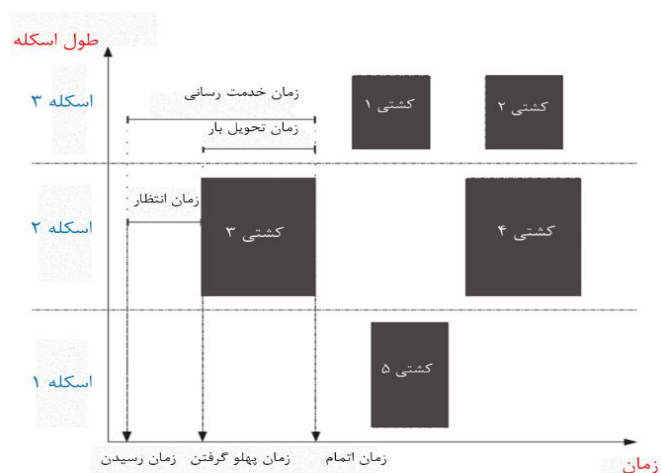
⁷ Multi-criteria analysis

⁸ Delfi

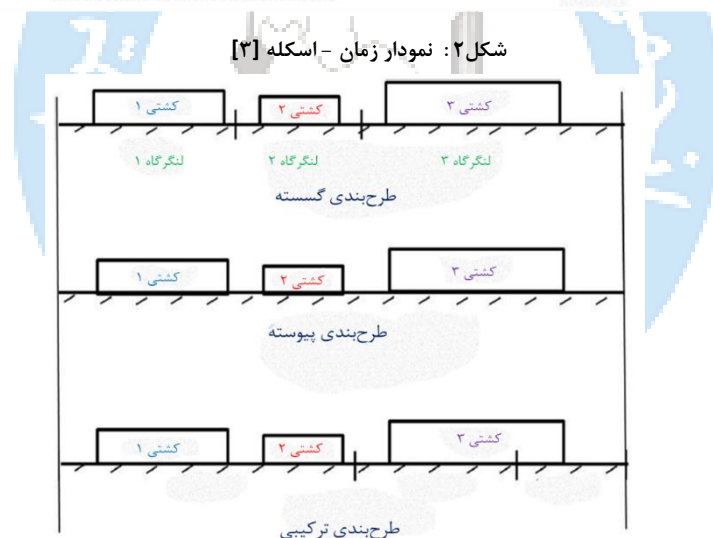
⁹ Likert

¹⁰ Mixed integer linear programming

ایمای ۱۱ و همکاران [۵]، با در نظر گرفتن حالت گسسته در بندر کانتینری و تبادل ۱۲ زمان خدمت‌دهی کشتی - نارضایتی تغییر نوبت کشتی‌ها، مسأله تخصیص کشتی به اسکله را مطرح نمود. در این مقاله قیدی برای طول کشتی و یا حداقل فاصله ایمن بین کشتی‌ها در نظر گرفته نشده و با استفاده از روش وزنی و برنامه‌ریزی خطی، تخصیص صورت گرفته‌است. ایمای و همکاران [۶]، با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی خطی ترکیبی و ساده‌سازی لاگرانژی ۱۳، پژوهش خود را که مطالعه موردی بندر کوبه در ژاپن بود و در سال ۱۹۹۷ انجام داده بودند [۵]، کامل کردند. از آنجایی که در هر ماه، فقط نه ساعت تمام اسکله‌های بندر به صورت همزمان مشغول به فعالیت بودند، هزینه‌های استفاده از



شکل ۲: نمودار زمان - اسکله [۳]



شکل ۳: انواع طرح بندی پست اسکله [۴]

بندر به ازای هر کانتینر مبلغ بالایی بود و هدف این مقاله آن است که تعداد اسکله‌های موجود را کاهش دهد و سطح خدمت‌رسانی را حفظ کنند. در پژوهش قبلی، فرض محققین بر این بود که کشتی‌ها در حالت سکون^{۱۴} قرار دارند اما در پژوهش جدید خود این فرض را در نظر گرفتند که وقتی کشتی‌ها به بندر می‌رسند، اسکله‌ها همچنان کار می‌کنند. ضمن آنکه در پژوهش جدید خود قیدی را در نظر نگرفتند و اسکله‌ها را نیز همانند پژوهش قبلی خود، به حالت گسسته فرض کردند. موناکو^{۱۵} و سامارا^{۱۶} [۷]، پژوهش ایمای و همکاران [۶] را ادامه

¹¹ Imai

¹² Trade_off

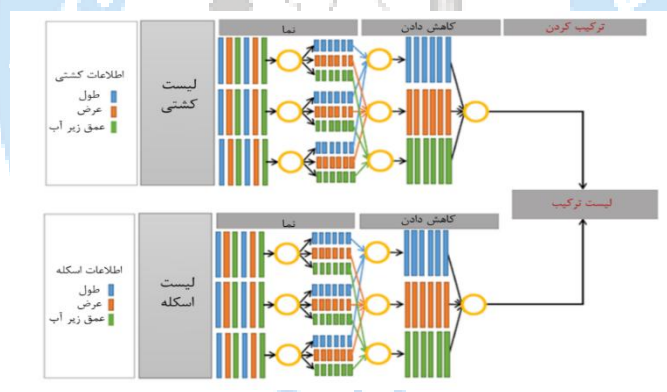
¹³ Lagrangian relaxation

¹⁴ Static

¹⁵ Monaco

¹⁶ Sammarra

دادند. آن‌ها با استفاده از روش ساده‌سازی لاگرانژی و با فرض کردن تعدادی قید، مساله را حل کردند و دقت نتایج خود را به نسبت نتایج ایما و همکاران [۶]، بهبود بخشیدند. همچنین در این پژوهش اثبات شد الگوریتم پیشنهاد شده به نسبت سیمپلکس^{۱۷} دقت بهتری دارد و سیمپلکس قادر به پیدا کردن جواب بهینه نیست. لارسن و همکاران [۸]، پژوهش ایما و همکاران [۶] و موناکو و سامارا [۷] را ادامه دادند و با تغییراتی در الگوریتم پیشنهادی آن‌ها، زمان تحلیل را کوتاه کردند. نیشیمورا^{۱۸} و همکاران [۹]، با هدف کاهش زمان انتظار و زمان کار، مسئله BAP را از طریق الگوریتم ژنتیک، برنامه‌نویسی کردند. در این پژوهش با بهره‌گیری از قانون حق تقدم، از دو کروموزوم^{۱۹} استفاده کردند. طول کروموزوم اول بیانگر مجموع تعداد کشتی و تعداد اسکله‌ها منهای ۱ است و در جایی که عدد صفر در کروموزوم ایجاد می‌شود، نوبت کشتی‌ها تغییر می‌کند. کروموزوم دوم نیز از دو بخش تشکیل شده است؛ طول کروموزوم بیانگر تعداد کشتی‌هاست و ژن‌های غیر صفر نشان می‌دهند که کشتی‌ها با توجه به حق تقدم، در کدام اسکله پهلو گرفته‌اند. ژن‌های صفر نیز نشان می‌دهند که هیچ کشتی تخصیص داده نشده؛ لازم به ذکر است که قید محدودیت عمق آب نیز در نظر گرفته شده است و بعد از ایجاد نسل جدید و قبل از محاسبه با استفاده از تابع برازندگی^{۲۰}، این قید بررسی می‌شود. تسای^{۲۱} و همکاران [۱۰] با ارائه الگوریتم جدید بر مبنای GA و تابع هدف کاهش زمان انتظار کشتی‌ها، بهبود قابل توجهی در دقت نتایج در مقایسه با نیشیمورا و همکاران [۹] ایجاد کردند و زمان تحلیل را بسیار کاهش دادند. این مقاله با بهره‌گیری از روش تاگوچی^{۲۲}، از بهترین پارامترها برای دو عملکرد جهش و آمیزش استفاده می‌کند. تاگوچی در دهه ۱۹۵۰ میلادی این روش را جهت بهبود کیفیت محصولات ابداع کرد. الگوریتم پیشنهادی ابتدا یک لیست از اسکله‌ها و یک لیست دیگر از کشتی‌ها با توجه به زمان ورود کشتی‌ها، مشخصات و قیدهای فیزیکی دریافت می‌کند و در مرحله بعد این دو لیست با عملگرهای جهش و آمیزش، با یکدیگر ترکیب می‌شوند (شکل ۴). در گام بعد با استفاده از روش تاگوچی، تابع برازندگی کنترل می‌شود. گنجی و همکاران [۱۱] نیز پژوهشی با استفاده از GA انجام دادند. به جهت کاهش طول کروموزوم و زمان تحلیل، از کروموزومی با دو بخش استفاده کردند.



