

## شناسائی عوامل تاثیرگذار در طراحی مناسب ساختار ریاضی مدل‌های مسیریابی و زمان‌بندی کشتی (SRP)

فرید خوش الحان<sup>۱</sup>، طاهر کلانتری<sup>۲</sup>

[t\\_kalantari4656@yahoo.com](mailto:t_kalantari4656@yahoo.com)

۱- دکترای مهندسی صنایع، عضو هیات علمی و استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع  
۲- دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و عضو هیات علمی دانشگاه علوم دریائی امام خمینی (ره)

### چکیده

این مقاله، انواع مدل‌های مسیریابی و زمان‌بندی کشتی در حمل و نقل دریائی را مورد بررسی و توصیف قرار داده است. هدف از این مسئله، شناسائی عوامل تاثیرگذار در طراحی ساختار ریاضی مدل‌های مسیریابی و زمان‌بندی کشتی (تابع هدف، محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم) می‌باشد. که به تفکیک عوامل اصلی شامل ناوگان، بنادر و محموله و عوامل فرعی شامل طول و عرض کشتی، ظرفیت ناوگان، شرایط مسیرحمل و نقل، حجم محموله و غیره می‌باشد. تا براساس این عوامل بتوان ضمن طراحی مناسب این مدل‌ها، موانع و مشکلات تکنیکی و فیزیکی مطرح در مسائل زمان‌بندی و مسیریابی کشتی را حل کرد.

### واژگان کلیدی

ناوگان، مسیریابی و زمان‌بندی کشتی، حمل و نقل دریائی، بارگیری و تخلیه بار.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۲/۱۲/۱

تاریخ پذیرفته شدن مقاله : ۹۳/۳/۲۰

## ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین عناصر در بررسی عملکرد یک شرکت کشتیرانی، مسئله مسیریابی کشتی است. براساس معیار عملکردی حمل‌ونقل کنندگان<sup>۱</sup> (SRP) ها را می‌توان به سه نوع زیر طبقه‌بندی کرد: کشتیرانی مسافربری، کشتیرانی صنعتی و کشتیرانی آزاد. (SRP) در کشتیرانی مسافربری یک خط سیر از پیش تعیین شده و بلندمدت را همراه با بنادر پهلوگیری اصلی، در نظر می‌گیرد. اگر چه (SRP) در کشتیرانی صنعتی، بنادر پهلوگیری ثابت را در نظر می‌گیرد که دارای بنادر داخلی پهلوگیری ثابتی نیستند. زیرا برنامه بنادر داخلی بوسیله بارها تعیین می‌شوند. (SRP) در کشتیرانی آزاد<sup>۲</sup> (SRPTP) پیچیده‌تر است و یک مسئله کشتیرانی را بدون بنادر ثابت پهلوگیری و بدون بنادر داخلی ثابت و برنامه‌های ثابت در نظر می‌گیرد، که این امر مسئله عملکردی را پیچیده و منحصر به فرد می‌سازد.

طراحی و زمان‌بندی عملیات صنعت حمل و نقل دریایی را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود: برنامه‌ریزی استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی. برنامه‌ریزی استراتژیکی مربوط به دوره زمانی چندین ساله بوده، که با سرمایه‌گذاری و طراحی شبکه‌ای همراه است. در سطح تاکتیکی، این مسأله تعیین می‌کند که کدام یک از کشتی‌ها باید در چه مسیری حرکت کنند. و اینکه چه زمانی باید به هر منطقه برسند، این تصمیمات در سطح برنامه‌ریزی عملیاتی مورد توجه قرار می‌گیرند. برخلاف مسأله مسیریابی وسیله نقلیه<sup>۳</sup> (VRP) که طی آن یک شرکت وسیله نقلیه را برای برآورده ساختن سفارشات مشتری توزیع می‌کند، سفارشات مستقیم از مشتریان صورت نمی‌گیرد. شرکت‌ها برای حفظ و نگهداری سطحی از کالاها و محصولات با حداقل هزینه طی یک دوره زمان‌بندی، مجموعه‌ای از کشتی‌ها را توزیع می‌کنند. در این مسأله، باید نوع و کیفیت محصولات که باید بارگیری شوند تعیین گردد، و همچنین تعیین مسیر و موقعیت کشتی و برنامه‌های توزیع محصولات و نوع و مقدار محصولاتی که باید همزمان در بنادر تخلیه شوند.

