



## زمانبندی بهینه جرثقیل های اسکله با استفاده از الگوریتم ژنتیک

سیدمحمد سیدحسینی<sup>۱</sup>، نادر عربشاهی<sup>۲</sup>، سیدرضا سیدعلیزاده گنجی<sup>۳</sup>

۱- استاد گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استادیار گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران  
ralizadeh\_95@yahoo.co.uk

### خلاصه

در این مقاله سعی شده است تا مسئله زمانبندی جرثقیل های اسکله در قالب یک مدل برنامه ریزی خطی عددصحيح مختلط مورد بررسی قرار گیرد. اما از آنجایی که برای حل مسائل بزرگ برنامه ریزی خطی با متغیرهای صحیح، روش های بهینه سازی از جمله روش شاخه و کرانه کارایی خود را ازدست خواهند داد، در این مقاله روش حلی بر اساس الگوریتم ژنتیک برای مساله پیشنهاد و جوابهای بدست آمده از روش پیشنهادی با جوابهای حاصل از روش شاخه و کرانه مقایسه می شوند. به منظور اجرای الگوریتم شاخه و کرانه از نرم افزار Lingo استفاده شده است.

کلمات کلیدی: حمل و نقل کانتینری، زمانبندی جرثقیل های اسکله، مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

مهمترین هدف برای یک ترمینال کانتینری افزایش راندمان آن و یا در حالت خاص کاهش زمان توقف کشتی ها می باشد. زمان توقف یک کشتی وابسته به تخصیص و زمانبندی مناسب هر کدام از منابع از منابع از جمله پهلوگیرها، محوطه انبار، جرثقیل های اسکله و محوطه و کامیون ها می باشد. بنابراین یکی از مؤثرترین راهها در افزایش راندمان بنادر کانتینری برنامه ریزی و زمانبندی مناسب برای هرکدام از منابع موجود در ترمینال می باشد. بدین منظور در ترمینال های کانتینری شاخص های کارایی مختلفی تعریف می شود که به یکدیگر وابسته می باشند. برخی از این شاخص ها که به منظور اندازه گیری بازده هر نوع از منابع موجود در ترمینال مورد بررسی قرار می گیرند به عنوان اهداف موجود در ترمینال مطرح می شوند. دو هدف از عمومی ترین اهداف ترمینال های کانتینری در هنگ کنگ عبارتند از کمینه کردن میانگین زمان پهلوگیری کشتی ها و بیشینه کردن میانگین توان عملیاتی جرثقیل های اسکله [۱]. لذا در این راستا این مقاله سعی دارد تا پس از بررسی مدل زمانبندی ارائه شده توسط لی و همکاران [۲]، مسئله را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دهد.

### ادبیات تحقیق

پژوهش های اندکی در مورد مسائل زمانبندی جرثقیل های اسکله در ترمینال های کانتینری مطرح شده است که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. اولین مطالعه انجام شده در این زمینه متعلق به داگانزو [۳] می باشد که مسئله زمانبندی جرثقیل های اسکله را برای کشتی های کانتینری چندگانه<sup>۱</sup> در حالت های استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار داد. در این مسائل فرض شده است که کشتی های کانتینربر تقسیم شده به چند انبار می باشند و فقط یک جرثقیل اسکله می تواند در هر زمان بر روی یک انبار مشغول به کار باشد. از فرضیات دیگر مطرح شده در این پژوهش می توان به حرکت سریع جرثقیل های اسکله از یک انبار به انبار دیگر در کشتی اشاره کرد. تابع هدف مطرح شده در این تحقیق، کمینه سازی هزینه های ناشی از تأخیر در بنادر بوده است. روش های تقریبی و دقیق برای حل این مسائل نیز ارائه شده است. پترکوفسکی و داگانزو [۴] نیز روش حلی مبتنی بر الگوریتم شاخه و کرانه<sup>۲</sup> برای حل مسئله زمانبندی جرثقیل اسکله ارائه دادند. نکته قابل توجه در پژوهش های [۳] و [۴] اینست که در هیچکدام از این مطالعات تداخل حرکتی میان جرثقیل های اسکله که بر روی یک ریل حرکت می کنند، مورد بررسی قرار نگرفته است. به عبارت دیگر جرثقیل ها می توانستند از روی یکدیگر عبور کنند که این امر خلاف آن چیزی است که در واقعیت وجود دارد.