شکل ۴: نمایش تشکیل لیست ترکیب [۱۰]

یان^{۲۳} و همکاران [۱۲]، روش متفاوتی را در مقایسه با سایر پژوهشگران انتخاب کردند. این مقاله با استفاده از شبکه اسکله – جریان^{۲۴} و بدون استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی، مسئله BAP را با طرح‌بندی ترکیبی حل کردند. پژوهشگران با تقسیم کشتی‌ها به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک، برای هر کدام برنامه‌ای طراحی کردند. در نهایت با مقایسه نتایج این روش با محاسبات دستی رایج در بنادر، نتیجه گرفته شد که این روش اثربخشی بسیار مناسبی داشته و در قیاس با الگوریتم‌های فراکاوشی، برای مسئولان بنادر روش بهتر و

¹⁷ CPLEX

¹⁸ Nishimura

¹⁹ Chromosome

²⁰ Fitness function

²¹ Tsai

²² Taguchi

²³ Yan

²⁴ The berth-flow network

کارآمدتری است؛ زیرا می‌تواند تغییرات جزئی روزانه را به راحتی در خود جای دهد اما در مدل‌های بزرگ، این روش کارایی خود را از دست می‌دهد و باید از فراکاووشی‌ها استفاده شود.

حوزه YAP به بررسی نحوه انبارش مصالح و نحوه جابه‌جایی کالا می‌پردازد و ضمن تأثیر بر مسافت حمل، بازدهی ذخیره‌سازی انبار را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین حوزه YAP و BAP به یکدیگر مرتبط هستند. شروع و پایان بارگیری - باراندازی، نحوه توزیع منابع مانند ماشین‌آلات را مشخص می‌کند. علاوه بر این، انتخاب اسکله مناسب جهت پهلوگرفتن کشتی مسیر حمل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. ایما و همکاران [۱۳]، پژوهشی درباره نحوه تخصیص هم‌زمان اسکله و جرثقیل روی طرح‌بندی پیوسته انجام دادند. در صورتی که تعداد جرثقیل‌ها زیاد باشند، طبق قاعده حق تقدم هر کشتی می‌تواند پهلو بگیرد و در صورتی که تعداد جرثقیل‌ها کم باشند، این الگوریتم برنامه را به گونه‌ای تغییر می‌دهد تا زمان تأخیر کل کشتی‌ها را کاهش دهد. رویز^{۲۵} و همکاران [۱۴]، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تصادفی مغرضانه^{۲۶} و با هدف کاهش هزینه‌های جابه‌جایی کانتینرها بین کشتی‌ها و همچنین اختصاص جرثقیل‌هایی با حداکثر ظرفیت متناسب با هر کشتی، پژوهشی را انجام دادند. این پژوهش بر خلاف ایما و همکاران [۱۳]، زمان سرویس‌دهی هر کشتی را تابعی از تعداد جرثقیل‌ها قرار می‌دهد و جهت مدل‌سازی زمان سرویس‌دهی، از جدولی که به مدل معرفی استفاده شده است، استفاده می‌کند. همچنین؛ نتیجه می‌گیرند که استفاده از الگوریتم ژنتیک تصادفی مغرضانه نسبت به سیمپلکس برتری دارد و سیمپلکس حتی برای مدل‌های کوچک نیز نمی‌تواند مؤثر باشد. جیاموباردو^{۲۷} و همکاران [۱۵] نیز پژوهشی مشابه رویز و همکاران [۱۴] انجام دادند و یافته‌های ایشان، مشابه یکدیگر بود.

۳- روش تحقیق

۳-۱- معیارها

در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک جهت یافتن تعداد بهینه اسکله‌ها و تعداد کشتی‌های مورد نیاز استفاده خواهد شد. در گام بعد، کروموزوم‌های بهینه هر نسل از منظر سود پروژه دسته‌بندی می‌شوند و با استفاده از درخت رویداد، اثر تحریم، ظرفیت عرضه و تقاضای بازار، اثر جزر و مد و تعداد کشتی‌های ۶۰ و ۸۰ هزار تنی بررسی می‌شوند. در گام نهایی با استفاده از شبکه عصبی، محل دقیق اسکله‌ها مشخص می‌شوند. از آنجایی که بخش قابل توجهی از هزینه‌های ساخت پست اسکله (که از طریق مصاحبه با خبرگان و اسناد پروژه به دست آمده است)، متعلق به لایروبی، دایک و تسمه‌نقاله است؛ از این سه عامل جهت تعیین جانمایی پست اسکله‌ها استفاده می‌شود.

۳-۲- تشریح الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در پژوهش

اولین گام جهت مدل‌سازی، مشخص کردن فنوتایپ پژوهش است. ویژگی‌هایی که در این پژوهش بررسی می‌شوند در جدول ۱ اشاره شده است. در گام دوم، ژنوتایپ^{۲۸} پژوهش مشخص می‌شود. در این مرحله صفات و ویژگی‌هایی که در جدول ۱ ذکر شده است، در کروموزوم‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۵). در گام سوم جمعیت اولیه تشکیل می‌گردد. ابتدا تعداد کشتی‌های ۶۰ و ۸۰ و تعداد پست اسکله به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس با استفاده از کروموزوم اول، زمان تأخیر یا بیکاری هر کروموزوم محاسبه می‌شود. در گام بعد، هزینه خسارت^{۲۹} یا هزینه بیکاری^{۳۰} (که به صورت روزانه است) در زمان تأخیر یا بیکاری ضرب می‌شود و با در نظر گرفتن هزینه ساخت هر پست اسکله و سود حاصله از صادرات یا واردات هر تن مواد فله معدنی، سود کل پروژه در کروموزوم دوم محاسبه می‌شود. در گام چهارم به هر یک از کروموزوم‌ها، امتیاز داده می‌شوند. با استفاده از سودهای هر ژن، سود کل محاسبه می‌شود (رابطه (۱)) و سپس امتیازدهی

²⁵ Ruiz

²⁶ Biased random key genetic algorithm

²⁷ Giallombardo

²⁸ Genotype

²⁹ Demurrage

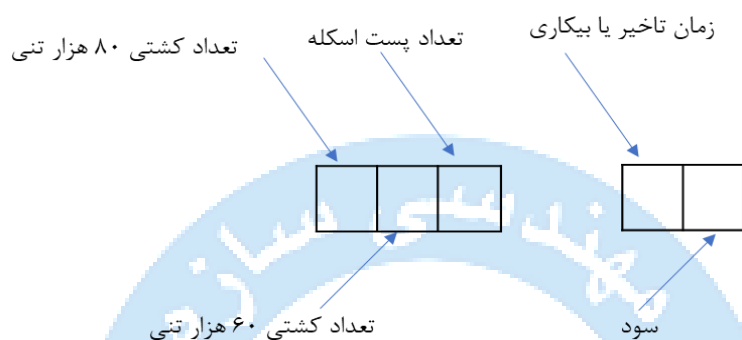
³⁰ Idle cost

می‌شوند. در این رابطه C_{NC} سود تنزیل نشده، I_P سود صادرات و واردات هر تن سنگ آهن، C_W هزینه ساخت پست اسکله و C_D خسارت تأخیر یا بیکاری هست که به صورت روزانه محاسبه شده است.

$$C_{NC} = I_P - C_W - C_D \quad (1)$$

از آنجایی که در بازه بهره‌برداری ارزش زمانی پول را نیز باید لحاظ کرد، از رابطه (۲) استفاده می‌شود که i نرخ تنزیل سالیانه، n دوره بهره‌برداری و C_C سود تنزیل شده است:

$$C_C = C_{NC} \times (1+i)^n \quad (2)$$



شکل ۵: نمایش کروموزوم استفاده شده در این پژوهش

جدول ۱: فنوتایپ پژوهش

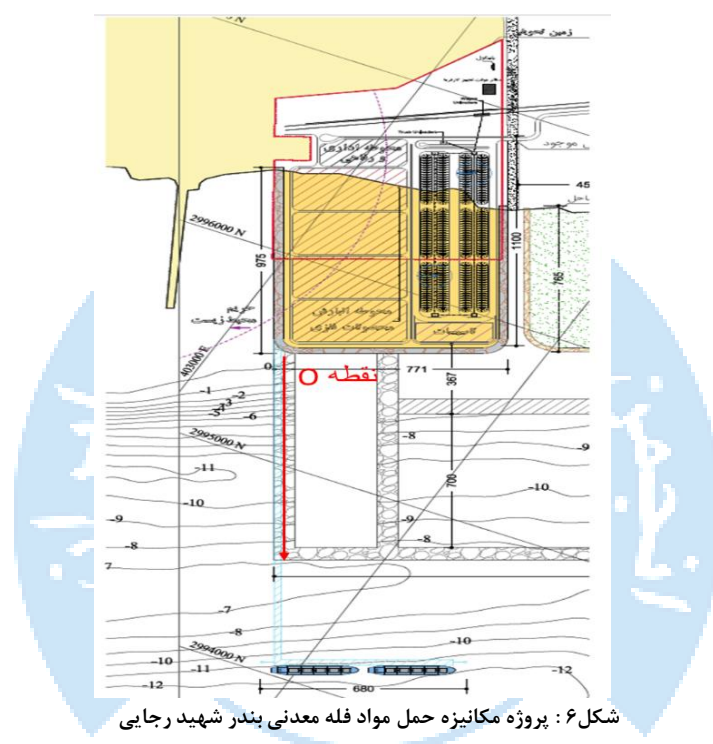
| ردیف | ویژگی‌ها |
|------|-------------------------------|
| ۱ | تعداد پست اسکله |
| ۲ | تعداد کشتی ۶۰ هزار تنی |
| ۳ | تعداد کشتی ۸۰ هزار تنی |
| ۴ | میزان تأخیر (روز) |
| ۵ | سود پروژه در بازه بهره‌برداری |

۳-۳- تشکیل درخت روبداد

پس از دسته‌بندی بهترین کروموزوم‌های هر نسل بر اساس سود پروژه، ۴ عامل مهم تاثیر گذار که در مصاحبه با خبرگان به دست آمده است در نظر گرفته می‌شود: احتمال رخ دادن اثر جزر و مد، تغییر ظرفیت طرح ناشی از تحریم، ظرفیت عرضه و تقاضای بازار و تعداد کشتی‌های در دسترس. در گام پایانی این مرحله، درخت رویداد تشکیل می‌شود و بهترین کروموزوم شناسایی می‌شود. به دلیل رخ دادن جزر و مد، محدودیت‌هایی در بعضی از ساعات برای تردد شناورها ایجاد می‌شوند؛ زیرا با پایین رفتن آب ممکن است کشتی ۸۰ هزار تنی نتواند پهلو بگیرد و این مورد تاثیر زیادی در نتایج پژوهش دارد. از سویی دیگر تحریم یا ظرفیت عرضه و تقاضای بازار ناشی از عوامل مختلف، در جانمایی و ارزیابی پروژه نقش بسزایی دارد که باید مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۴- جانمایی اسکله

در این بخش پس از تعیین تعداد پست اسکله‌ها با استفاده از مراحل بخش ۲-۳ و ۳-۳، به جانمایی اسکله پرداخته می‌شود. ۳ عامل بسیار تاثیرگذار در انتخاب محل قرارگیری پست اسکله جهت صادرات و واردات مواد فله معدنی عبارتند از: حجم لایروبی^{۳۱}، حجم دایک^{۳۲} و طول تسمه نقاله^{۳۳}. برای محاسبه احجام دایک و لایروبی لازم است با استفاده از مقطع زدن، مساحت را محاسبه و سپس حجم برآورد گردد. بدین جهت: انتهای خشکی باتوجه به شکل ۶ به عنوان مبدا (نقطه O) در نظر گرفته می‌شود و مختصات (X,Y) با توجه بستر دریا و فاصله هر نقطه از مبدا به دست می‌آید. در گام بعدی با استفاده از شبکه عصبی^{۳۴}، بهترین تابع ممکن پیدا شده و در نهایت می‌توان مقاطع را به دست آورد.



شکل ۶: پروژه مکانیزه حمل مواد فله معدنی بندر شهید رجایی

۳-۵- فرضیات پژوهش

این پژوهش به صورت موردی روی پروژه احداث پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد فله معدنی بندر شهید رجایی انجام می‌شود. سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران در نظر دارد در غرب این بندر، جهت صادرات و واردات مواد فله معدنی این پایانه را احداث کند. یکی از چالش‌های این برنامه، بهینه کردن جانمایی اسکله است. این پژوهش در راستای یافتن طرح و جانمایی برتر، مفروضات زیر را در نظر گرفته است:

- معیار توقف الگوریتم، ۱۰۰ نسل است.
- نرخ تنزیل سالیانه برابر ۳ درصد است.
- نرخ آمیزش ۸۰٪ است و کروموزوم‌ها از یک نقطه شکسته می‌شوند.
- مابه‌التفاوت درآمد و هزینه تمام‌شده به‌ازای صادرات هر تن سنگ آهن، ۱۰ دلار در نظر گرفته می‌شود.

³¹ dredging

³² dike

³³ Conveyor belt

³⁴ Neural network

- نرخ جهش ۱۰٪ است.
- طرح بندی اسکله، گسسته است.
- تکثیر و امتیازدهی هر کروموزوم با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) ارزیابی می‌شود.
- ظرفیت اسمی این پایانه ۱۵ میلیون تن در سال است.
- ظرفیت کشتی‌ها ۶۰ و ۸۰ هزار تن است.
- در ۳ سال اول به دلیل ساخت اسکله و در نظر گرفتن تاخیرات احتمالی، درآمدزایی صورت نمی‌گیرد.
- هزینه خسارت تأخیر یا هزینه بیکاری روزی ۱۰۰ هزار دلار در نظر گرفته می‌شود.
- ظرفیت تسمه‌نقاله با احتساب ضریب اطمینان ۲۰۱۶ تن بر ساعت است.
- روزهای کاری در هر سال ۳۵۰ روز در نظر گرفته می‌شود.
- مقادیر Max و Min برای فنوتایپ پژوهش (پایانه بندر شهید رجایی) در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲: مقادیر Max و Min پروژه پایانه مکانیزه حمل مواد فله معدنی بندر شهید رجایی

| Max | Min | فنوتایپ |
|-----|-----|------------------------|
| ۱۱۰ | ۰ | تعداد کشتی ۸۰ هزار تنی |
| ۱۵۰ | ۰ | تعداد کشتی ۶۰ هزار تنی |
| ۳ | ۱ | تعداد پست اسکله |
| - | - | زمان تأخیر |
| - | - | سود پروژه |

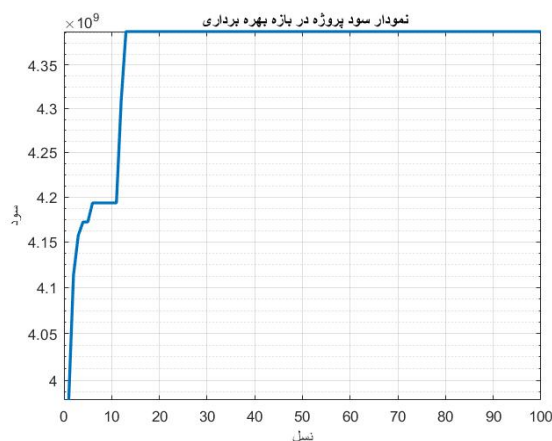
۴- نتایج و تفسیر آن‌ها

خروجی الگوریتم ژنتیک در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شده است. در شکل ۷، ۵۰ کروموزوم برتر در پایان نسل ۱۰۰ با ظرفیت ۱۷ میلیون تن نشان داده شده و کروموزوم اول به عنوان بهترین کروموزوم شناخته شده است. باتوجه به این کروموزوم، در صورت استفاده از ۱۰۱ کشتی ۸۰ هزار تنی و ۱۵۰ کشتی ۶۰ هزار تنی و همچنین با ساخت ۲ پست اسکله، می توان به بهینه ترین حالت ممکن رسید. در این حالت، ۹۷ روز - پست اسکله (به عبارتی ۴۹ روز در هر سال)، اسکله ها بیکار هستند و می توان از ظرفیت ۱۷ میلیون تن نیز فراتر رفت (علامت منفی به معنای بیکار بودن اسکله می باشد). سود پروژه نیز با احتساب نرخ تنزیل ۳ درصد سالیانه در بازه بهره برداری، ۴/۴ میلیارد دلار می باشد. لازم به ذکر است که قید تعداد کشتی در برنامه اعمال شده است تا باتوجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، احتمال دارد کشتی های زیادی تردد نکنند و به جهت واقع بینی پروژه، متخصصین می توانند باتوجه به آمار واقعی موجود، بازه تعداد کشتی را انتخاب

کنند.

| Fields | Position | Delay | TotalProfit |
|--------|-------------|-------|-------------|
| 1 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 2 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 3 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 4 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 5 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 6 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 7 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 8 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 9 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 10 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 11 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 12 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 13 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 14 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 15 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 16 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 17 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |
| 18 | [101,150,2] | -97 | 4.3889e+09 |