## ۲- بیان مسئله

مسیریابی کشتی شامل توزیع کشتی با کالاهای متعدد بوده که این کالاها را نمی‌توان ترکیب و ادغام‌سازی کرد، همچنین مسیریابی به منظور توزیع کشتی‌هایی که دارای ظرفیت‌های متفاوتی بوده، هزینه و زمان سفر یا حمل‌ونقل بار آنها نیز متفاوت است. همچنین این کشتی‌ها از نظر تعداد و چگونگی کمپارتمان‌ها نیز با هم فرق می‌کنند. به این معنی که هر کمپارتمان می‌تواند نوع خاصی از کالا را بارگیری کند اما هر دفعه تنها یک کالا بارگیری و ارسال می‌شود. در هر مسیر حمل‌ونقل و ارسال محموله توسط کشتی، کشتی می‌تواند از چندین بندر بگذرد. البته چنین فرض شده که همه کالاها در پایان یک سفر دریایی تخلیه شده‌اند تنها کشتی دارای کمپارتمان‌های خالی به بنادر اولیه بر می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت زمانی که یک کمپارتمان کشتی با کالاهای متفاوتی بارگیری شده، هزینه یا زمان بیشتری دربر نخواهد داشت.

هر بندر می‌تواند کالاهای متعدد و حجیمی را از طریق توزیع کشتی بارگیری نماید. می‌توان گفت که هر کالا دارای سطح عرضه محدودی است. بعلاوه هر مسیر تقاضا کالاهای خاصی را دریافت و مصرف می‌کند. هر کالا از سطح متوسط مصرف روزانه برخوردار است. طبق شرایط و ویژگی‌های خاص کالاها باید آنها را بطور جداگانه در انبارهای بنادر ذخیره‌سازی کرد. این انبارها دارای ظرفیت ماکزیمم هستند. گروهی از کشتی‌ها بین بنادر تردد دارند، تا این اطمینان حاصل گردد که سطوح انبارها کافی هستند. ممکن است یک کشتی یک یا چندین کالا را از انبارهای عرضه بارگیری کرده و آنها را در یک بندر یا محل تقاضا تخلیه نماید. تعداد کشتی‌هایی که به یک بندر می‌رسند و تعداد بارگیری یا تخلیه بار دقیقاً مشخص نیست. البته بارگیری و تخلیه بار بصورت نسبی مشخص است.

چنین فرض می‌شود که در هر بندر همزمان بیش از یک کشتی می‌تواند پهلو گیرد. کشتی‌های متعدد می‌توانند کالاهای مختلف را بطور همزمان بارگیری یا تخلیه کنند. البته یک کشتی نمی‌تواند کالاهای مختلفی را همزمان بارگیری و تخلیه کند. در بندر، زمان انتظار نیز مجاز است. در بنادر عرضه، ممکن است حرکت یک کشتی به دلیل

- 1 Ship routing problem
- 2 Ship routing problem of tramp shipping
- 3 Vehicle routing problem

وجود بار و محصولات زیاد به تأخیر افتد. البته در این تأخیر باید زمان رسیدن به بنادر مقصد مورد توجه قرار گیرد، تا کسری محموله در این بنادر رخ ندهد. در بنادر متقاضی (مقصد)، کشتی می‌تواند منتظر باشد، تا این‌که فضایی در انبار برای تخلیه بیشتر کالا فراهم آید.

در شروع زمان بندی و مسیریابی، تجهیزات و اقلام موجود در کمپارتمان کشتی‌ها مشخص می‌شوند. کمپارتمان‌های یک کشتی ممکن است خالی بوده، یا این‌که یک یا چندین کالا در کمپارتمان‌های آن وجود داشته باشند. موقعیت یک کشتی در بندر یا نقطه‌ای در دریا می‌باشد. بنادر مصنوعی را بعنوان موقعیت‌های اولیه یک کشتی در نظر می‌گیریم.

در این مسئله، با برنامه‌ریزی و طراحی عملیاتی کوتاه و بلند مدت سروکار داریم. فرض می‌کنیم که تعداد کشتی‌ها و ظرفیت کلی آن‌ها ثابت بوده و برای بارگیری از بنادر طی دوره برنامه‌ریزی مشخص هستند. بنابراین، هزینه ثابت کشتی‌ها همچون هزینه اجاره یا سرمایه‌گذاری را نادیده گرفته‌ایم. همچنین هزینه موجودی کالاها را نیز نادیده گرفتیم، زیرا محصولات در انبارهای تولید و مصرف تحت مالکیت یک شرکت واحد بوده‌اند. در این مورد، ما تنها هزینه بارگیری در بندر و هزینه حمل و نقل و حرکت کشتی را مورد توجه قرار داده‌ایم.

