

برنامه ریزی حمل و نقل چند وجهی مواد خطرناک با در نظر گرفتن ظرفیت تجهیزات، تاثیر

ازدحام و تصمیم در مورد مکان ترمینال

زهرا فتاحی*، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

همدان

Fattahizahra73@yahoo.com

استاد راهنما: دکتر جواد بهنامیان، دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا



خلاصه

حمل و نقل مواد خطرناک یکی از مباحث بسیار مهم و مؤثر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بار بوده که در برگیرنده مخاطرات متعدد برای محیط‌های فیزیکی و اجتماعی است؛ به طوری که این مخاطرات به یکی از نگرانی‌های عمده برنامه‌ریزان حمل‌ونقل تبدیل شده است و هرگونه اقدام و ملاحظاتی که بتواند این مخاطرات را کاهش دهد حائز اهمیت است. در این پژوهش به مطالعه مسئله مسیریابی و مکان‌یابی مواد خطرناک توسط حمل و نقل چندوجهی متشکل از ریل و جاده پرداخته می‌شود که نه تنها ازدحام در فضاهای چند حالتی را در نظر می‌گیرد بلکه ظرفیت تجهیزات مناسب را مشخص می‌کند. در این دسته از مسائل، علاوه بر محاسبه هزینه که توسط حاملان حمل و نقل حائز اهمیت است تمرکز متولیان به ریسک نیز معطوف است، که در اینجا ریسک ازدحام یک بخش قابل توجه از ریسک شبکه است. بنابراین در این پژوهش، یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط دو هدفه جهت یافتن همزمان مکان بهینه پایانه‌های انتقال و مسیرهای بهینه جا به جایی مواد خطرناک ارائه شده است.

کلمات کلیدی: حمل و نقل چندوجهی، ازدحام، مواد خطرناک، مکان‌یابی-مسیریابی.

مقدمه

مواد خطرناک شامل مواردی مانند مواد منفجره، ... علی رغم کاربرد-های زیاد این مواد در صنایع مختلف، می‌توانند برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها بسیار مضر باشند؛ کاهش اثرات منفی بالقوه حمل و نقل مواد خطرناک موضوع بسیار کلیدی است که جوامع، دولت‌ها، تولیدکننده‌ها و شرکت‌های باربری مواد خطرناک با آن مواجه هستند [1]. حمل و نقل چندوجهی، که به عنوان حمل کالاها با مجموعه‌ای از حداقل دو شیوه مختلف تعریف شده است، همچنان بخش غالبی از صنعت حمل و نقل است. [2] به واسطه استفاده از دو یا چند نوع شیوه حمل و نقل در جا به جایی این دسته مواد، نیاز به استفاده از یکسری تجهیزات و تسهیلات ویژه در پایانه‌های مشترک که به منظور تعویض مدل حمل و نقل و در نتیجه آن نوع وسیله نقلیه استفاده خواهد شد، وجود داشته که بایستی این پایانه‌ها در مکان مناسبی قرار گیرند. هر یک از شیوه‌های حمل و نقل به سبب ویژگی‌های خاص خود، نقش مهمی را در جا به جایی کالا ایفا می‌کنند. مدل سازی مکان‌یابی و مسیریابی مواد خطرناک توسط حمل و نقل چند وجهی به طور قابل توجهی متفاوت از حالت تک وجهی است. بدین منظور مسئله مورد مطالعه در این تحقیق، مسیریابی مواد خطرناک در طول شبکه با استفاده از حمل و نقل چندوجهی و همچنین مکان‌یابی احداث و تجهیز نمودن ترمینال‌های انتقال به منظور جا به جایی مواد بین دو شیوه حمل و نقل ریلی و جاده‌ای تعریف خواهد شد که کلیه این تصمیمات با توجه به ظرفیت تجهیزات و همچنین تاثیر ازدحام گرفته خواهند شد. لازم به ذکر است که ازدحام در ترمینال می‌تواند بر جریان ترافیک در کل شبکه مربوطه تاثیر بگذارد. و بنابراین مشخص می‌کند که جمعیت کانتینرهای مواد خطرناک می‌تواند پتانسیل حوادث را برای مناطق اطراف افزایش دهد. از این رو، نیاز به ایجاد چارچوبی تحلیلی است که موضوع ازدحام را در زنجیره چندوجهی، خصوصا در ترمینال‌ها در نظر بگیرد. انجام این کار نه تنها درک بهتر از تبادل نهایی را تسهیل می‌کند، بلکه به تصمیمات ظرفیت تجهیزات مناسب کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

مدل ریاضی زیر به منظور توصیف مسئله که شامل مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله است به صورت زیر توصیف می‌شود.

