

مدل سازی دو هدفه برای مسئله توزیع مواد سوختی در شبکه با انبار توزیع چندگانه

فرزاد محمود سلطانی^۱، رضا توکلی مقدم^{۲*}، نیکبخش جوادیان^۳، عباس محمودآبادی^۴
دانشگاه علوم و فنون مازندران، دانشگاه تهران، دانشگاه علوم و فنون مازندران، دانشگاه پیام نور

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۰۱

چکیده

افزایش چشم‌گیر جابه‌جایی مواد خطرناک نگرانی‌های را در مورد صدمات به انسان و طبیعت به‌وجود آورده است، بنابراین کاهش ریسک به‌عنوان معیاری مهم در محاسبات در نظر گرفته می‌شود. به‌طور خاص در این مقاله یک مدل دو هدفه خطی مختلط عدد صحیح برای مسئله توزیع مواد سوختی در شبکه با انبار توزیع چندگانه ارائه می‌گردد، به‌نحوی که مجموع هزینه انتقال و تأسیس انبار و مجموع ریسک برای انتقال مواد سوختی از انبار توزیع به نقاط تقاضا حداقل می‌شود. برای صحت‌گذاری مدل ریاضی، یک مثال عددی حل می‌شود و نتایج حاصل ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی - مسیریابی، مواد خطرناک، مدل دو هدفه، مختلط عدد صحیح.

۱- مقدمه

جابه‌جایی مواد خطرناک بخشی از مسائل حمل و نقل می‌باشد که با توجه به ماهیت آن از اهمیت خاصی برخوردار است. روزانه میلیون‌ها تن کالا در راه‌های سراسر دنیا جابه‌جا می‌شود که بخشی از این محمولات را مواد خطرناک تشکیل می‌دهند. به عقیده وزارت حمل و نقل آمریکا^۵ ماده خطرناک به این شکل تعریف می‌شود: هر ماده‌ای که بتواند باعث آسیب‌های جانی، مالی و زیست محیطی شود. مواد خطرناک براساس کنوانسیون حمل و نقل جاده‌ای کالا و محمولات خطرناک^۶ به نه طبقه تقسیم‌بندی شده‌اند [۱]. طبقات مورد نظر کنوانسیون فوق

در جدول (۱) آورده شده است. جدای از نقش و اهمیت اقتصادی جابه‌جایی محمولات خطرناک در کشورهای توسعه یافته، جابه‌جایی این محمولات نگرانی‌هایی را در مورد صدمات به انسان و طبیعت به‌وجود آورده است و از آنجا که جابه‌جایی مواد خطرناک نیز روز به روز در حال افزایش است و از این روست که برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش خطرات آنها در تمام مراحل انتقال مواد خام و تولید محصول لازم می‌باشد [۲].

در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک مقالات زیادی وجود دارد که ارکوت^۷ و همکاران [۳] آن را به چهار دسته طبقه‌بندی نموده است: ارزیابی ریسک، مسیریابی، ترکیب مسئله مکان‌یابی با مسیریابی و طراحی شبکه.

ریسک ابتدایی‌ترین عاملی است که مسائل حمل و نقل مواد خطرناک را از دیگر مسائل تفکیک می‌کند. در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک، ریسک اندازه احتمال و شدت آسیب به جامعه در معرض خطر^۸ در نتیجه یک حادثه ناخوشایند در مواد خطرناک می‌باشد [۴]. با توجه روابط موجود برای محاسبه ریسک:

ریسک تصادف = شدت حادثه × احتمال حادثه = ریسک
(ریسک زیست محیطی + ریسک جمعیتی) ×

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران،
پست الکترونیکی: farzad.ms@ustmb.ac.ir

۲- استاد گروه مهندسی صنایع پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: tavakoli@ut.ac.ir،
نشانی: تهران - خیابان انقلاب - دانشگاه تهران - پردیس دانشکده‌های فنی - گروه مهندسی صنایع.