1- Multiple container vesseles

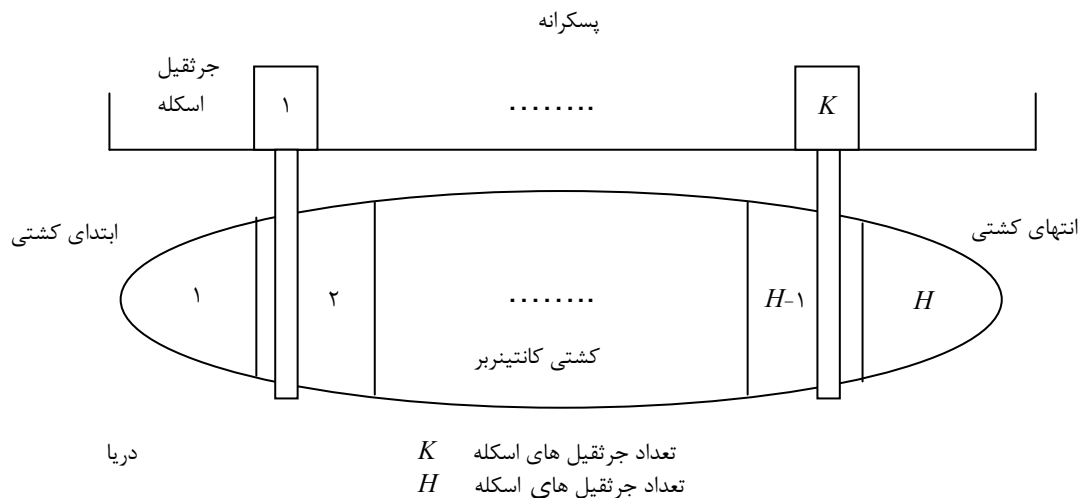
2- Branch and Bound



در سال ۲۰۰۴ تحقیقات زیادی در زمینه زمانبندی جرثقیل های اسکله انجام شده است که از جمله آن ها می توان به پژوهش های انجام شده توسط لیم و همکاران ، کیم و همکاران و کیم و پارک اشاره کرد [۵ و ۶ و ۷]. بر اساس مطالعات انجام شده توسط لیم و همکاران [۵] مسئله زمانبندی جرثقیل های اسکله در حالت استاتیکی برای کشتی های چندگانه کانتینربر و با در نظر گرفتن محدودیت عدم تداخل جرثقیل های اسکله فرموله شد. در این پژوهش فرض شده است که کانتینرها در مناطق مشخصی بر روی کشتی قرار می گیرند که به آن ها کار اطلاق می شود. همچنین در این مطالعه فرض شده است که یک واحد میزان سود برای حالتی که یک کار به یک جرثقیل اسکله اختصاص داده می شود، وجود داشته باشد. هدف از مدل فرموله شده در این پژوهش بدست آوردن بیشینه مقدار سود برای اختصاص مناسب کارها به کشتی ها بوده است. الگوریتم برنامه ریزی پویا<sup>۱</sup>، روش احتمالی جستجوی مبتنی بر منع<sup>۲</sup> و یک روش بهینه سازی ابتکاری برای حل این مسئله ارائه شده است. با توجه به اینکه تعیین مقدار سود (پارامتر ارزشی) برای اختصاص یک جرثقیل اسکله به یک کار بسیار مشکل می باشد، بنابراین این پژوهش نمی تواند به سادگی در بنادر کانتینری مورد استفاده قرار گیرد. تحقیق دیگری که در سال ۲۰۰۴ انجام شد متعلق به کیم و همکاران [۶] می باشد. این افراد مسئله ترتیب بارگیری کانتینرهای خروجی در ترمینال های کانتینری را به منظور برآورد ترتیب عملیات برداشت کانتینر توسط جرثقیل های موجود در محوطه و ترتیب بارگیری کانتینرها در ردیف های موجود در انبار کشتیها توسط جرثقیل های اسکله را به طور همزمان مورد مطالعه قرار دادند. در تحقیق کیم و پارک [۷]، مسئله زمانبندی جرثقیل های اسکله در قالب یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط<sup>۳</sup> و با در نظر گرفتن محدودیت عدم تداخل جرثقیل های اسکله بر روی یک کشتی، مورد بررسی قرار گرفت. به منظور حل مدل مذکور از روش شاخه و کرانه به همراه یک الگوریتم ابتکاری استفاده شده است. کمینه سازی مجموع متغیرهای تصمیم گیری وزن داده شده ماکزیمم زمان اتمام کار بر روی کشتی و مجموع زمان های اتمام کار برای تمام جرثقیل های اسکله به عنوان تابع هدف در این مدل مطرح شده است. از نکات حائز اهمیت دیگر در این پژوهش می توان به رابطه میان خواسته ها (حق تقدم در برداشت و یا تخلیه کانتینرها از انبار کشتی) اشاره کرد که در هیچکدام از تحقیقات پیشین مورد مطالعه قرار نگرفته است.