شکل ۷: نتایج پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت اسمی ۱۷ میلیون تن در سال



شکل ۸: نمودار الگوریتم پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۷ میلیون تن در سال

در شکل ۸، روند رسیدن به پاسخ بهینه طی ۱۰۰ نسل نشان داده شده است. در این نمودار مشاهده می شود که در نسل های اولیه کروموزوم هایی با سودآوری حدود ۴ میلیارد دلار توسط الگوریتم شناسایی شده و سپس در نسل های بعد کروموزوم هایی با سودآوری بهتر (حدود ۴/۴ میلیارد دلار) یافت شده است. بر اساس شکل ۱۰، کروموزوم برتر هر نسل (مجموعاً ۱۰۰ کروموزوم) به ۲ دسته تقسیم می شود:

- کروموزوم هایی با سودآوری حدود ۴ میلیارد دلار در بازه بهره برداری پروژه
- کروموزوم هایی با سودآوری حدود ۴/۴ میلیارد دلار در بازه بهره برداری پروژه

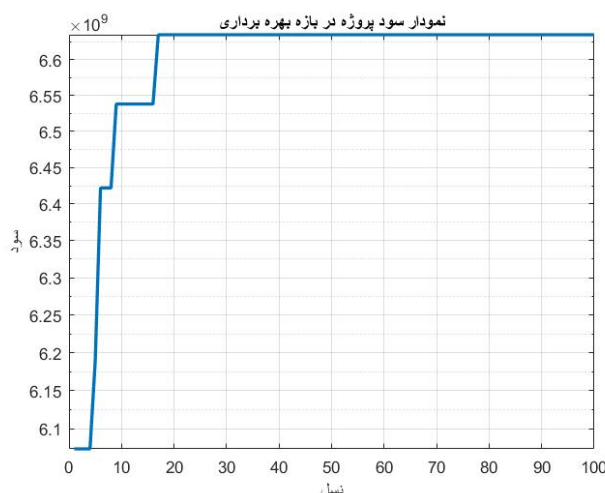
همان گونه که ذکر شد، شکل ۷ نشان می دهد که روزهای بیکار نیز وجود دارد و باز هم قابلیت افزایش ظرفیت وجود دارد. بدین جهت، ظرفیت را عدد بالاتری (۲۶ میلیون تن) وارد کرده تا الگوریتم بررسی کند آیا در صورت استفاده از ۲ پست اسکله می توان به این ظرفیت رسید؟ اگر پاسخ منفی است، کدام ظرفیت بهینه ترین حالت ممکن برای استفاده از ۲ پست اسکله است؟ با چه تعداد کشتی و چند روز زمان تاخیر؟ در شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ خروجی الگوریتم با ظرفیت ۲۶ میلیون تن آورده شده است: باتوجه به شکل ۹ مشاهده می شود تعداد پست اسکله های بهینه ۳ عدد می باشد. بنابراین لازم است جهت یافتن پاسخ بهینه، از نسل های قبل استفاده گردد. در شکل ۹ مشاهده می شود در نسل ۱۰، سودآورترین کروموزوم با ۲ پست اسکله وجود دارد و در نسل ۱۱، کروموزومی با ۳ پست اسکله (۳ پست اسکله از طریق جهش ژن به دست آمد) به عنوان بهترین کروموزوم شناسایی شده است. با مقایسه کروموزوم نسل ۱۰ با نسل ۱۰۰ مشاهده می شود اختلاف چندانی از نظر سودآوری وجود ندارد؛ بنابراین می توان کروموزوم شماره ۱۰ را سودآورترین کروموزوم جهت استفاده از ۲ پست اسکله دانست (با ظرفیت تقریباً ۲۶ میلیون تن).

| Fields | Position | Delay | TotalProfit |
|--------|-------------|-------|-------------|
| 1 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 2 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 3 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 4 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 5 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 6 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 7 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 8 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 9 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 10 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 11 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 12 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 13 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 14 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 15 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 16 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 17 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 18 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 19 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 20 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 21 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 22 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 23 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 24 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |
| 25 | [166,218.3] | -116 | 6.8326e+09 |

شکل ۹: نتایج پایانه مکانیزه ریلی اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۲۶ میلیون تن در سال

| | | | | |
|----------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------|
| Generation: 1 | EightyTon: 148 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6366507060.0976 |
| Generation: 2 | EightyTon: 148 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6366507060.0976 |
| Generation: 3 | EightyTon: 151 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6416212413.1025 |
| Generation: 4 | EightyTon: 151 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6416212413.1025 |
| Generation: 5 | EightyTon: 151 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6416212413.1025 |
| Generation: 6 | EightyTon: 151 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6416212413.1025 |
| Generation: 7 | EightyTon: 151 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6416212413.1025 |
| Generation: 8 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6664739178.1269 |
| Generation: 9 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6664739178.1269 |
| Generation: 10 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 2 | Best Result: 6664739178.1269 |
| Generation: 11 | EightyTon: 160 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6672857478.0727 |
| Generation: 12 | EightyTon: 160 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6672857478.0727 |
| Generation: 13 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 14 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 15 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 16 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 17 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 18 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 19 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 20 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 21 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 22 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 23 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 24 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 25 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 26 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 27 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 28 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 29 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 30 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 31 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |
| Generation: 32 | EightyTon: 166 | SixtyTon: 218 | BerthNumber: 3 | Best Result: 6832646772.0629 |

شکل ۱۰: نتایج پایانه مکانیزه ریلی اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۲۶ میلیون تن در سال



شکل ۱۱: نمودار الگوریتم پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۲۶ میلیون تن در سال

بنابراین، باتوجه به اشکال ۹، ۱۰ و ۱۱، می توان کروموزومها را به ۲ دسته تقسیم کرد:

- کروموزومهایی با سودآوری حدود ۶/۸ میلیارد دلار در بازه بهره برداری پروژه و ۳ پست اسکله.
- کروموزومهایی با سودآوری حدود ۶/۵ میلیارد دلار در بازه بهره برداری پروژه و ۲ پست اسکله.

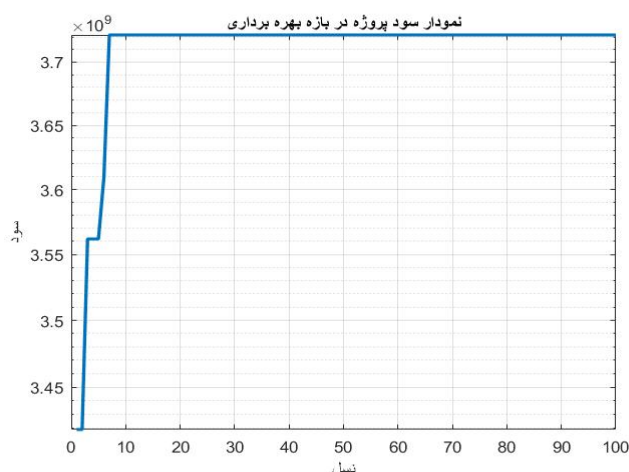
در حالتی دیگر ظرفیت روی عدد پایین تری قرار می گیرد تا بهترین کروموزوم با یک پست اسکله شناسایی گردد. بدین جهت؛ ظرفیت ۱۵ میلیون تن (همان ظرفیت پروژه که توسط مشاور طرح تعیین گردیده است.) به برنامه وارد می شود. باتوجه به شکل ۱۲، ظرفیت ۱۵ میلیون تن با ۲ پست اسکله با بهترین سود تامین می گردد به گونه ای که ۸۳ روز پست اسکله در سال بیکار خواهد بود. در نتیجه؛ باید بهترین کروموزومی با یک پست اسکله وجود داشته باشد. باتوجه به شکل ۱۳، مشاهده می شود در نسل ۲۴ و ۲۵، دو کروموزوم با تعداد کشتی های یکسان وجود دارد با این تفاوت که در نسل ۲۴، ۱ پست اسکله وجود دارد و در نسل ۲۵، ۲ پست اسکله وجود دارد. از نظر سود پروژه در بازه بهره برداری نیز، تفاوت جزئی با یکدیگر دارند؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت کروموزوم ۲۴ بهترین کروموزوم در صورت استفاده از ۱ پست اسکله که ظرفیت آن ۱۵ میلیون تن است. در شکل ۱۴ روند رسیدن به بهترین کروموزوم طی ۱۰۰ نسل با ظرفیت ۱۵ میلیون تن نشان داده شده است.