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران، پست الکترونیکی: nijavadian@ustmb.ac.ir

۴- دکتری مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه پیام نور تهران، پست الکترونیکی: mahmoudabadi@phd.pnu.ac.ir

5- US Department of Transportation

6- European Agreement For Carriage Dangerous Goods and Substance by Road (ADR)

7- Erkut

8- Exposed Receptor

جدول (۱): طبقه‌بندی مواد خطرناک براساس کنوانسیون ADR

طبقه	نوع مواد	زیر طبقه	طبقه‌بندی
۱	مواد منفجره	۱/۱ تا ۱/۶	مواد منفجره
۲	گازها	۲/۱	گازهای قابل اشتعال
		۲/۲	گازهای غیر قابل اشتعال و غیر سمی
		۲/۳	گازهای سمی
۳	مایعات قابل اشتعال	-	مایعات قابل اشتعال
۴	جامدات قابل اشتعال	۴/۱	جامدات قابل اشتعال
		۴/۲	جامدات با ماهیت آتش زایی
		۴/۳	جامداتی که در مجاورت آب گاز قابل اشتعال تولید می‌کنند.
۵	مواد اکسید کننده	۵/۱	جامدات اکسید کننده
		۵/۲	پراکسیدهای آلی
۶	مواد سمی	۶/۱	مواد سمی
		۶/۲	مواد عفونت‌زا
۷	مواد رادیواکتیو	-	مواد رادیواکتیو
۸	مواد خورنده	-	مواد خورنده
۹	ضایعات پسماندها	-	ضایعات و پسماندها

است که در میان مسائل بهینه‌سازی ترکیبی به‌طور عمده مورد مطالعه قرار گرفته است. مسئله مکان‌یابی- مسیریابی^۳ مسیریابی^۴ (LRP) شامل تعیین تعداد، مکان و ظرفیت تسهیلات به‌طور هم‌زمان تعیین مجموعه مسیرهای بهینه مرتبط جهت خدمت‌رسانی به مشتریان می‌باشد. توزیع مواد از تسهیلات می‌تواند به‌صورت یک بار کامیون کامل یا کمتر از آن باشد. در مورد دیگر، معمولاً مسیرهایی شامل چند مشتری استفاده می‌شوند. از دیدگاه حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی یک مسئله NP-hard می‌باشد که محققین تحقیق در عملیات را به چالش می‌طلبد. در ادبیات موضوعی کاربردهای مختلفی از مسئله مکان‌یابی- مسیریابی در دنیای واقعی عنوان شده که از اواخر دهه ۱۹۶۰ آغاز گردید [۵ و ۶]. در ادامه مقاله در بخش دوم ادبیات موضوع مسئله مورد نظر ارائه می‌گردد. در بخش سوم مسئله مورد نظر تعریف و یک مدل ریاضی دو هدفه خطی مختلط عدد صحیح^۴ (MILP) برای آن ارائه می‌گردد. سپس در بخش چهارم یک مثال توسط این مدل حل و نتایج حاصل از آن نمایش داده می‌شود و در نهایت در بخش پنجم نتایج و برخی از پیشنهادات برای توسعه آتی ارائه می‌گردد.

حادثه ناخوشایند در این مورد نشت مواد خطرناک در نتیجه تصادف حمل و نقل باشد. نتیجه نشت این مواد می‌تواند اثرات بهداشتی (مرگ و میر، آسیب دیدگی یا تأثیرات دراز مدت بر جمعیت مورد اثر)، خسارات مالی، اثرات زیست محیطی (به‌طور مثال آلودگی آب و خاک و تأثیر بر سلامتی گیاهان و جانوران)، تخلیه جمعیت اطراف ناحیه پیش‌بینی منطقه خطر، توقف رفت و آمد بر مسیر تحت تأثیر حادثه باشد. حمل مواد خطرناک معمولاً از یک نقطه آغاز می‌شود که آن تسهیل خود به طبع برای ایمنی محیط زیست و جامعه خطرناک و جزو تسهیلات ناخوشایند^۱ است (مثل پالایشگاه). همچنین مقصد حمل مواد خطرناک نیز خود می‌تواند جزو تسهیلات ناخوشایند به حساب آید (مثل پمپ بنزین). بنابراین تلفیق تصمیمات مربوط به مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی می‌تواند در کاهش ریسک در ناحیه حمل و نقل مواد خطرناک کارا و مؤثر باشد. از مسئله مکان‌یابی- مسیریابی توسعه‌ای از مسئله کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه^۲ (VRP) می‌باشد. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در مورد یافتن مسیر بهینه گروهی از وسایل حمل و نقل بر مبنای یک ایستگاه یا بیشتر برای خدمت‌دهی به تعدادی مشتری می‌باشد. این از مسائلی

3- Location-Routing Problem
4- Mixed-Integer Linear Programming (MILP)