طبق شرایط بالا، باید نوع و مقدار کالاهایی که باید بارگیری شوند و توزیع محصولات به کمپارتمان‌های کشتی، مسیر حرکت کشتی و برنامه زمان بندی توزیع و همچنین مقدار کالاهایی که باید در بنادر مقصد تخلیه شوند را تعیین کنیم. هدف این مسأله شناسایی عوامل اصلی و فرعی تأثیرگذار در فرموله کردن مدل‌های مسیریابی و زمان بندی کشتی‌هاست تا از این طریق بتوان به راه حلی کارآمد در به حداقل رساندن هزینه یا ماکزیمم کردن درآمد در برنامه بارگیری / تخلیه بار از کشتی دست یافت.

### ۳- پیشینه تحقیق:

مسیریابی کشتی به معنی تعیین توالی بنادری که در نظر است یک کشتی در این بنادر بارگیری / تخلیه بار در یک محدوده زمانی مشخص داشته باشد. تحقیقات صورت گرفته روی مسیریابی کشتی اکثراً در مقالات (Christiansen et. al, 2004 و Ronen, 1993, 1983)

گنجانده شده‌اند. مسیریابی کشتی وابسته به شیوه عملیات کشتی است، از جمله کشتی‌های مسافربری، صنعتی و آزاد است (Christiansen et. al, 2004). مسیریابی کشتی بیشتر تلاش‌هایش روی کشتی‌های آزاد و صنعتی متمرکز است و مدل‌های تفکیک شده‌ای برای انتخاب یک سری بنادر جهت به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی کشتی در نظر گرفته شده است. مسیر کشتی‌های مسافربری نیز آزمایش می‌شوند، ولو این‌که علیرغم افزایش قابل توجه حمل و نقل کانتینری، تا حد کمی صورت می‌گیرد. مسیریابی و زمان بندی کشتی کانتینری توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفته است. Rana, (1991) یک مدل غیر خطی را برای بهینه‌سازی مسیریابی ناوگان کانتینری در امتداد یک مسیر تجاری فرمول بندی کردند، در حالی که Pevakis, (1991) ، ناوگان کانتینری را به یک سری مسیراز پیش تعریف شده با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی تعیین کردند. (Cho, perakis, 1996) یک سری مسیرهای انتخابی و یک برنامه‌ریزی خطی کاربردی برای انتخاب یک مسیر بهینه برای کشتی‌های کانتینری ایجاد کردند در حالی که مدلی بوسیله (fagerholt, 1999) برای تعیین اندازه بهینه ناوگان، پیشنهاد شده است. در تحقیقات اخیر (2001 و Bendall, stent) یک مدل زمان بندی را برای خدمات کانتینری با سرعت بالا توسعه داده‌اند و (Hsieh, chang, 2001) مسیریابی کشتی‌های مسافربری را با استفاده از یک مدل شبکه spoke, hub الگوبرداری کردند. (Sambracos et. al, 2004) روشی را برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای تعیین مسیرهای کانتینری در دریای Aegean پیشنهاد کرد و همچنین (shintani et. al, 2007) یک الگوریتم ژنتیک را برای تعیین مسیرهای کانتینری در حالی که موقعیت کانتینرهای خالی را مدنظر داشت، بکارگرفت. (Fagerholt, 2001) یک مسئله مسیر یابی و زمان بندی چند کشتی را برای تحویل و دریافت کالا همراه با پنجره زمانی آزمایش کرد و تمام مسیرهای عملی را اقتباس کرده و یک مسیر بهینه را برای کشتی‌ها انتخاب کرد. مدل دیگری که توسط Sigurt (et. al, 2005) تعیین شد، مسیریابی و زمان بندی کشتی با ملاقات‌های تکراری، بررسی تفکیک بین ملاقات‌ها و

بنادر ثابت پهلوگیری است. SRPTP شبیه به VRP همراه با پنجره زمانی و مسئله انتخاب مسیر حمل و نقل است. اگر چه، این کشتی‌ها نیاز ندارند تا به بنادر کشور خود در SRPTP برگردند. شکل ۱ منحصر به فرد بودن SRPTP را نشان می‌دهد.