مجموعه‌ها

تعیین	شرح
Z	مجموعه حمل‌کننده‌ها (فرستنده)
J	مجموعه پایانه‌های مبدأ
K	مجموعه پایانه‌های مقصد
I	مجموعه دریافت‌کننده‌ها
Z_{ij}	مجموعه زوج‌های حمل‌کننده-دریافت‌کننده با تقاضا برای بار، مجموعه کلاس‌های ترافیک
P_{ij}	مجموعه مسیرهای بارگیری ورودی‌ها مربوط به مسیر بین حمل‌کننده i و پایانه مبدأ j
Q_{ik}	مجموعه مسیرهای بارگیری خروجی‌ها مربوط به مسیر بین پایانه مقصد k و دریافت‌کننده i
V_{jk}	مجموعه مسیرهای چندوجهی بین پایانه مبدأ j و پایانه مقصد k
S_{jk}^+	مجموعه بخش‌های خدمات ترافیک V بین پایانه‌های k و j
M_j	مجموعه تجهیزات تحت نظارت در پایانه مبدأ j که با m نشان داده می‌شود.
M_k	مجموعه تجهیزات تحت نظارت در پایانه مقصد k که با m' نشان داده می‌شود.
C	مجموعه محموله‌ها (مبدأ-مقصد) OK که با c نشان داده می‌شود.
N	مجموعه گره‌های شبکه، $\{N_{ij}, N_{jk}, N_{ik}\} \subseteq N$

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم	شرح
X_{ij}^z	تعداد کانتینرهای مواد خطرناک کلاس ترافیک Z از طریق مسیر P برای محموله ورودی
\bar{X}_{ij}^z	تعداد کانتینرهای مواد عادی کلاس ترافیک Z از طریق مسیر P برای محموله ورودی
X_{ij}^p	تعداد کانتینرهای مواد خطرناک کلاس ترافیک Z از طریق مسیر P برای زنجیره خدمات نوع V
\bar{X}_{ij}^p	تعداد کانتینرهای مواد عادی کلاس ترافیک Z از طریق مسیر P برای زنجیره خدمات نوع V
X_{jk}^v	تعداد کانتینرهای مواد خطرناک کلاس ترافیک Z از طریق مسیر Q برای محموله ارسالی
\bar{X}_{jk}^v	تعداد کانتینرهای مواد عادی کلاس ترافیک Z از طریق مسیر Q برای محموله ارسالی
N_j^v	تعداد زنجیره‌های میان مدلی نوع V
\bar{X}_{jk}^m	میزان ورودی مورد انتظار کانتینرهای مواد خطرناک در تجهیزات m در پایانه مبدأ j
\bar{X}_{jk}^m	میزان ورودی مورد انتظار کانتینرهای مواد عادی در تجهیزات m در پایانه مبدأ j
\bar{X}_{jk}^m	میزان ورودی مورد انتظار کانتینرهای مواد خطرناک در تجهیزات m در پایانه مقصد k
\bar{X}_{jk}^m	میزان ورودی مورد انتظار کانتینرهای مواد عادی در تجهیزات m در پایانه مقصد k
H_j^m	۱ اگر تجهیزات m در پایانه مبدأ j پیدا شود، ۰ در غیر اینصورت
H_k^m	۱ اگر تجهیزات m در پایانه مقصد k پیدا شود، ۰ در غیر اینصورت

پارامترها

پارامترها	شرح
C^p	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد خطرناک در مسیر P برای محموله ورودی
\bar{C}^p	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد عادی در مسیر P برای محموله ورودی
C^v	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد خطرناک در زنجیره خدمات میان مدلی نوع V
\bar{C}^v	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد عادی در زنجیره خدمات میان مدلی نوع V
C^q	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد خطرناک در مسیر Q برای محموله ارسالی
\bar{C}^q	هزینه جابجایی یک کانتینر مواد عادی در مسیر Q برای محموله ارسالی