1- Undesirable Facility
2- Vehicle Routing Problem

۲- ادبیات موضوعی

بویکو^۱ و همکاران در تحقیقی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک را برای هر دو نوع حمل جاده‌ای و ریلی و برای دو مسیر یکسان با فرض اینکه یک مسیر کاملاً به صورت رو باز و دیگری کاملاً در تونل باشد، بررسی کردند [۷]. نتایج بررسی نشان داد در حمل ریلی همه انواع مواد خطرناک استفاده از تونل تأثیر خاصی بر ریسک ندارد ولی در حمل جاده‌ای، برای بیشتر مواد موجب افزایش ریسک می‌شود. این تحقیق نشان داد برای انواع مختلف مواد باید به صورت جداگانه با توجه به نوع حمل و استفاده از تونل تصمیم‌گیری شود. ارکوت^۲ و همکاران موضوع تعیین مسیر حمل و نقل مواد خطرناک را با فرض عبور وسایل نقلیه از مراکز جمعیتی درون شهرها مدل‌سازی نمودند [۸]. در عبور از شهرها وسایل نقلیه به دو بخش تقسیم شده‌اند. از آنجا که یک روش مناسب برای کاهش ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در عبور از شهرها تعیین شبکه مجاز حمل و نقل می‌باشد، آنها یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح دو سطحی را برای تعیین مسیر توسعه دادند. با توجه به ماهیت این گونه از مدل‌ها در مقیاس‌های بزرگ دشوار است و از این روست که آنها از یک روش ابتکاری با چهار سناریوی زیر برای حل آن استفاده کردند. دادکار^۳ و همکاران، بر این اعتقادند که زمان سفر و تبعات حوادث مواد خطرناک دارای الگوی احتمالی و غیرقطعی هستند و وابستگی به پارامترهایی مانند وضعیت دید، حجم ترافیک و نحوه فعالیت حمل‌کنندگان دارند [۹]. با توجه به این که مدل‌های پیوسته احتمالی الگوی مناسب‌تری برای این قبیل از پارامترها در طول روز ارائه می‌نمایند. الگوریتم به کار گرفته شده در تحقیق آنها k مسیر کوتاه^۴ است. شریعت و همکاران یک مدل مدل برنامه‌ریزی خطی با اعداد صحیح را با فرض ترکیب وزنی اهداف در تابع هدف توسعه دادند که برای مشخص نمودن بهترین جریان ترافیک تخصیص یافته به شبکه مورد استفاده قرار گرفت [۱۰]. آن را در یک محدوده شامل سه استان در ایران و با اطلاعات واقعی برای فرآورده‌های نفتی (گروه سه مواد خطرناک) اجرا نمودند. پرادانانگا^۵، تانیگوچی^۶ و یامادا^۷

الگوریتمی فرا ابتکاری و بر پایه کلونی مورچگان برای مسائل بهینه‌سازی حمل و نقل مواد خطرناک با پنجره زمانی ارائه دادند [۱۱]. الگوریتم آنها نیز از ایده مسیرهای متشابه بهره گرفته است. این محققین الگوریتم پیشنهاد شده را در مسائل نمونه بسیاری به کار گرفتند و از این طریق روایی آن را تصدیق کردند. نتایج به کارگیری این الگوریتم در طیف وسیعی از مسائل رضایت بخش بوده است. آنها هم‌چنین به کارگیری این الگوریتم در یک شبکه واقعی و تست آن را در زمینه‌ای در تحقیقات آتی معرفی کردند.

مسائل مسیریابی - مکان‌یابی، شامل تعیین تعداد، ظرفیت و مکان بهینه تسهیلات و نیز مجموعه بهینه مرتبط با مسیرهای مورد استفاده برای خدمت‌رسانی به مشتری می‌شود. از نگاه روش حل مسائل مسیریابی - مکان‌یابی به سختی مسائل غیرخطی محسوب شده و چالش‌ها و جذابیت‌های فراوانی برای محققین پژوهش عملیاتی دارند به همین جهت، حوزه‌ای مورد توجه بوده و مقالات متعددی خصوصاً در ۲۰ سال اخیر در این زمینه منتشر شده است که ناگی^۸ و سالهی^۹ به بررسی کامل مقالات مکان‌یابی مسیریابی پرداخته‌اند [۱۲]. در این میان مسائل مربوط به مواد خطرناک بخش کوچکی را شامل می‌شود که در برخی از آنها مدل‌های چند هدفه معرفی شده است.