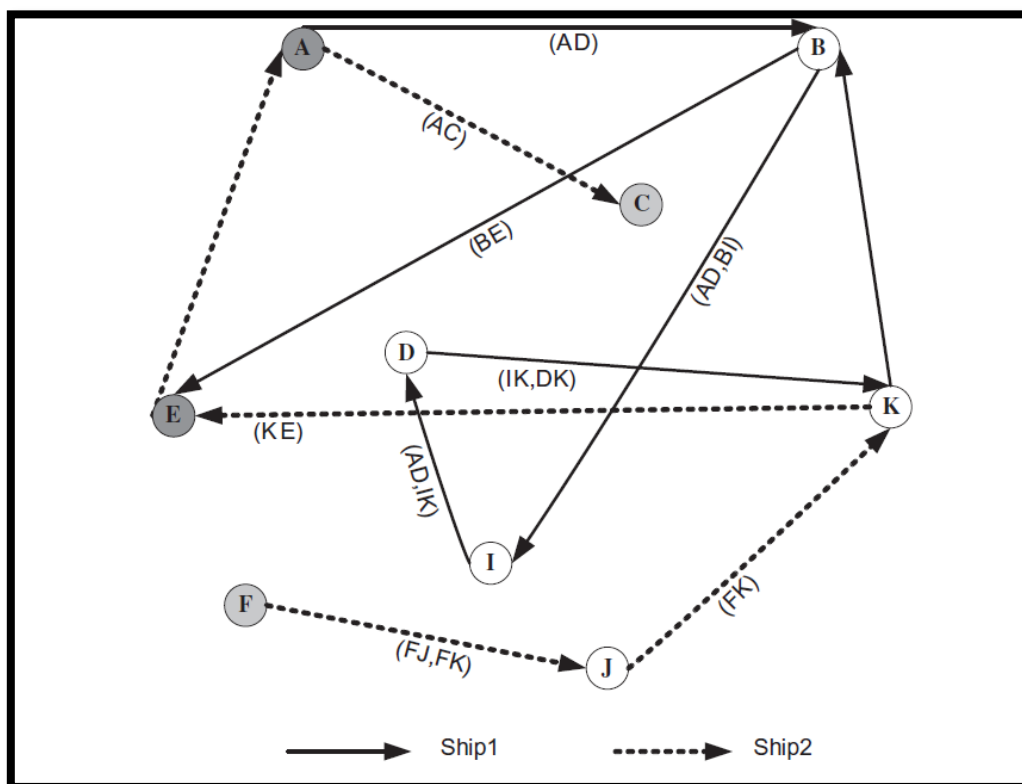
در شکل ۱ دو کشتی و نه بار وجود دارند. توالی پهلوگیری کشتی ۱، A,B,I,D,K,B,E همراه با ۵ بار، B/E, D/K, A/D, B/I, I/K است. بارها بوسیله بندرهای O/D خود نامگذاری شده‌اند. توالی پهلوگیری کشتی ۲، F/J, A/C, F/K همراه با چهار محموله، F/J, A/C, K/E است. برای هر گره از مسیر، هر کشتی می‌تواند خالی باشد و یا یک یا چند محموله را حمل کند. به طور مثال گره (A,B) از کشتی ۱ حامل محموله A/D است در حالی که گره (B, I) حامل محموله‌های A/D و B/I است. برای حمل بارها به بنادر مختلف O/D، ممکن است کشتی‌ها به بنادر اصلی خود باز نگردند. از طرف دیگر، دو بندر داخلی وجود دارد که هر کشتی می‌تواند بازگردد و منجر به ایجاد SRPTP بدون بنادر داخلی شود.

محدودیت‌ها در زمان حمل و نقل بود. این مدل مسئله مسیریابی حمل و نقل را همراه با پنجره‌های زمانی متعدد تنظیم کرده و با استفاده از روش آروینی هزینه آن را تعیین کرده است. آخر اینکه (Hsu, Hsieh, 2007) یک مدل تحلیلی را برای مسیریابی بهینه، براساس اندازه و تعداد کشتی توسعه داد.

#### ۴- ادبیات موضوع

بطور کلی (SRP)، یک حالت خاص از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) محسوب می‌شود، که به مسئله NP-hard معروف است. اگر چه (Ronen, 1983) نشان داد که SRP به محیطی محافظه کارانه‌تر و پیچیده‌تر از VRP نیاز دارد. اگر چه VRP در این مقاله به خوبی بررسی شده و تحقیقات مربوط به SRP نسبتاً کمیاب است. اکثر مطالعات روی کشتیرانی مسافربری یا صنعتی تمرکز کرده‌اند.

SRPTP بیشتر به حمل و نقل SRP همراه با پنجره زمانی (SRPP DTW) مربوط است که توسط (Fagerholt, 1999) بررسی شده است، اما بدون وجود



شکل ۱- مسیر کشتی‌ها و محموله‌ها

## ۵- مدل ریاضی

این مدل براساس مدل پیشنهادی (Al-Khayyal , Hwang , Christiansen,2007,2009) نوشته شده که شامل یک تابع هدف از نوع کمینه‌سازی، پانزده متغیر وسی و دو محدودیت شامل محدودیت های مسیریابی، تخلیه و بارگیری، زمان بندی و موجودی کالا می باشد. ضمناً این مدل با الگوریتم های ژنتیک و شبیه سازی تبرید قابل حل می باشد.