مدل بهینه‌سازی مسئله مورد بررسی به صورت زیر می‌باشد:

$$Min Z = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} C_{ij}^z X_{ij}^z + \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{C}_{ij}^z \bar{X}_{ij}^z + \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} C_{ij}^p X_{ij}^p + \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{C}_{ij}^p \bar{X}_{ij}^p + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{jk}^v X_{jk}^v + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \bar{C}_{jk}^v \bar{X}_{jk}^v + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{jk}^m \bar{X}_{jk}^m + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \bar{C}_{jk}^m \bar{X}_{jk}^m$$

$$Min \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_j} H_j^m \bar{X}_{jk}^m + \sum_{k \in K} \sum_{m \in M_k} H_k^m \bar{X}_{jk}^m$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} X_{ij}^z = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{X}_{ij}^z \quad \forall j \in J, z \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} X_{ij}^p = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{X}_{ij}^p \quad \forall j \in J, z \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} X_{ij}^v = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{X}_{ij}^v \quad \forall k \in K, z \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} X_{ij}^m = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in J} \bar{X}_{ij}^m \quad \forall k \in K, z \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^z = D_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^z = \bar{D}_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^p = D_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^p = \bar{D}_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^v = D_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^v = \bar{D}_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^m = D_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^m = \bar{D}_i, \quad \forall i \in Z$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^z = \sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^z \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^p = \sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^p \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^v = \sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^v \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^m = \sum_{i \in Z} \bar{X}_{ij}^m \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^z = 1$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^p = c$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^v = c$$

$$\sum_{i \in Z} X_{ij}^m = c$$

$$C_{ij}^z = C_{ij}^z + \frac{C_{ij}^z - C_{ij}^z}{2} \frac{1}{A} \leq C_{ij}^z$$

$$C_{ij}^p = C_{ij}^p + \frac{C_{ij}^p - C_{ij}^p}{2} \frac{1}{A} \leq C_{ij}^p$$

$$C_{jk}^v = C_{jk}^v + \frac{C_{jk}^v - C_{jk}^v}{2} \frac{1}{A} \leq C_{jk}^v$$

$$C_{jk}^m = C_{jk}^m + \frac{C_{jk}^m - C_{jk}^m}{2} \frac{1}{A} \leq C_{jk}^m$$

$$H_j^m = 1 \quad \forall j \in J, m \in M_j$$

$$H_k^m = 1 \quad \forall k \in K, m \in M_k$$

$$H_j^m = 0 \quad \forall j \in J, m \in M_j$$

$$H_k^m = 0 \quad \forall k \in K, m \in M_k$$

$$D_i + \bar{D}_i \leq U^i \quad \forall i \in Z, v \in V$$

$$O_j^z \geq X_{ij}^z \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$O_j^p \geq \bar{X}_{ij}^p \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$|O_j^v| \geq X_{ij}^v \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$|O_j^m| \geq \bar{X}_{ij}^m \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$O_j^z \geq X_{ij}^z \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$O_j^p \geq \bar{X}_{ij}^p \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$O_j^v \geq X_{ij}^v \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$O_j^m \geq \bar{X}_{ij}^m \quad \forall j \in J, v \in V, z \in Z$$

$$T_i, X_{ij}, N_{ij} \geq 0, \quad H_j^m, \bar{X}_{ij}, \bar{X}_{ij}, X_{ij}, \bar{X}_{ij} = (0,1), \quad X_{ij} \leq F_i$$

می‌دهد. محدودیت ۵ تعداد مسیرهای چندوجهی نوع خاص بوسیله کل تعداد کانتینرهای مشخص می‌شود که باید بین دو ترمینال شلوغ منتقل شوند. محدودیت ۶ برابری تعداد زنجیره‌های بین پایانه ای با تعداد محموله‌های ارسالی که دریافت‌کننده آن را قرار است تحویل بگیرد، برابر است. محدودیت ۷ مربوط به مکانیابی پایانه‌های مقصد است. این سه محدودیت نشان می‌دهد که تعداد محدودی از پایانه‌های مقصد، بهینه خواهند بود و انتخاب خواهند شد. ضمن اینکه برای هر محموله نیز یک پایانه در مقصد به عنوان پایانه بهینه انتخاب خواهد شد. محدودیت ۸ تضمین می‌کند که محموله‌ها قبل از زمان‌های تحویل مشخص شده به دریافت‌کننده می‌رسد. محدودیت ۹ تاکید می‌کند که اگر تجهیزات بارگیری و نگهداری محموله در دسترس باشد، درخواست ارسالی به پایانه مقصد امضاء می‌شود. محدودیت ۱۰ نشان می‌دهد که برای سیستم‌های صف شرایط پایدار وجود دارد و این پایداری؛ سیستم‌های صف شبکه از پایانه ارسالی تا پایانه ورودی را تقویت می‌کند. محدودیت ۱۱ ارزیابی متغیرهای شاخص میان مدلی در زنجیره ارسال-تحویل را مد نظر قرار داده تا با استفاده از اطلاعات این محدودیت‌ها بتواند امکان پذیر بودن زنجیره‌ها را ارزیابی نماید. محدودیت ۱۲ هم نامنفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد. در این محدودیت به این نکته اشاره شده است که هر محموله خارج شده از پایانه‌ها به پایانه مقصد k می‌رسد یا به پایانه دیگری خواهد رفت.