ششبریس^{۱۰} اولین مطالعه روی مسئله مکان‌یابی - مسیریابی مواد خطرناک است که روی انتخاب مسیرها و مکان ذخیره برای سوخت هسته‌ای مصرف شده تمرکز دارد [۱۳]. او از رویکرد تجزیه برای جداسازی دو مسئله مکان‌یابی و مسیریابی از هم استفاده نمود. دو تابع هدف مسئله مسیریابی (تن - مایل و جمعیت آسیب‌پذیر - تن) کمینه شدند. مدل دو هدفه کوتاه‌ترین مسیر مربوطه مجموعه مسیرهای پارتوی بهینه بین هر منبع تولید (مبدأ) و هر مرکز ذخیره انتخابی (مقصد) تعیین می‌نماید. هزینه‌های وزن‌دار مرتبط با هر مسیر پارتوی بهینه، ضریب هزینه مسئله میانه را تعیین می‌کند که برای انتخاب محل ذخیره استفاده می‌شود. زاگرافس^{۱۱} و سامارا^{۱۲} یک مسئله مکان‌یابی - مسیریابی با سه تابع هدف (کمینه‌سازی ریسک حمل و نقل، کمینه‌سازی زمان سفر و کمینه‌سازی هزینه دفع) را برای برقراری مکان تعداد مشخصی از مراکز ضایعات تسهیلات درمان هم‌چنین

- 1- Bubbico
- 2- Erkut
- 3- Dadkar
- 4- K-Shortest Path Algorithm
- 5- Pradhananga
- 6- Taniguchi
- 7- Yamada

- 8- Nagy
- 9- Salhi
- 10- Shobrys
- 11- Zografos
- 12- Samara

تعیین مسیرهای جابه‌جایی مرتبط با آن، در نظر گرفته است [۱۴]. مدل آنها نیاز دارد که ضایعات مربوط به مواد خطرزا در هر یک از مراکز جمعیت به‌طور کامل دفع شود. هر مرکز جمعیت به نزدیک‌ترین محل دفع تخصیص داده می‌شود. علاوه بر این هر یک از مسیرهای این شبکه حمل و نقل دارای ظرفیت معین می‌باشند. برنامه‌ریزی ارمانی امتیازی جهت تولید جواب تحت تعداد کمی از سناروهای مختلف به‌کار رفته است. لیست^۱ و میرچندانی^۲ مدل مکان‌یابی - مسیریابی مواد خطرزایی را پیشنهاد نمودن که به‌طور هم‌زمان کل ریسک، کل هزینه حمل و نقل و یک‌نواختی ریسک را در نظر می‌گیرد [۱۵]. مدل آنها یک مدل کلی‌تر می‌باشد چون برای مواد خطرزا مختلف و تکنولوژی‌های پاکسازی آن قابل تعمیم است. در این مدل فرض بر این است که آسیب نقطه ناشی از تصادف وسیله نقلیه در یک ناحیه با مجذور فاصله اقلیدسی مابین نقطه و وسیله نقلیه رابطه عکس و با میزان حمل نسبت مستقیم دارد.

در تحقیقات پیشین مسئله مسیریابی و مکان‌یابی با هم خیلی کم در نظر گرفته شده است. در این تحقیق یک مدل دو هدفه خطی مختلط عدد صحیح (MILP) برای مسئله مکان‌یابی - مسیریابی مواد سوختی ارائه گشت که هم محل بهینه انبارهای توزیع مواد سوختی و هم مسیرهای بهینه مواصلاتی از انبار به نقاط تقاضا را مشخص می‌کند، که تا به حال مورد مطالعه قرار نگرفته است. هم‌چنین در این مقاله، دو هدف که شامل کمینه کردن هزینه کل و کمینه کردن ریسک کل مد نظر است. در این مسئله انواع ریسک حمل و نقل در نظر گرفته شده که شامل ریسک تصادف (احتمال تصادف)، ریسک جمعیتی و ریسک زیست محیطی (شدت حادثه) می‌باشد.