| Fields | Position | Delay | TotalProfit |
|--------|------------|-------|-------------|
| 1 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 2 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 3 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 4 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 5 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 6 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 7 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 8 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 9 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 10 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 11 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 12 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 13 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 14 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 15 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 16 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |
| 17 | [118,90,2] | -166 | 3.6684e+09 |

شکل ۱۲: نتایج پایانه مکانیزه ریلی اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۵ میلیون تن در سال

| Generation | EightyTon | SixtyTon | BerthNumber | Best Result |
|------------|-----------|----------|-------------|-----------------|
| 1 | 118 | 84 | 2 | 3551061426.0966 |
| 2 | 118 | 84 | 2 | 3551061426.0966 |
| 3 | 118 | 84 | 2 | 3551061426.0966 |
| 4 | 118 | 84 | 1 | 3591124524.0933 |
| 5 | 118 | 84 | 1 | 3591124524.0933 |
| 6 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 7 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 8 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 9 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 10 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 11 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 12 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 13 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 14 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 15 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 16 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 17 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 18 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 19 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 20 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 21 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 22 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 23 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 24 | 118 | 90 | 1 | 3668198328.0998 |
| 25 | 118 | 90 | 2 | 3668387622.0901 |

شکل ۱۳: نتایج پایانه مکانیزه ریلی اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۵ میلیون تن در سال



شکل ۱۴: نمودار الگوریتم پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۵ میلیون تن در سال

بنابراین، باتوجه به اشکال ۱۲، ۱۳ و ۱۴، می‌توان کروموزوم‌ها را به ۲ دسته تقسیم کرد:

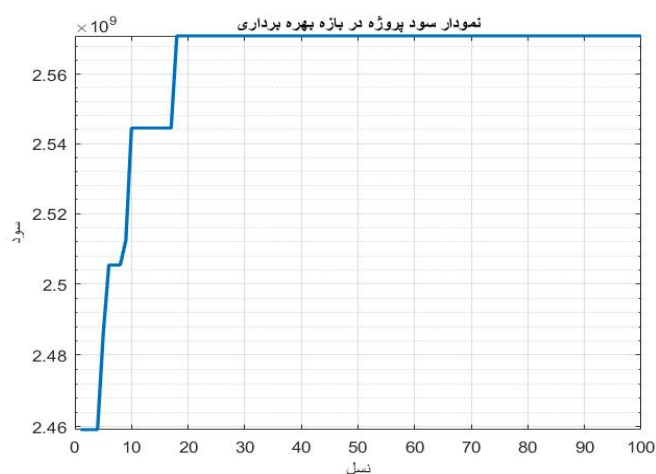
- کروموزوم‌هایی با سود ۳/۶ میلیارد دلار در بازه بهره‌برداری و ۱ پست اسکله.
- کروموزوم‌هایی با سود ۳/۶ میلیارد دلار در بازه بهره‌برداری و ۲ پست اسکله.

ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال نیز به برنامه وارد شده که نتایج آن در اشکال ۱۵ و ۱۶ مشاهده می‌شود. در این حالت استفاده از ۱ پست اسکله بهینه‌ترین حالت ممکن شناسایی شده است و به سود ۲/۶ میلیارد دلار در بازه بهره‌برداری می‌رسد.

در جدول ۳ خلاصه دسته‌بندی‌های انجام شده آورده شده است:

| Fields | Position | Delay | TotalProfit |
|--------|-----------|-------|-------------|
| 1 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 2 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 3 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 4 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 5 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 6 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 7 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 8 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 9 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 10 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 11 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 12 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 13 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 14 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 15 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 16 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |
| 17 | [83,50,1] | -1 | 2.5711e+09 |

شکل ۱۵: نمودار الگوریتم پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال



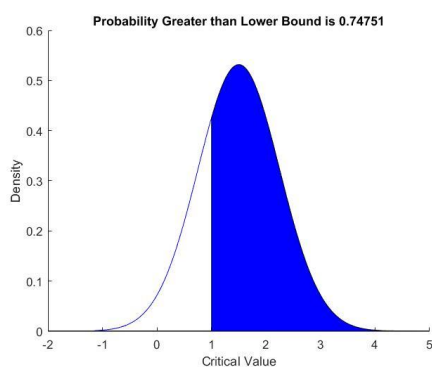
شکل ۱۶: نمودار الگوریتم پایانه مکانیزه اسکله بندر شهید رجایی با ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال

جدول ۳: دسته‌بندی کروموزومها

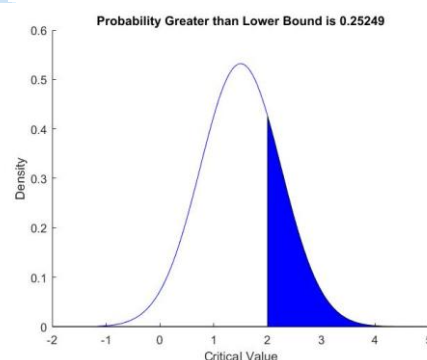
| تأخیر یا بیکاری در سال (روز - پست اسکله) | تعداد پست اسکله | تعداد کشتی ۶۰ هزار تن | تعداد کشتی ۸۰ هزار تن | سود (دلار) | ظرفیت (میلیون تن در سال) |
|---|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| -۶۵ | ۲ | ۱۴۱ | ۹۶ | ۴ میلیارد | ۱۷ |
| -۴۹ | ۲ | ۱۵۰ | ۱۰۱ | ۴/۴ میلیارد | |
| -۳۹ | ۳ | ۲۱۸ | ۱۶۶ | ۶/۸ میلیارد | ۲۶ |
| ۱۱۷ | ۲ | ۲۱۸ | ۱۶۶ | ۶/۵ میلیارد | |
| -۸۳ | ۲ | ۹۰ | ۱۱۸ | ۳/۶ میلیارد | ۱۵ |

| | | | | |
|-----|---|----|-----|-------------|
| ۱۸۴ | ۱ | ۹۰ | ۱۱۸ | ۳/۶ میلیارد |
| -۱ | ۱ | ۵۰ | ۸۳ | ۲/۶ میلیارد |

در صورت استفاده از کشتی‌هایی تا ظرفیت ۶۰ تن، عمق آبخور ۱۴ - متر (نسبت به MSL) و برای شناورهای ۸۰ تن با در نظر گرفتن ۱ متر افزایش ارتفاع آب ناشی از جزر و مد کفایت می‌کند. پس از بررسی داده‌ها و گزارش‌های اسکله شهید رجایی، مشخص گردید که این امکان وجود دارد که در زمان بهره‌برداری، شناورهایی با ظرفیت بیش از ۸۰ تن مورد استفاده قرار گیرند [۱۶]. در این صورت لازم است تردد این شناورها در زمان‌هایی صورت گیرد که عمق آبخور آن‌ها تأمین گردد. در اشکال ۱۷ و ۱۸، احتمال زمانی که سطح آب دریا بین ۱ و ۲ متر بالاتر از میانگین سطح آب‌های آزاد (MSL) باشد، آمده است. برای بررسی جزر و مد، از داده‌های شهر بندرعباس استفاده شده است که تنها ۳۰ کیلومتر با اسکله بندر شهید رجایی فاصله دارد. جهت بررسی احتمال وقوع این پدیده از تابع توزیع نرمال استفاده شده است. با مطالعه داده‌ها، مشخص گردید سطح آب دریا بین ۰.۵ تا ۳.۵ متر بالاتر از MSL قرار دارد [۱۷].