### تعریف مسئله

همان طور که در شکل (۱) می توان مشاهده کرد، کشتی های کانتینربر به چند انبار تقسیم می شوند که این انبارها دارای درب هایی بر روی عرشه می باشند. عمق این انبارها معمولاً برابر با تعداد ۸ کانتینر بوده و ظرفیت عرشه کشتی نیز تا ارتفاع ۶ کانتینراست. همچنین ترتیب شماره گذاری انبارهای موجود در کشتی نیز از قسمت جلویی کشتی به سمت انتهایی آن افزایش می یابد.



شکل ۱ - مسئله زمانبندی جرثقیل اسکله با محدودیت عدم تداخل حرکتی جرثقیل ها [۲]

### فرضیات مسئله

۱. برای آسان تر شدن هر مدلی وجود یک سری فرضیات الزامی است. فرضیات به کار رفته در این مدل را می توان به صورت زیر بیان کرد:
  ۱. جرثقیل های اسکله بر روی یک ریل حرکت می کنند ، بنابراین نمی توانند از روی یکدیگر عبور نمایند.
  ۲. فقط یک جرثقیل اسکله می تواند در هر زمان بر روی یک انبار کشتی مشغول کار باشد.

- 1- Dynamic programming algorithm
- 2- Probabilistic tabu search
- 3- Mixed-integer linear program



۳. در مقایسه با زمان پردازش انبارهای کشتی، زمان سفر یک جرثقیل اسکله میان دو انبار کشتی بسیار کوچک می باشد که به همین دلیل این زمان برابر با صفر در نظر گرفته می شود.

### مدل ریاضی مسئله

پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری بکار رفته در مدل زمانبندی بهینه جرثقیل های اسکله در قالب یک مدل برنامه ریزی خطی صفر و یک به صورت زیر تعریف می شوند :

$K$	تعداد جرثقیل های اسکله
$H$	تعداد انبارهای موجود در کشتی
$P_h$	زمان پردازش انبار $h$ توسط یک جرثقیل اسکله ( $1 \leq h \leq H$ )
$M$	یک عدد ثابت بزرگ
$X_{h,k}$	اگر انبار $h$ توسط جرثقیل $k$ مورد پردازش قرار گیرد برابر ۱ و در غیر اینصورت برابر ۰ در نظر گرفته می شود. ( $1 \leq h \leq H, 1 \leq k \leq K$ )
$Y_{h,h'}$	اگر انبار $h$ قبل از انبار $h'$ مورد پردازش قرار گیرد برابر ۱ و در غیر اینصورت برابر ۰ در نظر گرفته می شود. ( $1 \leq h, h' \leq H$ )
$C_h$	زمان اتمام پردازش عملیات موجود در انبار $h$ . ( $1 \leq h \leq H$ )

که  $X_{h,k}$ ،  $Y_{h,h'}$  و  $C_h$  متغیرهای تصمیم گیری در مدل می باشند. بر این اساس مدل ریاضی مسئله به صورت زیر فرموله می شود :

$$\text{Minimize } Z = \max_h C_h \quad (1)$$

Subject to

$$C_h - P_h \geq 0 \quad \forall 1 \leq h \leq H \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{h,k} = 1 \quad \forall 1 \leq h \leq H \quad (3)$$

$$C_h - (C_{h'} - P_{h'}) + Y_{hh'} M > 0 \quad \forall 1 \leq h, h' \leq H \quad (4)$$

$$C_h - (C_{h'} - P_{h'}) - (1 - Y_{hh'}) M \leq 0 \quad \forall 1 \leq h, h' \leq H \quad (5)$$

$$M(Y_{h,h'} + Y_{h',h}) \geq \sum_{k=1}^K k X_{h,k} - \sum_{l=1}^K l X_{h',l} + 1 \quad \forall 1 \leq h, h' \leq H \quad (6)$$

$$X_{h,k} \geq Y_{h,h'} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall 1 \leq h, h' \leq H \quad \forall 1 \leq k \leq K \quad (7)$$