۳- تعریف مسئله

شبکه‌ای از راه‌ها در دسترس می‌باشد و یک سری نقاط متشکل از نقاط پیشنهادی جهت تأسیس انبارهای توزیع مواد سوختی و نقاط تقاضا (پمپ‌های بنزین و انبارهای محلی). این مقاله به دنبال این است که به‌طور هم‌زمان هم محل بهینه و تعداد بهینه انبارهای توزیع و هم مسیر بهینه از هر یک از این انبارها به سمت نقاط تقاضا را تعیین شود. در این مسئله علاوه بر هزینه، ریسک را نیز در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق دو هزینه موجود است:

۱- هزینه انتقال در هر مسیر

۲- هزینه تأسیس یک انبار توزیع جدید.

در این مقاله، دو نوع ریسک نیز در نظر می‌گیریم: ریسک در هر مسیر که شامل؛ ۱- ریسک جمعیتی ۲- ریسک تصادف ۳- ریسک زیست. برای مسئله فوق یک مدل دو هدفه خطی مختلط عدد صحیح^۳ مکان‌یابی - مسیریابی ارائه می‌شود که هم محل بهینه انبارهای توزیع مواد سوختی و هم مسیرهای بهینه مواصلاتی از انبار به جایگاه‌های سوخت‌رسانی یا انبارهای محلی را مشخص می‌کند. مفروضات مسئله مورد نظر از این قرار است که هر مسیر در جهت رفت و برگشت قابل استفاده می‌باشد، گره‌ها می‌تواند نقاط تقاضا و یا محل پیشنهادی برای تأسیس یک انبار توزیع باشند، روابط بین متغیرها خطی می‌باشند، ریسک عبور مواد خطرناک از مسیر بین دو گره در جهت رفت با جهت برگشت برابر است، هزینه انتقال نیز در جهت رفت با جهت برگشت برابر است، میزان تقاضا در نقاط تقاضا و ظرفیت انبارها معین است و میزان هر یک از ریسک‌ها معین می‌باشد.

۳-۱- نمادها، تعاریف، پارامترها و متغیرهای تصمیم

شبکه به‌صورت $G=(V,E)$ تعریف می‌شود که V مجموعه‌ای از گره‌ها و E مجموعه‌ای از کمان‌ها می‌باشد.

۳-۲- اندیس‌ها

I : مجموعه‌ای از m نقطه بالقوه جهت احداث انبار پیشنهادی ($I \in V$)
 J : مجموعه‌ای از n نقطه تقاضا ($J \in V$)

۳-۳- پارامترها

m : تعداد انبارهای توزیع پیشنهادی
 n : تعداد نقاط تقاضا
 TC_{ij} : هزینه جابه‌جایی در مسیر بین گره (نرخ پایه در طول بر حسب کیلومتر) $i,j (V \in i,j)$
 PR_{ij} : ریسک جمعیتی در مسیر بین گره $i,j (V \in i,j)$
 AR_{ij} : ریسک تصادف در مسیر بین گره $i,j (V \in i,j)$
 ER_{ij} : ریسک زیست محیطی در مسیر بین گره $i,j (V \in i,j)$
 D_j : میزان تقاضا نقطه تقاضا j ام بر حسب تن ($j \in J$)

1- List
 2- Mirchandani

3- Mix Integer Linear Programming (MILP)

C_i : میزان ظرفیت انبار توزیع پیشنهادی i ام ($i \in I$)

۳-۴- توابع هدف و متغیرها

Z_1 : مجموع هزینه

Z_2 : مجموع ریسک

$$X_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{اگر مواد سوختی بین گره } i, j \text{ جابجا شود} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1; & \text{اگر انبار توزیع } i \text{ ام تأسیس شود} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$F_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{اگر بین انبار توزیع } i \text{ ام نقطه و تقاضا } j \text{ ام مسیری موجود باشد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

۳-۵- مدل ریاضی

توابع هدف و محدودیت‌ها به قرار زیر فرمول‌بندی می‌شوند:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} X_{ij} TC_{ij} + \sum_{i \in I} Y_i EC_i \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} X_{ij} (AR_{ij} (PR_{ij} + ER_{ij})) \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j \in V} X_{ij} - \sum_{j \in V} X_{ji} = 0 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} F_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{u \in J} X_{iu} + \sum_{u \in V/J} X_{uj} = 1 + F_{ij} \quad \forall j \in J, i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} F_{ij} D_j \leq C_i Y_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$F_{ij}, X_{ij}, Y_i \in \{0, 1\} \quad (7)$$