شکل ۱۸: احتمال بالا آمدن سطح آب دریا بیش از ۱ متر



شکل ۱۷: احتمال بالا آمدن سطح آب دریا بیش از ۲ متر

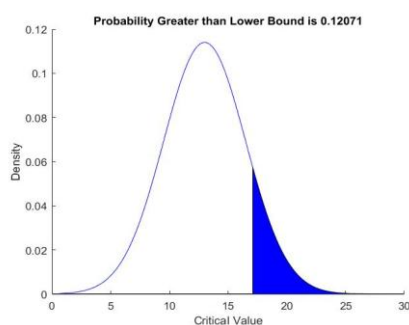
جدول ۴: احتمال تردد شناورهای ۶۰ و ۸۰ هزار تنی

| ظرفیت اسمی (میلیون تن در سال) | ظرفیت واقعی (میلیون تن در سال) | نسبت تعداد کشتی‌های ۶۰ هزار تن به کل | نسبت تعداد کشتی‌های ۸۰ هزار تن به کل | احتمال تردد کشتی ۶۰ هزار تن | احتمال تردد کشتی ۸۰ هزار تن |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ۱۷ | ۱۶/۱ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۵۸۸ | ۰/۳ |
| ۱۷ | ۱۷/۱ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۵۸۸ | ۰/۳ |
| ۲۶ | ۲۶/۳ | ۰/۵۷ | ۰/۴۳ | ۰/۵۵ | ۰/۳۲۲ |
| ۲۶ | ۲۶/۳ | ۰/۵۷ | ۰/۴۳ | ۰/۵۵ | ۰/۳۲۲ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۰/۴۳ | ۰/۵۷ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲۷ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۰/۴۳ | ۰/۵۷ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲۷ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۰/۳۸ | ۰/۶۲ | ۰/۳۷۳ | ۰/۴۶۵ |

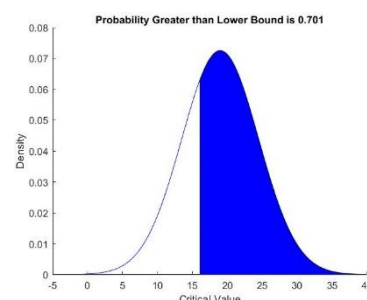
باتوجه به اشکال ۱۷ و ۱۸، احتمال تردد شناورهای ۸۰ و ۶۰ هزار تنی با در نظر گرفتن جزر و مد در جدول ۴ آورده شده است. در عناوین هر دسته، ظرفیت اسمی آمده و ظرفیت واقعی کروموزوم‌های ذیل هر دسته، مبنای محاسبه احتمالات تحریم و ظرفیت عرضه و تقاضای بازار قرار گرفته است. به عنوان نمونه در دسته ۱ (ظرفیت اسمی ۱۷ میلیون تن در سال)، احتمال تحریم و ظرفیت عرضه و تقاضای بازار برای دو

حالت ۱۷/۱ و ۱۶/۱ میلیون تن در سال بررسی شده است. ظرفیت ۱۷ میلیون تن در سال، همان ظرفیتی است که توسط خبرگان به برنامه وارد می‌شود؛ اما ممکن است تحت قیدهای مختلف الگوریتم، یافتن کروموزوم‌هایی بهتر توسط برنامه و... دقیقاً به همان عدد ۱۷ میلیون تن نرسد و به جهت بااهمیت بودن کروموزوم، مورد بررسی قرار گرفته است. ظرفیت واقعی این دسته باتوجه به ژن‌های کروموزوم ذیل آن دسته محاسبه شده که اعداد ۱۷/۱ و ۱۶/۱ میلیون تن در سال هستند. از آنجایی که به دلیل تحریم علیه کشور جمهوری اسلامی ایران؛ امکان دارد ظرفیت آن دسته محقق نشود، لازم است احتمال آن را در نظر گرفت. بدین جهت؛ از تابع توزیع نرمال استفاده می‌شود. بازه ظرفیت این دسته از ۶ تا ۲۰ میلیون فرض شده است؛ بنابراین میانگین تابع توزیع نرمال (μ) عدد ۱۳ و مقدار انحراف از معیار (σ) با فرض 2σ برابر ۳.۵

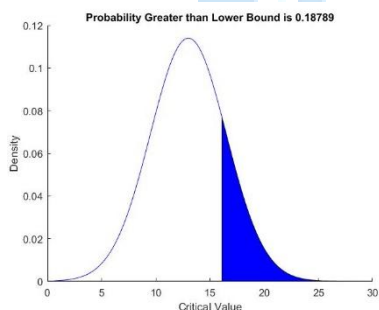
تعیین گردید. برای ظرفیت و تقاضای بازار نیز از تابع توزیع نرمال استفاده شده و بازه ظرفیت این دسته از ۸ تا ۳۰ میلیون در نظر گرفته شده است؛ بنابراین میانگین تابع توزیع نرمال (μ) عدد ۱۹ و مقدار انحراف از معیار (σ) با فرض 2σ برابر ۳.۵ تعیین گردید.



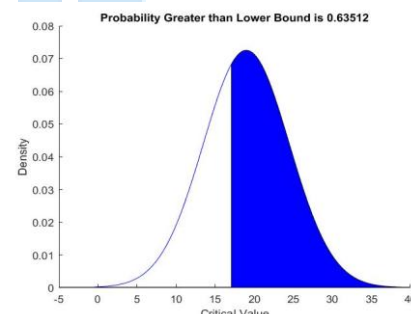
شکل ۲۰: احتمال تحریم با ظرفیت ۱۷/۱ میلیون تن در سال



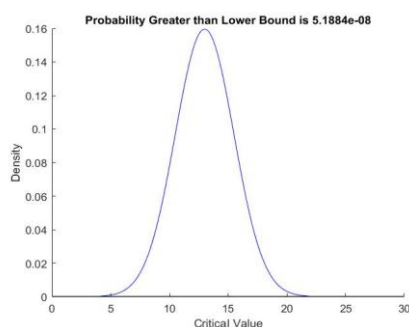
شکل ۱۹: احتمال عرضه و تقاضای بازار با ظرفیت ۱۷/۱ میلیون تن در سال



شکل ۲۲: احتمال تحریم با ظرفیت ۱۶/۱ میلیون تن در سال

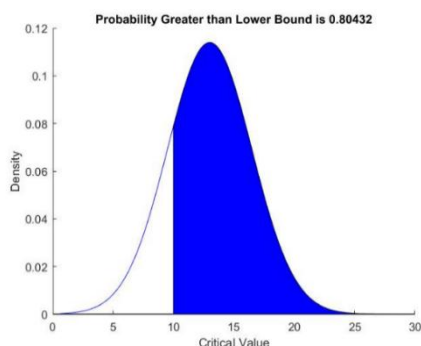


شکل ۲۱: احتمال عرضه و تقاضای بازار با ظرفیت ۱۶/۱ میلیون تن در سال



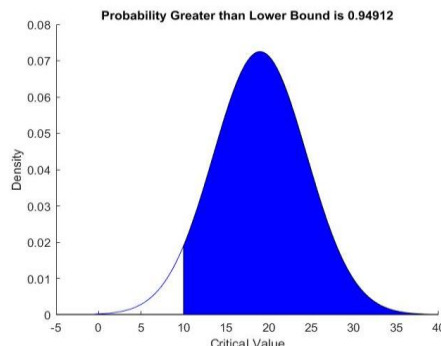
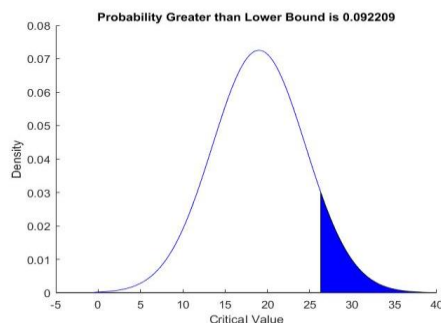
تقاضای
در سال
ظرفیت

۱۵ تا ۱۸۰



شکل ۲۳: احتمال عرضه و
بازار با ظرفیت ۲۶/۳ میلیون تن
شکل ۲۴: احتمال تحریم با

نشریه علمی - پژوهشی مهندسی



شکل ۲۵: احتمال عرضه و تقاضای بازار با ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال

شکل ۲۶: احتمال تحریم با ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال

جهت در نظر گرفتن سود هر دسته، بیشترین سود دسته‌های فوق (دسته ۲ با ظرفیت ۲۶ میلیون تن در سال) به عنوان مبنا و مساوی با ۱ در نظر گرفته می‌شود و سود سایر دسته‌ها به نسبت سود دسته ۲ محاسبه می‌شود. نسبت‌های محاسبه شده در ظرفیت عرضه و تقاضا و همچنین در ظرفیت طرح ضمن تحریم، ضرب می‌شود. نتایج و احتمالات در جدول شماره ۶ ذکر شده است. در شکل ۲۷، درخت رویداد پروژه ترسیم شده است. از آنجایی که در دسته ظرفیت ۲۶ میلیون تن در سال، احتمال ظرفیت در وقوع تحریم، در مقایسه با سایر دسته‌ها به دست آمده، در درخت رویداد ذکر نشده است. بیشترین امتیاز کسب شده با رنگ قرمز نشان داده شده است. در صورتی که طرح بر مبنای ۱۶ میلیون تن در سال اجرا شود و با در نظر گرفتن تحریم‌ها بتوان تا سقف ۱۰ میلیون تن در سال صادرات یا واردات نمود، بهترین حالت ممکن است. کروموزوم مربوط به این طرح، ذیل دسته اول است که باتوجه به شکل ۸ استخراج شده است. این مسیر نشان می‌دهد باتوجه به احتمالات جزر و مد، بهتر است بیشترین کشتی‌ها با ظرفیت ۸۰ هزار تن باشند؛ همچنین دو مسیر سبزرنگ دیگر نیز در شکل ۲۷ مشخص شده است که از نظر امتیاز به مسیر قرمز رنگ، نزدیک هستند. در این دو مسیر نیز به مانند طرح ۱۶ میلیون تن در سال، استفاده از کشتی‌هایی با ظرفیت ۸۰ هزار تن بهتر است و در اثر تحریم، می‌توان به ظرفیت ۱۰ میلیون تن در سال رسید؛ بنابراین باتوجه به جدول ۳، استفاده از ۲ پست اسکله بهینه است.