تابع هدف (۱) ، زمان اتمام پردازش آخرین انبار در میان تمام انبارها را مینیمم می سازد. تعریف ویژگی متغیر تصمیم گیری  $C_h$  نیز در محدودیت (۲) بیان شده است. محدودیت (۳) مطمئن می سازد که هر انبار بایستی فقط و فقط توسط یک جرثقیل اسکله مورد پردازش قرار گیرد. محدودیت های (۴) و (۵) نیز به تعریف ویژگی های متغیرهای تصمیم گیری  $Y_{h,h'}$  می پردازند. محدودیت (۴) نشان می دهد که اگر رابطه  $C_h > C_{h'} - p_{h'}$  برقرار باشد،  $Y_{h,h'} = 1$  خواهد بود یعنی اینکه اگر مقدار  $Y_{h,h'} = 1$  باشد، نشان دهنده این مطلب است که انبار  $h$  زودتر از انبار  $h'$  مورد پردازش قرار می گیرد. عکس این قضیه را می توان در محدودیت (۵) مشاهده کرد به این صورت که اگر رابطه  $C_h > C_{h'} - p_{h'}$  برقرار باشد ،  $Y_{h,h'} = 0$  خواهد بود. در انتها نیز محدودیت عدم تداخل حرکتی میان جرثقیل های اسکله را می توان در محدودیت (۶) مشاهده کرد. همچنین فرض شده است که دو انبار  $h$  و  $h'$  به صورت همزمان طوری مورد پردازش قرار می گیرند که  $h < h'$  باشد. بر این اساس رابطه  $Y_{h,h'} + Y_{h',h} = 0$  وجود خواهد داشت. نکته قابل توجه در این قسمت اینست که با توجه به اینکه شماره گذاری انبارها به ترتیب به سمت انتهای کشتی افزایش پیدا می کند، اگر جرثقیل اسکله  $k$  انبار  $h$  و جرثقیل  $l$  انبار  $h'$  را مورد پردازش قرار دهند، آنگاه  $1 \leq l \leq k$  خواهد بود.

### روش حل

برای حل مسائل خطی صحیح روشهای مختلفی از جمله روش شاخه و کرانه وجود دارند، ولی این روشها برای مسایل با ابعاد بزرگ کارایی خود را از دست می دهند. به این دلیل، اخیراً تمرکز بیشتری بر روی استفاده از الگوریتمهای جستجو برای حل این نوع مسایل به وجود آمده است. الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جستجوی پیشرفته است که با ایده گرفتن از قاعده تکثیر جمعیت اصلاح داروینی، و بر اساس فرآیند طبیعی ژنتیکی، جمعیتی



شامل جوابهای نسل فعلی را به جمعیتی شامل جوابهای بهتر تبدیل می کند. در این روش، هر جواب یک کروموزوم نامیده می شود. هر کروموزوم به صورت رشته ای از ژنها تعریف می شود، و هر ژن اغلب یک عدد صفر یا یک و یا صحیح است. به علاوه، هر بار تولید جمعیت نسل بعدی از جمعیت فعلی یک تکرار الگوریتم نامیده می شود. تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مقاله ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

### تعریف کروموزوم

در این مقاله، موقعیت قرار گیری هر جرثقیل اسکله بر اساس شماره انبار مورد بررسی، سنجیده می شود، به عنوان مثال جرثقیل موجود بر روی انبار شماره (۱)، جرثقیل (۱) نامیده می شود. موقعیت اولیه جرثقیل ها نیز به صورت تصادفی و به گونه ای انتخاب می شود که هر جرثقیل فقط به یک انبار اختصاص یابد.