معادله (۱) بیانگر مجموع هزینه جابه‌جایی مواد خطرناک در شبکه و تأسیس انبارهای توزیع پیشنهادی می‌باشد و معادله (۲) بیانگر مجموع ریسک در شبکه می‌باشد. محدودیت (۳) پیوستگی هر یک از مسیرها را ضمانت می‌کند، اگر از i به j مسیری موجود باشد از j به i هم به‌طور مشابه مسیری موجود است (راه‌ها در جهت رفت و برگشت قابل استفاده می‌باشد). محدودیت (۴) بیانگر این می‌باشد که هر یک از نقاط تقاضا می‌باید کل نیازشان را از یک انبار توزیع تأمین می‌کنند. محدودیت (۵) بیانگر این می‌باشد که مواد سوختی در صورتی می‌تواند از انبار توزیع i به نقطه تقاضا j انتقال پیدا کند که بین آنها مسیری

ارتباطی موجود باشد. محدودیت (۶) محدودیت ظرفیت می‌باشد و بیانگر این است که مجموع ارسال مواد سوختی از هر انبار توزیع نباید بیشتر از ظرفیت آن باشد. محدودیت (۷) بیانگر نوع متغیرها است که از نوع صفر و یک می‌باشد.

۴- نتایج محاسباتی

مثال ۱: یک شبکه که شامل ۵ گره و ۵ کمان می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. دو گره از گره‌های شبکه نقاط پیشنهادی جهت تأسیس انبار توزیع می‌باشد که ظرفیت و هزینه تأسیس آنها را در جدول (۲) نمایش داده شده است. هم‌چنین نقاط ۳ و ۴ نقاط تقاضا می‌باشند که میزان تقاضای آنها را در جدول (۳) نمایش داده شده است. اطلاعات مربوط به هر کمان شامل طول کمان و میزان یک از ریسک‌ها را در جدول (۴) نمایش داده می‌شود.

جدول (۲): اطلاعات مربوط به نقاط پیشنهادی

جهت تأسیس انبار توزیع

گره	ظرفیت	هزینه تأسیس
۱	۸۰	۱۰۰۰
۲	۷۰	۸۰۰

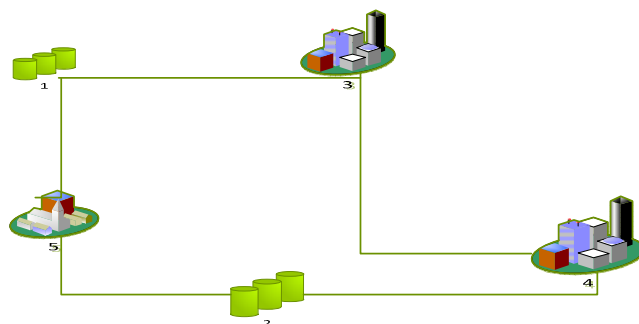
جدول (۳): اطلاعات مربوط به نقاط تقاضا

گره	تقاضا
۳	۳۰
۴	۴۰

همان‌طور که گفته شد مسئله دارای دو هدف است. در این مقاله، با استفاده از ترکیب خطی توابع هدف آنها به یک هدف تبدیل می‌شوند. برای ترکیب اهداف می‌بایست آنها هم فاز باشند. بنابراین اهداف توسط روش نرمالایز کردن هم فاز می‌شوند بدین صورت که ضرایب متغیرها در تابع هدف بر بیشترین مقدار آن تقسیم می‌شود.

جدول (۴): اطلاعات مربوط به کمان‌ها

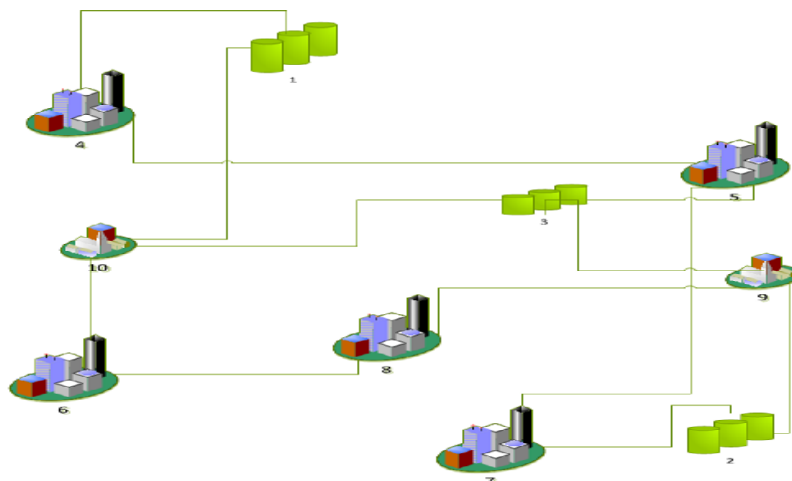
کمان	طول	ریسک		
		تصادف	جمعیتی	زیست محیطی
۳-۱	۱۵	۰,۹	۰,۷	۰,۵
۵-۱	۳۰	۰,۳	۰,۵	۰,۳
۵-۲	۲۰	۰,۵	۰,۳	۰,۱
۴-۲	۱۵	۰,۹	۰,۵	۰,۵
۴-۳	۲۵	۰,۱	۰,۹	۰,۵