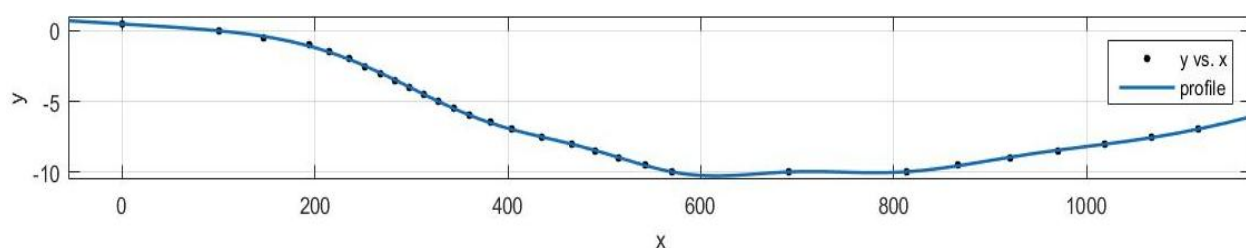
جدول ۵: نتایج و احتمالات ۴ دسته

| ظرفیت اسمی (میلیون تن در سال) | ظرفیت واقعی (میلیون تن در سال) | نسبت سود | احتمال عرضه و تقاضای بازار | احتمال ظرفیت در وقوع تحریم | تعداد پست اسکله | تأخیر یا بیکاری در سال (روز - پست اسکله) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---|
| ۱۷ | ۱۶/۱ | ۰/۵۹ | ۰/۶۴ | ۰/۱۹ | ۲ | -۶۵ |
| | ۱۷/۱ | ۰/۶۵ | ۰/۷ | ۰/۱۲ | ۲ | -۴۹ |
| ۲۶ | ۲۶/۳ | ۱ | ۰/۰۹ | 7.2×10^{-5} | ۳ | -۳۹ |
| | ۲۶/۳ | ۱ | ۰/۰۹ | 7.2×10^{-5} | ۲ | ۱۱۷ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۰/۵۳ | ۰/۷۷ | ۰/۲۸ | ۲ | -۸۳ |
| | ۱۵ | ۰/۵۳ | ۰/۷۷ | ۰/۲۸ | ۱ | ۱۸۴ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۰/۳۸ | ۰/۹۵ | ۰/۸۱ | ۱ | -۱ |

شکل ۲۷: درخت رویداد پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد فله معدنی اسکله بندر شهید رجایی

جهت جانمایی ۲ پست اسکله مذکور، لازم است از تابع بستر دریا استفاده شود. باتوجه به شکل ۶، نقطه O به عنوان مبدأ انتخاب و مختصات طولی و عرضی (X,Y) از روی بستر قرائت می‌شود. با استفاده از شبکه عصبی، بهترین تابع ممکن با مجموع مربعات خطا (SSE^{۳۵}) برابر با 0/79 و ضریب تصمیم‌گیری (R-Square^{۳۶}) برابر با 0/999 یافت شد. رابطه (۳)، تابع بستر دریا را نشان

می‌دهد.



شکل ۲۸: نمودار بستر دریا

$$\begin{aligned}
 y = & -0/638 \times \exp(-((x-164/5) \div 14/41)^2) - 2/783 \times \exp(-((x-318/7) \div 118/2)^2) \\
 & - 5/831 \times \exp(-((x-318/7) \div 118/2)^2) - 3/085 \times \exp(-((x-545/5) \div 73/43)^2) \\
 & - 3/859 \times \exp(-((x-629/9) \div 65/6)^2) - 7/508 \times \exp(-((x-746/7) \div 177)^2) \\
 & - 0/4455 \times \exp(-((x-952/9) \div 79/79)^2) - 7/194 \times \exp(-((x-952/9) \div 283/4)^2)
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

فاصله مبدأ تا کانال کشتی اسکله بندر شهید رجایی حدود ۱۱۰۰ متر است. بنابراین اسکله باید در جایی قرار داده شود تا کمترین هزینه به پروژه تحمیل شود. در جدول ۶، فرضیات و عوامل تأثیرگذار در جانمایی اسکله آمده است:

| جدول ۶: عوامل | تأثیرگذار و فرضیات در پایانه مکانیزه ریلی رجایی | |
|-----------------|---|------------------------------|
| جانمایی اسکله | عوامل تأثیرگذار | فرضیات |
| اسکله بندر شهید | دایک | شیب دایک |
| | | عرض دایک |
| | | تراز تاج دایک |
| | لا پروبی | شیب کانال لا پروبی |
| | | ۱:۱۱ |
| | | ۲۰ |
| | | ۵/۵ متر (MSL ^{۳۷}) |
| | | ۱:۱/۵ |

^{۳۵} Sum of Squared Error

^{۳۶} Coefficient of determination

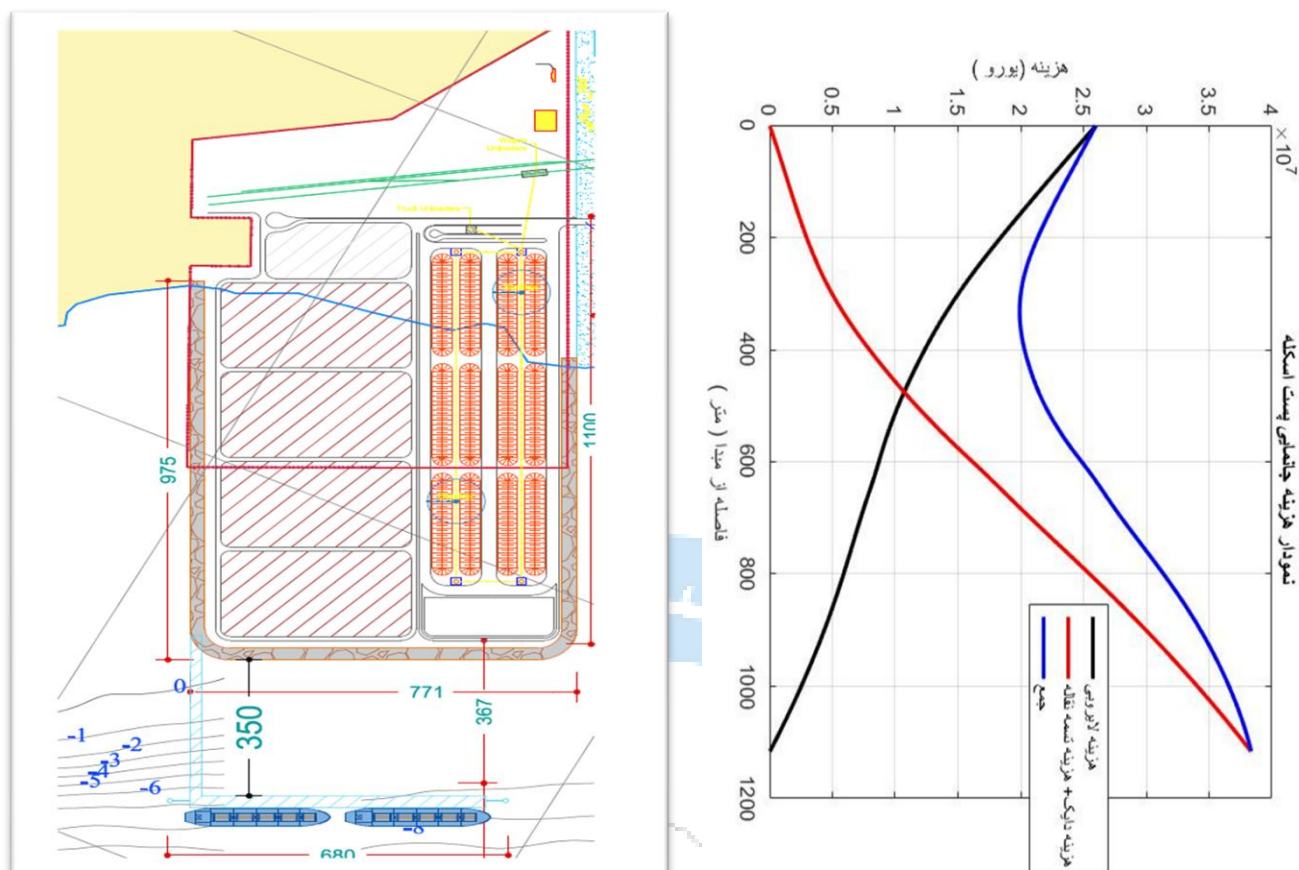
^{۳۷} Mean Sea Level_ آزاد_سطح آب‌های

| | |
|-----------------------|---------------|
| عرض کانال لایروبی | ۲۰۰ متر |
| تراز کف کانال لایروبی | ۱۴- متر (MSL) |
| تسمه نقاله | - |
| طول تسمه نقاله | - |