همان طور که در شکل (۲) نیز می توان مشاهده کرد، تعداد ژن های موجود در کروموزومها وابسته به تعداد انبارهای موجود در مسئله می باشد. به عبارت دیگر، کروموزوم ها در این روش حل به صورت ترتیبی از اعداد صحیح غیر تکراری (از صفر تا شماره انبار انتهایی) انتخاب می شوند.

شماره انبار = مقدار عددی ژن

کروموزوم	۱	۱۰	۹	۲	۳	۸	۶	۴	۷
شماره ژن ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

شکل ۲- چگونگی تعریف کروموزوم

روند آنالیز ژنها در کروموزوم ها به صورت زیر صورت می پذیرد:

- اگر جرثقیل  $k$  در موقعیت انبار انتخابی (سمت چپ ترین ژن) - در شکل (۲) اولین انبار انتخابی، انبار شماره ۴ می باشد - قرار داشته باشد، انبار مورد نظر به جرثقیل  $k$  اختصاص داده می شود در غیر این صورت پس از تعیین جفت جرثقیل هایی که می توانند با در نظر گرفتن محدودیت (۶)، انبار مورد نظر را مورد پردازش قرار دهند، به گام ۲ می رویم.
- پس از مقایسه زمان های اتمام کار جفت جرثقیل های موجود، انبار مورد نظر به جرثقیلی اختصاص می یابد که زودتر در دسترس قرار گیرد. اما در صورتی که زمان دسترسی به جرثقیل ها نیز یکی باشد به گام ۳ می رویم.
- مسافت میان انبار مورد نظر نسبت به موقعیت انبارهایی که جفت جرثقیل ها در آن ها قرار دارند، مورد مقایسه قرار می گیرد. انبار حاضر به جرثقیل با موقعیت نزدیک تر به این انبار اختصاص داده خواهد شد. در صورتی که جفت جرثقیل ها دارای فاصله مساوی نسبت به انبار مورد نظر باشند، جرثقیل در موقعیتی با شماره انبار کمتر انتخاب خواهد شد.
- پس از اختصاص انبار، ژن مورد نظر از کروموزوم حذف شده و زمان اتمام پردازش عملیات  $C_h$  و نیز موقعیت جرثقیل های اسکله  $p_h$  بهنگام سازی می شود.
- کروموزوم بعدی از سمت چپ انتخاب و مراحل ۱ تا ۴ تکرار می شود تا زمانی که تمام ژن های موجود در کروموزوم مورد بررسی قرار گیرند.
- پس از اختصاص انبار، ژن مورد نظر از کروموزوم حذف شده و زمان اتمام پردازش عملیات  $C_h$  و نیز موقعیت جرثقیل های اسکله  $p_h$  بهنگام سازی می شود.

### تابع ارزیابی

پس از تولید جواب های تصادفی، این جواب ها بر اساس رابطه (۸) مورد ارزیابی قرار می گیرند، به این ترتیب که الویت بندی کروموزوم ها بر اساس کاهش تابع هدف و بالتبع افزایش مقدار عددی تابع ارزیابی می باشد.

$$Fitness = \frac{1}{Z} \quad (8)$$

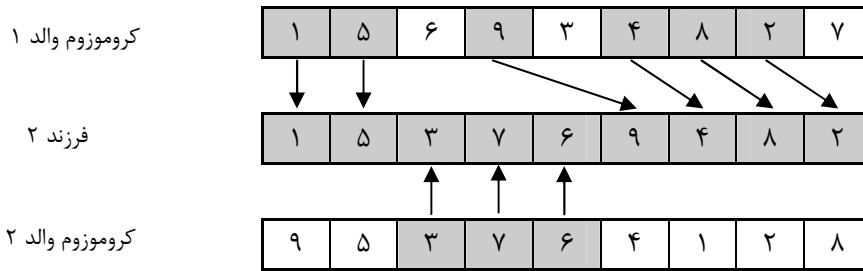
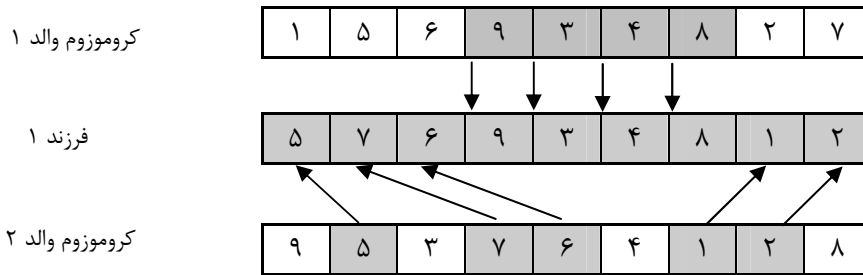
که در آن  $Z$  تابع هدف مسئله می باشد.