مثال عددی: به منظور نمایش کارایی مدل ارائه شده یک نمودار از مسئله در نرم افزار گمز کد و حل شده است. دو فرستنده و دو دریافت‌کننده در مدل در نظر گرفته شده است. در هر کدام از پایانه‌ها تعدادی تجهیزات به منظور حمل کانتینر‌ها از فرایند پواسون نظر گرفته شده است. که نرخ ورود کانتینر‌ها از فرایند پواسون تبعیت می‌کند و نرخ خدمت دهی به کانتینر‌ها از توزیع نمایی. جدول زیر هزینه و ریسک مربوط به هر قسمت را که توسط حل مدل بدست آمده است را نشان می‌دهد.

۲،۵۳۱،۴۸۲ = ریلی	۷،۳۷۷،۱۶۵ = حمل ریلی
۶،۳۶۵،۱۵۰ = بارگیری	۳۱،۹۱۶،۲۸۸ = بارگیری
۲،۶۰۷،۰۴۲ = ازدحام	۱۵،۶۸۰،۰۰۰ = خرید تجهیزات
۴،۲۴۷،۱۰۲ = مربوط به پایانه‌ها	۸،۴۲۲،۱۴۷ = مکان پایانه‌ها
۱۵،۷۵۰،۷۷۶ = جمع ریسک‌ها	۶۳،۳۹۵،۶۰۰ = جمع هزینه‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه را به منظور برنامه‌ریزی حمل و نقل چند وجهی مواد خطرناک که شامل کامیون و ریل است ارائه دادیم با توجه به ظرفیت تجهیزات ترمینال و ازدحام به ارائه مدلی به منظور مسیریابی حمل این مواد خطرناک و همچنین تعیین مکان‌های ترمینال به عنوان نقطه انتقال از مسیر راه به مسیر ریل پرداختیم. از طریق آزمایشات محاسباتی نتیجه می‌گیریم که ازدحام در ترمینال یک منبع غیر قابل چشم‌پوشی ریسک عمومی است و اگر ترمینال‌ها به مراکز پرجمعیت نزدیک باشند، این ازدحام منبع مهمی است. همچنین ریسک ازدحام ترمینال می‌تواند با استفاده از انواع معیارها کاهش یابد.

منابع

[1] J. Zhang, J. Hodgson, and E. Erkut, "Using GIS to assess the risks of hazardous materials transport in networks," European Journal of Operational Research, vol. 121, pp. 316-329, 2000.

[2] AAR, 2010. Rail Intermodal Keeps America Moving. Association of American Railroads – Policy and Economics Department, May 2010.

[3] G. Assadipour, G. Y. Ke, and M. Verma, "Planning and managing intermodal transportation of hazardous materials with capacity selection and congestion," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 76, pp. 45-57, 2015.

تابع هدف اول که هزینه‌های مربوط به بارگیری، حمل و نقل و باراندازی یک محموله مواد خطرناک یا عادی و هزینه مربوط به پایانه‌های در دسترس را که مکانیابی شده است را حداقل می‌سازد. تابع هدف دوم؛ ریسک مربوط به فعالیت‌های پایانه مبدأ، مسیر جا به جایی و حمل و نقل و پایانه مقصد را حداقل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های سوم؛ برابر بودن ظرفیت محموله‌های عادی و خطرناک را برای محموله ورودی و ارسالی در هر دو مسیر ریلی و جاده‌ای را نشان می‌دهد. محدودیت ۴ مربوط به برابری میزان تقاضای محموله با میزان محموله عادی و خطرناک ارسالی را نشان