تابع هدف

$$\sum_{v \in V} \sum_{(i,m,j,n) \in A_v} CT_{ijv} x_{imjnv} + \sum_{v \in V} \sum_{(i,m) \in N} CW_{iv} w_{imv} + \sum_{v \in V} \sum_{(i,m) \in N} \sum_{k \in P_v} \sum_{c \in C_v} CO_{ik} O_{imvkc}$$

$$\sum_{(j,n) \in N} x_{o(v)1jnv} + z_{o(v)1v} = 1, \quad \forall v \in V \quad (1)$$

$$\sum_{(j,n) \in N \cup \{o(v),1\}} X_{jnimv} - \sum_{(j,n) \in N} X_{imjnv} - Z_{imv} = 0, \quad \forall (v,i,m)$$

$$\in V \times N, \quad i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{(i,m) \in N} Z_{imv} = 0, \quad \forall v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{(j,n) \in N \cup \{o(v),1\}} X_{jnimv} - y_{im} = 1 \quad \forall (i,m) \in N \quad i \neq j \quad (4)$$

$$y_{im} - y_{i(m-1)} \geq 0, \quad \forall (i,m) \in N, \quad i \neq 1 \quad (5)$$

$$X_{imjnv} \in \{0,1\}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m,j,n) \in A_v \quad (6)$$

$$Z_{imv} \in \{0,1\}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{o(v),1\} \quad (7)$$

$$Y_{im} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{o(v),1\} \quad (8)$$

$$X_{imjnv} (l_{imvkc} + l_{jk} q_{jnvkc} - l_{jnvkc}) = 0, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N, \quad (j,n) \in N, \quad (k,c) \in P_v \times C_v, \quad i \neq j \quad (9)$$

$$(10)$$

$$X_{imjnv} (l_{imvkc}) = 0, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{o(v),1\}, \quad \forall (j,n) \in N_p, \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v, \quad i \neq j$$

$$(11)$$

$$QQ_{vkc} = l_{o(v)1vkc}, \quad \forall v \in V \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v$$

$$(12)$$

$$q_{imvkc} \leq \sum_{(j,n) \in N \cup \{0(v),1\}} CM_{vc} X_{jnimv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N, \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v, \quad i \neq j$$

$$(13)$$

$$l_{imvkc} \leq \sum_{(j,n) \in N \cup \{0(v),1\}} CM_{vc} X_{jnimv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N, \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v, \quad i \neq j$$

$$(14)$$

$$q_{imvkc} \leq CM_{vc} O_{jnimv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N, \quad \cup \{0(v),1\}, \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v$$

$$(15)$$

$$\sum_{k \in P_v} \sum_{c \in C_v} O_{imvkc} \leq 100W_{imv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{0(v),1\}$$

$$(16)$$

$$l_{imvkc} \leq CM_{vc} (1 - o_{imvkc}), \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N_p, \quad \forall (k',k'') \in P_v, \quad \forall c \in C_v, \quad k' \neq k''$$

$$(17)$$

$$\sum_{k \in P_v} o_{imvkc} \leq 1, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{0(v),1\}, \quad \forall c \in C_v$$

$$\sum_{v \in V} w_{imv} \leq 1, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{0(v),1\} \quad (18)$$

$$(19)$$

$$o_{imvkc} \in \{0,1\}, \quad \forall v \in V, \quad \forall (i,m) \in N \cup \{0(v),1\}, \quad \forall (k,c) \in P_v \times C_v$$

$$SM_{ik} \leq S_{imk} - \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_v} J_{ik} q_{imkvc} + J_{ik} R_{ik} (TH - t_{im}) \quad (31)$$

$$\leq SX_{ik}, \quad \forall (i, m, k) \in N \times K_i, m = ML_i \quad (32)$$

$$S_{imk} \geq 0, \quad \forall v \in V, \forall (i, m) \in N$$

مطابق این مدل، تابع هدف بیانگر حداقل سازی هزینه کل مربوط به حمل و نقل، تخلیه و بارگیری و عملیات بندری می باشد. اما محدودیت های (۱۱ الی ۸) محدودیت های مسیریابی می باشند که نشان می دهد هر کشتی موقعیت مکانی اولیه خود را ترک کرده یا آنجا قرار دارد و مسیر خود را از گره (i, m) به پایان رسانده است. محدودیت های (۹ الی ۲۱) محدودیت های بارگیری و تخلیه می باشند که بیانگر کمیت بار کشتی بعد از رسیدن به نقطه (i, m) و این مطلب که بار کشتی می بایستی مشابه مقدار کالا اولیه موجود در کشتی باشد. محدودیت های (۲۲ الی ۲۵) محدودیت های زمان بندی بوده که بیانگر تقدم محدودیت های زمانی و زمان مسیریابی از یک نقطه به نقطه ای دیگر و همچنین طبق این محدودیت ها یک بندر محل توقف چندین کشتی بطور همزمان خواهد بود. محدودیت های (۲۶ الی ۳۲) محدودیت های موجودی می باشند که بیانگر سطح ذخیره فعلی و قبلی و این مطلب که مقدار بارگیری نباید بیشتر از کالا در انبار باشد. ضمناً متغیرهای مدل به شرح زیر است.