### عملگر ترکیب

عملگر ترکیب یکی از عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک برای تولید جوابهای نسل بعد از روی جوابهای نسل فعلی است. در هر بار اعمال این عملگر، یک جفت از کروموزومهای نسل فعلی (والد ۱ و ۲) به طور تصادفی انتخاب، و با ترکیب تصادفی آنها یک جفت کروموزوم جدید (فرزندان ۱ و ۲)



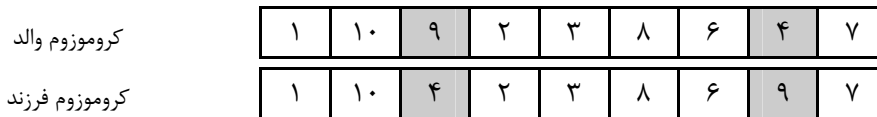
تولید میشود. نحوه ترکیب کروموزومهای والد ۱ و ۲ در روش حل این مقاله بدین صورت است که با تولید دو عدد تصادفی در بازه  $[1, D]$ ، که  $D$  معرف تعداد ژن های موجود در کروموزوم می باشد، به عنوان دو نقطه برش در طول یکی از دو کروموزوم انتخابی، ژنهای متناظری که در بین این دو نقطه برش قرار دارند (ژنهای میانی) در ژن متناظر آن در کروموزوم فرزند ۱ قرار می گیرند. آنگاه به منظور تکمیل مابقی ژن های موجود در کروموزوم فرزند ۱، اعداد موجود در ژن های کروموزوم والد ۲، به ترتیبی که در کروموزوم فرزند ۱ تکرار نشده باشند در ژن های کروموزوم فرزند ۱ از سمت چپ قرار می گیرند. مراحل فوق الذکر عینا برای تولید فرزند ۲ نیز اعمال خواهد شد، با این تفاوت که این بار نقاط برش در کروموزوم والد ۲ انتخاب شده و در ژن های متناظر کروموزوم فرزند ۲ قرار می گیرند. از ژن های موجود در کروموزوم والد ۲ نیز به منظور تکمیل ژن های باقیمانده دیگر در کروموزوم فرزند ۲ استفاده می شود. چگونگی اعمال عملگر ترکیب در این روش پیشنهادی را می توان در شکل (۳) مشاهده کرد.



شکل ۳- چگونگی اعمال عملگر ترکیب بر روی کروموزوم ها

### عملگر جهش

عملگر جهش یکی دیگر از عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک برای تولید جوابهای نسل بعدی است. نحوه جهش هر ژن در روش حل این مقاله بدین صورت است که در هر بار اعمال این عملگر، دو تا از ژنهای موجود در جمعیت کروموزومهای نسل فعلی به طور تصادفی انتخاب، و با تعویض اعداد موجود در ژن ها (جهش) یک کروموزوم جدید تولید می شود. نکته قابل توجه اینست که با این کار می توان از احتمال وجود اعداد تکراری در کروموزوم جلوگیری کرد. چگونگی اعمال عملگر جهش در این روش پیشنهادی را می توان در شکل (۴) مشاهده کرد. اعمال عملگر جهش بر روی ۹٪ جمعیت نسل فعلی بوده است.



شکل ۴- چگونگی اعمال عملگر جهش بر روی کروموزوم ها

### انتخاب جمعیت نسل بعد

پس از تولید کروموزوم های جدید توسط دو عملگر ترکیب و جهش، این کروموزوم ها به همراه کروموزومهای جمعیت نسل قبل به ترتیب کاهش تابع ارزیابی لیست می شوند. به این ترتیب کروموزوم های برتر در بالای لیست قرار می گیرند. آنگاه جمعیتی به اندازه جمعیت اولیه، یعنی ۷۰ کروموزوم، از کروموزوم های برتر به عنوان جمعیت نسل بعدی انتخاب می شوند.