شکل ۲۹ قسمت الف، هزینه‌های دو حالت را نشان می‌دهد:

- در صورتی که از مبدأ (نقطه O) به سوی کانال کشتیرانی (که در فاصله حدود ۱۱۰۰ متر از مبدا واقع شده است) مقطع زده شود، احجام و هزینه دایک محاسبه می‌شود. از سویی دیگر؛ با پیشروی در دریا به طول بیش تری از تسمه نقاله نیاز است که این طول، متناسب است با فاصله از مبدأ O. بنابراین این دو عامل همسو با یکدیگر هستند (نمودار قرمز)
 - بر خلاف حالت قبل که برای دایک از ابتدا مقطع زده شد، برای لایروبی از انتها (حدوداً فاصله ۱۱۰۰ متر از مبدأ) مقطع زده می‌شود و به سمت مبدأ (نقطه O) ادامه می‌یابد (نمودار مشکی).
- اگر دو حالت فوق با یکدیگر جمع شوند، هزینه جانمایی اسکله در هر نقطه به دست می‌آید و در فاصله ۳۵۰ متر از نقطه O مشاهده می‌شود که هزینه در حداقل مقدار قرار دارد (نمودار آبی). بنابراین با توجه به شکل ۲۹ قسمت ب، این نقطه بهترین مکان برای احداث ۲ پست اسکله است





ب. محل ساخت اسکله

الف. نمودار هزینه جانمایی

شکل ۲۹: نمودار هزینه جانمایی و محل ساخت اسکله‌های پروژه پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد فله معدنی بندر شهید رجایی

۵- جمع بندی

- ۱- این پژوهش، به صورت موردی روی احداث پایانه مکانیزه ریلی مواد فله معدنی بندر شهید رجایی انجام گرفته است. در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک با استفاده از زمان انتظار کشتی‌ها، بهینه‌ترین تعداد اسکله‌ها و بهترین حالت برای تعداد کشتی‌های ۸۰ و ۶۰ هزار تن را شناسایی کرد.
- ۲- اعداد به دست آمده از کروموزوم‌ها به معنای بهترین بودن نیست. با مطالعه اسناد و اطلاعات پروژه مشخص گردید جزو و مد، ظرفیت بازار و تحریم نقش بسزایی دارند؛ لذا با در نظر گرفتن احتمالات هر یک از عوامل فوق‌الذکر، کروموزوم‌ها به ۴ دسته از نظر تعداد پست اسکله، سود پروژه و ظرفیت هر پست اسکله تقسیم‌بندی شدند و در نهایت؛ درخت رویداد این پروژه ترسیم شد. با ترسیم درخت رویداد مشخص گردید که طرح ۱۶ میلیون تن در سال با احتساب ۲ پست اسکله و با فرض محدودیت در صادرات و واردات مواد فله معدنی به دلیل تحریم‌ها تا ۱۰ میلیون تن در سال، بیش‌ترین امتیاز را کسب کرده است.
- ۳- جهت بهینه‌سازی جانمایی ۲ پست اسکله طرح ۱۶ میلیون تن در سال، با استفاده از شبکه عصبی، تابعی برای بستر دریا یافت شد (با مجذور مربعات خطا ۰/۷۹ و ضریب تصمیم‌گیری ۰/۹۹۹). با استفاده از تابع مذکور و با در نظر گرفتن هزینه‌های سه عامل

لاپروبی، دایک و تسمه‌نقاله، مشخص گردید در فاصله ۳۵۰ متر از انتهای زمین، بهترین نقطه مناسب جهت احداث پست اسکله است.

۶- پیشنهادها

موارد زیر در راستای ادامه فرآیند این تحقیق پیشنهاد می‌شود:

- ۱- برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود که حوزه YAP بیشتر مورد بررسی قرار گیرد تا باتوجه به ذخایر انبار موجود و دستگاه‌هایی همچون واگن برگردان^{۳۸}، استاکر^{۳۹}، ریکلایمر^{۴۰}، تعداد بهینه واگن‌ها^{۴۱} و کامیون‌های مورد نیاز محاسبه شوند تا مشاورین این پروژه بتوانند برآورد دقیق‌تری داشته باشند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که جهت نیل به اهداف فوق؛ از برنامه‌ریزی خطی و شبیه‌سازی گسسته^{۴۲}، استفاده گردد.
- ۲- در پژوهش حاضر فرض شده است که امکان استفاده از اسکله‌های فاز ۳ بندر شهید رجایی فراهم نیست؛ بنابراین این حالت می‌تواند جزو پژوهش‌های آتی مورد تحلیل قرار گیرد.
- ۳- تأثیر نقش تحریم در پروژه حاضر، نیاز به دسترسی اطلاعات طبقه‌بندی شده است که برای پژوهش حاضر امکان‌پذیر نبوده است؛ لذا جهت اجرای مطالعات بازار و نقش تحریم در آن، نیاز به پژوهش‌های گسترده‌تری است.

تشکر و قدردانی

در پایان از حمایت‌های مالی و معنوی مدیریت محترم و پرسنل شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا (هیمکو) که در به ثمر رساندن این پژوهش همکاری فراوانی داشتند، کمال سپاس را دارم.

مراجع

- [۱] Robenek, T., Umang, N., Bierlaire, M., & Ropke, S. (2014). A branch-and-price algorithm to solve the integrated berth allocation and yard assignment problem in bulk ports. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 399-411
- [۲] Notteboom, T. (2011). An application of multi-criteria analysis to the location of a container hub port in South Africa. *Maritime policy & management*, 38(1), 51-79
- [۳] Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J., & Lusby, R. (2011). Models for the discrete berth allocation problem: A computational comparison. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 461-473
- [۴] Umang, N., Bierlaire, M., & Vacca, I. (2013). Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 54, 14-31
- [۵] Imai, A., Nagaiwa, K. I., & Tat, C. W. (1997). Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced transportation*, 31(1), 75-94
- [۶] Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2001). The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(4), 401-417

³⁸ Mean Sea Level

میان سطح آب ای آزاد

- [۷] Monaco, M. F., & Sammarra, M. (2007). The berth allocation problem: a strong formulation solved by a Lagrangean approach. *Transportation Science*, 41(2), 265-280
- [۸] Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J., & Lusby, R. (2011). Models for the discrete berth allocation problem: A computational comparison. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 461-473
- [۹] Nishimura, E., Imai, A., & Papadimitriou, S. (2001). Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 131(2), 282-292
- [۱۰] Tsai, A. H., Lee, C. N., Wu, J. S., & Chang, F. S. (2015). A novel berth-based genetic algorithm for berth allocation planning. In *Proceedings of the ASE BigData & SocialInformatics 2015* (pp. 1-9)
- [۱۱] Seyedalizadeh Ganji, S. R., Babazadeh, A., & Arabshahi, N. (2010). Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using a genetic algorithm. *Journal of marine science and technology*, 15, 408-416
- [۱۲] Yan, S., Lu, C. C., Hsieh, J. H., & Lin, H. C. (2015). A network flow model for the dynamic and flexible berth allocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 81, 65-77
- [۱۳] Imai, A., Chen, H. C., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2008). The simultaneous berth and quay crane allocation problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(5), 900-920
- [۱۴] Lalla-Ruiz, E., González-Velarde, J. L., Melián-Batista, B., & Moreno-Vega, J. M. (2014). Biased random key genetic algorithm for the tactical berth allocation problem. *Applied Soft Computing*, 22, 60-76
- [۱۵] Giallombardo, G., Moccia, L., Salani, M., & Vacca, I. (2010). Modeling and solving the tactical berth allocation problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(2), 232-245
- [۱۶] Shahidrajaeport, <https://shahidrajaeport.pmo.ir/fa/specialpage/homepage>.
- [۱۷] Tide-forecast, 2024, <https://www.tide-forecast.com/locations/Bandar-Abbas-Iran/tides/latest>.