$$CT_{ijv} \quad (۱) \text{ هزینه حمل و نقل کشتی } v \text{ از بندر } i \text{ به } j$$

$$CW_{iv} \quad (۲) \text{ هزینه عملیات بندری کشتی در بندر } i$$

$$CO_{ik} \quad (۳) \text{ هزینه تخلیه و بارگیری کالا } k \text{ در بندر } i$$

$$X_{imjnv} \quad (۴) \text{ برابر با } ۱, \text{ در صورتی که کشتی } v \text{ از گره } (i, m) \text{ به گره } (j, n) \text{ حرکت کند، در غیر این صورت } 0$$

$$\text{خواهد بود.}$$

$$Y_{im} \quad (۵) \text{ برابر با } ۱ \text{ خواهد بود، اگر گره } (i, m) \text{ دیده نشود، و در غیر این صورت } 0 \text{ خواهد بود.}$$

$$Z_{imv} \quad (۶) \text{ برابر با } ۱ \text{ خواهد بود، در صورتی که کشتی } v \text{ مسیر حرکت خود را گره } (i, m) \text{ به پایان رساند، در غیر این صورت } 0 \text{ خواهد بود.}$$

$$W_{imv} \in \{0, 1\}, \quad \forall v \in V, \forall (i, m) \in N \cup \{O(v), 1\}$$

$$l_{imkvc}, q_{imkvc} \geq 0, \quad \forall v \in V, \forall (i, m) \in N \cup \{O(v), 1\}, \forall (k, c) \in P_v \times C_v$$

$$t_{im} - t_{i(m-1)} \geq 0, \quad \forall (i, m) \in N, m \neq 1 \quad (22)$$

$$t_{im} \leq THt, \quad \forall (i, m) \in N \cup N\{o(v), 1\} \quad (23)$$

$$X_{imv} [t_{im} + TW_i W_{imv} + \sum_{k \in P_v} \sum_{c \in C_v} (TQ_{ik} q_{imkvc} + TO_{ik} O_{imkvc}) + TT_{jv} - t_{jn}] \leq 0, \quad \forall v \in V, \forall (i, m, j, n) \in A_v, i \neq j$$

$$t_{im} \geq 0, \quad \forall (i, m) \in N \cup \{o(v), 1\} \quad (25)$$

$$q_{imkvc} \leq S_{imk} + J_{jk} R_{ik} \left[ TW_i W_{imv} + \sum_{k \in P_v} \sum_{c \in C_v} (TQ_{ik} q_{imkvc} + TO_{ik} O_{imkvc}) \right], \quad \forall v \in V, \forall (i, m) \in N_p, \forall k \in P_v, \forall c \in C_v$$

$$S_{ilk} = IS_{ik} + J_{ik} R_{ik} t_{il}, \quad \forall (i, k) \in H \times K_i$$

$$S_{ilk} = IS_{ik} + J_{ik} R_{ik} t_{il}, \quad \forall (i, k) \in H \times K_i$$

$$S_{i(m-1)k} - \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_v} J_{ik} q_{i(m-1)kvc} + J_{ik} R_{ik} (t_{im} - t_{i(m-1)}) - S_{imk} = 0, \quad \forall (i, m, k) \in N \times K_i, m \neq 1 \quad (28)$$

$$SM_{ik} \leq S_{imk} \leq SX_{ik}, \quad \forall (i, m, k) \in N \times K_i \quad (29)$$

$$SM_{ik} \leq S_{imk} - \sum_{v \in V} \sum_{c \in C_v} J_{ik} q_{imkvc} + \sum_{v \in V} J_{ik} R_{ik} \left[ TW_i W_{imv} + \sum_{k \in P_v} \sum_{c \in C_v} (TQ_{ik} q_{imkvc} + TO_{ik} O_{imkvc}) \right] \leq SX_{ik}, \quad \forall (i, m, k) \in N \times K_i \quad (30)$$

(۷)  $O_{imvkc}$ : یک متغیر زوجی است و برابر با ۱ خواهد بود، اگر کشتی  $U$  به گره  $(m, i)$  برسد و کالا  $k$  را در کمپارتمان  $C$  بارگیری کند، در غیر این صورت ۰ خواهد بود.