**مثال عددی**

با توجه به اینکه نرم افزار Lingo\_ که مجری الگوریتم شاخه و کرانه است\_ قادر به حل مسائل بزرگتر از ابعاد ۷ انبار با ۲ جرثقیل اسکله نمی باشد، لذا برای مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش، از مسائل با ابعاد  $6 \times 2$ ،  $6 \times 3$  و  $7 \times 2$  استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای کد نویسی مدل فوق الذکر از زبان برنامه نویسی MATLAB 7.0 استفاده شده است. ورودی مدل زمانبندی را که شامل زمان پردازش انبارها می باشد را می توان در جدول (۱) مشاهده کرد. برای مقایسه قابلیت های الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و نرم افزار Lingo در حل مسائل زمانبندی می توان به جدول (۲) مراجعه کرد.

جدول ۱- زمان پردازش انبارها بر حسب دقیقه

$h$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
$p_h$	۱۱۰	۸۰	۱۳۰	۱۶۰	۹۵	۴۵	۱۵۰	۱۱۰	۷۰	۱۲۰	۱۰۰

جدول ۲- نتایج ژنتیک و Lingo برای مسائل زمانبندی

بعد مسئله $H \times K$	مقدار تابع هدف (دقیقه)		زمان پردازش انبارها با استفاده از Lingo و ژنتیک (دقیقه)										
	Lingo	ژنتیک	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
$6 \times 2$	۳۲۰	۳۲۰	۳۲۰	۲۱۰	۱۳۰	۲۷۵	۹۵	۳۲۰					
$6 \times 3$	۲۴۰	۲۴۰	۱۱۰	۸۰	۲۴۰	۲۴۰	۱۷۵	۸۰					
$7 \times 2$	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۲۸۰	۳۱۰	۱۵۰	۵۵	۱۵۰				
$7 \times 3$	* N/A	۲۸۵	۲۴۰	۲۴۰	۱۳۰	۱۶۰	۱۳۰	۲۸۵	۲۸۰				
$8 \times 2$	N/A	۴۴۵	۳۵۰	۲۴۰	۳۳۵	۱۶۰	۴۴۵	۲۰۵	۱۵۰	۴۴۵			
$8 \times 3$	N/A	۳۲۰	۱۱۰	۳۲۰	۲۴۰	۲۷۰	۱۱۰	۶۰	۲۱۰	۳۲۰			
$9 \times 2$	N/A	۴۸۰	۳۲۰	۸۰	۲۱۰	۴۸۰	۱۴۰	۴۵	۴۰۰	۴۵۰	۴۷۰		
$9 \times 3$	N/A	۳۲۰	۱۱۰	۱۹۰	۳۲۰	۱۶۰	۱۴۰	۴۵	۳۲۰	۲۵۰	۳۲۰		
$10 \times 2$	N/A	۵۴۰	۵۴۰	۳۵۰	۲۷۰	۳۱۰	۹۵	۱۴۰	۱۵۰	۵۴۰	۴۲۰	۴۳۰	
$10 \times 3$	N/A	۳۶۵	۲۳۵	۱۲۵	۳۶۵	۲۷۰	۳۶۵	۴۵	۲۷۵	۱۱۰	۳۴۵	۱۲۵	
$11 \times 2$	N/A	۶۰۵	۵۱۰	۵۹۰	۵۱۰	۱۶۰	۶۰۵	۱۵۵	۳۱۰	۱۱۰	۳۸۰	۳۸۰	۲۶۰
$11 \times 3$	N/A	۴۰۵	۱۹۰	۸۰	۴۰۵	۱۶۰	۴۰۵	۲۳۵	۳۱۰	۳۰۵	۱۹۰	۱۲۰	۴۰۵

\* مسائل غیر قابل حل توسط الگوریتم شاخه و کرانه (Lingo)

با توجه برابر بودن نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و Lingo، می توان الگوریتم پیشنهادی را به عنوان یک الگوریتم مناسب در حل مدل زمانبندی فوق الذکر دانست. همان طور که در جدول (۲) نیز مشاهده می شود ممکن است که ماکزیمم زمان پردازش انبارها برای برخی از مسائل مشابه شود که این امر دلیل بر سرویس دهی یکسان جرثقیل ها به انبارها نمی باشد، بلکه ممکن است در یک مسئله این زمان متعلق به یک جرثقیل و در دیگری متعلق به ۲ یا ۳ جرثقیل باشد. بدین منظور مقادیر عددی  $C_h$  نیز در این جدول ارائه شده است. نمونه ای از خروجی مدل زمانبندی را در جزئیات و در قالب متغیرهای تصمیم گیری، برای یک کشتی با ۱۰ انبار که توسط ۳ جرثقیل مورد پردازش قرار گرفته است را می توان در جداول (۳) و (۴) مشاهده کرد. که به ترتیب در جداول (۳) و (۴) مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم گیری  $X_{h,k}$  و  $Y_{h,h'}$  ارائه شده اند. نتایج تحلیلی خروجی مدل را نیز می توان در جدول (۵) مشاهده کرد.

جدول ۳- مقادیر مربوط به متغیر تصمیم گیری  $X_{h,k}$ 

$h$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
۲	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
۳	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

جدول ۴- مقادیر مربوط به متغیر تصمیم گیری  $Y_{h,h'}$ 

$h'$ $h$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰
۲	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
۸	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰

جدول ۵- مقادیر مربوط به متغیر تصمیم گیری  $C_h$ 

۳۶۵ دقیقه = تابع هدف مسئله (آخرین زمان پردازش)				
شماره انبار	جرثقیل شماره ۱	جرثقیل شماره ۲	جرثقیل شماره ۳	زمان اتمام پردازش ( $C_h$ )
۱				۲۳۵
۲				۱۲۵
۳				۳۶۵
۴				۲۷۰
۵				۳۶۵
۶				۴۵
۷				۲۷۵
۸				۱۱۰
۹				۳۴۵
۱۰				۱۲۵

همان طور که در جدول (۵) مشاهده می شود، در حالت بهینه انبارهای شماره ۷، ۹ و ۱۰ توسط جرثقیل ۱، انبارهای ۴، ۵ و ۸ توسط جرثقیل ۲ و انبارهای ۱، ۲، ۳ و ۶ نیز توسط جرثقیل ۳ مورد پردازش قرار خواهند گرفت. در این صورت ماکزیمم زمان پردازش کشتی مورد نظر ۳۶۵ دقیقه پس از شروع کار تخلیه و بارگیری می باشد.

### نتیجه گیری

از آن جایی که جرثقیل های اسکله تجهیزات گران قیمتی هستند، برای بهره وری کامل و از بین بردن عدم تعادل در حجم کار جرثقیل ها، نیاز به برنامه ریزی درست برای استفاده از این تجهیزات در یک ترمینال کانتینری احساس می شود. با بکارگیری از مدل ارائه شده در این مقاله علاوه بر کمینه ساختن مجموع زمان های اتمام کار جرثقیل های اسکله می توان در کاهش زمان گردش کشتی ها و متعاقب آن سرویس دهی ترمینال های کانتینری به تعداد بیشتری کشتی در سال گامی مؤثر برداشت. همچنین به دلیل ناکارآمدی الگوریتم شاخه و کرانه (نرم افزار Lingo) برای حل مسائل متعارف در بندار، با توجه به برابر بودن نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک و نرم افزار Lingo، الگوریتم ژنتیک پیشنهادی می تواند جایگزین خوبی برای حل مدل ارائه شده باشد.



## مراجع

1. Zhang, C., Liu, J., Wan, Y.W., Murty, K.G., Linn, R.J. (2003) Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B*, **37**, 883-903.
2. Lee, D.H., Wang, H.Q., Miao, L. (2008) Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E*, **44**, 124-135.
3. Daganzo, C.F. (1989) The crane scheduling problem. *Transportation Research Part B*, **23**, 159-175.
4. Peterkofsky, R.I., Daganzo, C.F. (1990) A branch and bound solution method for the crane scheduling problem. *Transportation Research Part B*, **24**, 159-172.
5. Lim, A., Rodrigues, B., Xiao, F., Zhu, Y. (2004) Crane scheduling with spatial constraints. *Naval research Logistics*, **51**, 386-406.
6. Kim, K.H., Kang, J.S., Ryu, K.R. (2004) A beam search algorithm for the loading sequencing of outbound containers in port container terminals. *Or Spectrum*, **26**, 93-116.
7. Kim, K.H., Park, Y.M. (2004) A crane scheduling method for in port container terminals. *European Journal of Operation Research*, **156**, 752-768.