(۸)  $W_{imv}$ : یک متغیر زوجی است و برابر با ۱ بوده اگر کشتی  $U$  به نقطه  $(i, m)$  برسد، یک متغیر متوالی است که مقدار کالا  $k$  که در کمپارتمان  $C$  بعد از ترک نقطه  $(i, m)$  بارگیری شده را نشان می‌دهد.

(۹)  $L_{imvkc}$ : یک متغیر متوالی بوده که مقدار کالا  $k$  در کابین  $C$  از کشتی  $U$  را بعد از ترک نقطه  $(i, m)$  نشان می‌دهد.

(۱۰)  $Q_{imvkc}$ : یک متغیر متوالی بوده، که مقدار کالا  $k$  را نشان می‌دهد که در کمپارتمان  $C$  از کشتی  $U$  در نقطه  $(i, m)$  بارگیری شده است.

(۱۱)  $T_{im}$ ، بعنوان زمان رسیدن یک کشتی در نقطه  $(i, m)$  توصیف می‌شود.

(۱۲)  $IS_{ik}$  فهرست اولیه کالا  $k$  در بندر  $i$  را نشان می‌دهد.

(۱۳)  $SM_{ik}$  و  $SX_{ij}$ : ماکزیمم و مینیمم کالا  $k$  را نشان می‌دهند.

(۱۴)  $R_{ik}$ : سطح عرضه کالا  $K$  رادر بندر  $i$  نشان می‌دهد.

(۱۵)  $S_{imk}$ : سطح کالا  $K$  را نشان می‌دهد، زمانی که کشتی به نقطه  $(i, m)$  می‌رسد.

## ۶- شناسایی عوامل تاثیرگذار در طراحی مناسب ساختار ریاضی مدل‌های مسیریابی و زمان‌بندی کشتی

مطالعه صورت گرفته و بررسی بعمل آمده بر روی انواع مدل‌های مسیریابی و زمان‌بندی کشتی، بیانگر این مطلب است که تمامی مدل‌های (SRP) از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی بوده بطوریکه طراحی ساختار ریاضی مدل‌های زمان‌بندی و مسیریابی کشتی شامل تابع هدف، محدودیت‌ها، متغیرهای تصمیم مبتنی بر سه عامل اصلی ناوگان، بنادر و محموله و همچنین عوامل فرعی از قبیل بارگیری/تخلیه بار، ثبات و مقاومت کشتی در دریا، طول، عرض، پهنا و ارتفاع عرشه، خسارت، پنجره زمانی و غیره می‌باشد. بطوریکه عوامل اصلی اشاره شده می‌بایستی در طراحی مدل‌های زمان بندی و مسیریابی همه کشتی‌ها جهت حمل و نقل کالا از بنادر مبدا به بنادر مقصد در

نظر گرفته شود. از سوی دیگر عوامل فرعی با توجه به نوع محموله (اصلی و مکانی، اجباری و اختیاری)، قراردادهای تنظیمی بین نقاط عرضه و تقاضا کالا، شرایط مسیر حمل و نقل (به منظور ثبات و مقاومت کشتی)، ظرفیت/وزن ناوگان، طول و عرض کشتی، پهنا و ارتفاع عرشه، حجم/وزن محموله، تقاضا برای کالا، زمان انتظار مجاز، سطح متوسط مصرف روزانه، حداکثر ظرفیت انبارهای بنادر، تعداد کشتی‌ها و غیره می‌بایستی در فرموله کردن مدل‌های زمان بندی و مسیریابی کشتی مدنظر قرار گیرند. سپس براساس نوع فعالیتی که برای انتقال کالا می‌بایست صورت پذیرد، پارامترها و متغیرهای تصمیم را مشخص کرده و آنگاه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی راکه شامل تابع هدف از نوع مینیمم و تعدادی معادلات یا نامعادلات خطی است، تنظیم می‌شود.

## ۷- نتیجه‌گیری

تحقیق مربوط به حمل و نقل دریایی طی سال‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر این تحقیقات مربوط به مسیریابی یا طراحی مسیر کشتی‌ها بوده است. کریستینسن و همکارانش در سال ۲۰۰۷ حمل و نقل دریایی را در سطوح مختلف از جمله تعیین مسیر حرکت کشتی و زمان‌بندی آن توصیف و تجزیه و تحلیل نمودند. مسیریابی کشتی عبارت است از تعیین توالی بنادری که پذیرای یک کشتی است، جهت بارگیری و تخلیه بار بطوریکه مسیریابی کشتی وابسته به شیوه عملیات کشتی است، از جمله کشتی‌های مسافربری، صنعتی و آزاد. در این ارتباط می‌بایستی چهار مسئله انتخاب مسیر کشتی/بنادر، انتخاب کشتی، بارگیری و تخلیه بار بطور همزمان مورد شناسایی و بررسی قرار گیرند تا بتوان متناسب با این عوامل یک مدل کارآمد و اثر بخش برای تعیین مسیر حرکت کشتی طراحی کرد. در این تحقیق انواع مدل‌های زمان بندی و مسیریابی کشتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و سپس عوامل تاثیر گذار جهت طراحی کردن این مدل‌ها تحت عناوین عوامل اصلی و فرعی شناسایی و معرفی گردید، تا از این طریق بتوان ضمن تعیین مسیرهینه کشتی، هزینه کل یا سود کل ناشی از حمل و نقل محموله بین بنادر کشتیرانی را به ترتیب به سطح مینیمم یا ماکزیمم رساند.

- Transportation Research Parte 47,414-431, 2011.
5. Bernt Olav vsteb , Lars Magnus Hvattum ,KjetilFagerholt, Routing and Scheduling Of RoRo Ships With Stowage Constraints. European journal of Transportation Research Parte C ,1225-1242. (2011).
  6. Matthew G. Karlaftis, KonstantinosKepaptsoglou, EVangelosSambracos,Containership routing With Time deadlines Simultaneous deliveries and pick-ups. European journal of Transportation Research Parte E45 ,210-221 , 2009.
  7. Henrik Andersson , Jon M. Duesund ,KjetilFagerholt,ship routing and scheduling Withe cargo coupling and Synchronization Constraints. European journal of Computers & Industrial Engineering 61 ,1107-1116. , 2011.
  8. Jarl EirikKorsvik, KjetilFagerholt, Gilbert Laporte, A Large neighbourhood Search Heuristic for ship routing and scheduling with Split roads. European journal of Computers & operations Research 38,474-483 , 2011.
  9. Inge Norstad, KjetilFagerholt, Gilbert Laporte, Tramp ship routing and scheduling with Speed optimization. European journal of Transportation Research Part C 19,853-865, 2011.
  10. Magnus Stalhen ,HenrikAndersson, Marielle Christiansen ,Jean-Francois Cordeau,GuyDesaulniers. European journal of Computers & operations Research.
  11. Petrica C. pOp,Imdatkara, Andrei Horvat marcNew mathematical models of the generalized vehicle routing problem and extensions. European journal of Applied Mathematical Modelling36,97-107, 2012.
- لذا به منظور طراحی یک ساختارریاضی مناسب جهت انواع مدل‌های مسیریابی و زمان بندی کشتی ضمن مد نظر قراردادن پارامترهای هدف، محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم در ساختارمدل، پیشنهاد می‌گردد:
- ابتدا عوامل موثر در طراحی مدل، براساس نوع عملیات کشتی شناسائی گردند.
  - تفکیک عوامل شناسائی شده تحت عناوین اصلی و فرعی بطوریکه عواملی چون بنادر، ناوگان و محموله که در ساختار کلیه مدل‌های ریاضی مسیریابی کشتی می‌بایستی در نظر گرفته شوند را تحت عنوان عوامل اصلی و بقیه را عوامل فرعی معرفی نمائیم.
  - فرموله کردن مدل‌های زمان بندی و مسیریابی کشتی براساس عوامل اصلی و فرعی، بطوریکه این مدلها با توجه به نوع عوامل فرعی چون قراردادهای تنظیمی بین نقاط عرضه و تقاضا کالا، شرایط مسیر حمل و نقل، ظرفیت ناوگان، طول و عرض کشتی، حجم محموله، نوع محموله، زمان انتظار مجاز، حداکثر ظرفیت انبارها، سطح متوسط مصرف روزانه و غیره از یکدیگر متفاوت می‌گردند.
- ### ۹- مراجع
۱. مهدوی، ایرج، توکلی مقدم، رضا، قاضی زاده، مصطفی، "مسیریابی وسایط نقلیه و تعیین تعداد ماشین‌های جمع‌آوری زباله با استفاده از یکی از روش‌های فرا ابتکاری"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هفتم، شماره اول، ۱۳۸۹.
  ۲. ظفری، علی، تشکری، مهدی، یوسفی، مجید، "الگوریتم موثر ژنتیک برای حل مسئله مسیریابی مسیله نقلیه، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید"، شماره ۲، جلد ۲۱، ۱۳۸۹.
  3. Nurhadi siswanto , DaryalEssam ,RuhulSarkerSolving the ship Inventory routing and scheduling problem Withe Undedicated Compartments. European journal of Computers & Industrial Engineering 61 ,289-299. , 2011.
  4. Dung-Ying lin , Hui-yen liu, Combined Ship allocation , routing and freight assignment in tramp Shipping. European journal of