شکل (۱): شبکه مسیرها و گره‌های مربوط به مثال ۱

جدول (۵): نتایج حاصل از حل مثال ۱

ریسک کل	هزینه کل	ترکیب خطی بهینه اهداف	مسیر بهینه	گره مقصد	گره مبدأ
۱,۷۹	۸۵۵	۲,۲۷۴	۳-۴-۲	۳	۲
			۴-۲	۴	



شکل (۲): شبکه مسیرها و گره‌های مربوط به مثال ۲

جدول (۶): اطلاعات مربوط به نقاط پیشنهادی جهت تأسیس انبار توزیع

گره	ظرفیت	هزینه تأسیس
۱	۸۰	۱۰۰۰۰
۲	۴۰	۸۰۰۰
۳	۵۰	۶۰۰۰

جدول (۷): اطلاعات مربوط به نقاط تقاضا

گره	تقاضا
۴	۲۰
۵	۳۰
۶	۲۵
۷	۱۰
۸	۳۵

مثال ۱: یک شبکه که شامل ۱۰ گره و ۱۲ کمان می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. سه گره از گره‌های شبکه نقاط پیشنهادی جهت تأسیس انبار توزیع می‌باشد که ظرفیت و هزینه تأسیس آنها را در جدول (۶) نمایش داده شده است. همچنین نقاط ۴ الی ۸ نقاط تقاضا می‌باشند که میزان تقاضای آنها را در جدول (۷) نمایش داده شده است. اطلاعات مربوط به هر کمان شامل طول کمان و میزان هر یک از ریسک‌ها را در جدول (۸) نمایش داده می‌شود.

$$\text{Min } Z = Z_2^{\wedge} \times \lambda + Z_1^{\wedge} \times (1 - \lambda) \quad (8)$$

مثال ۲: یک شبکه که شامل ۱۰ گره و ۱۲ کمان می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. سه گره از گره‌های شبکه نقاط پیشنهادی جهت تأسیس انبار توزیع می‌باشد که ظرفیت و هزینه تأسیس آنها را در جدول (۶) نمایش داده شده است. همچنین نقاط ۴ الی ۸ نقاط تقاضا می‌باشند که میزان تقاضای آنها را در جدول (۷) نمایش داده شده است. اطلاعات مربوط به هر کمان شامل طول کمان و میزان هر یک از ریسک‌ها را در جدول (۸) نمایش داده می‌شود.

جدول (۸): اطلاعات مربوط به کمان‌ها

کمان	طول	ریسک		
		تصادف	جمعیتی	زیست محیطی
۴-۱	۱۰	۰,۷	۰,۹	۰,۵
۱۰-۱	۳۰	۰,۳	۰,۵	۰,۳
۷-۲	۱۰	۰,۵	۰,۳	۰,۱
۹-۲	۳۰	۰,۳	۰,۵	۰,۷
۵-۳	۱۰	۰,۵	۰,۹	۰,۵
۱۰-۳	۶۰	۰,۱	۰,۳	۰,۱
۹-۳	۳۰	۰,۳	۰,۵	۰,۳
۵-۴	۷۰	۰,۵	۰,۳	۰,۱
۷-۵	۸۰	۰,۳	۰,۱	۰,۱
۸-۶	۲۰	۰,۹	۰,۳	۰,۵
۱۰-۶	۳۰	۰,۵	۰,۵	۰,۹
۹-۸	۳۵	۰,۳	۰,۳	۰,۵

جابه‌جایی فرآورده‌های سوختی یک کرایه حمل دارد که این کرایه براساس یک نرخ پایه محاسبه می‌شود که این نرخ براساس تن کیلومتر می‌باشد. در استان مازندران دو نوع نرخ موجود است: نرخ برای جاده‌های کفی (۴۵۰ ریال) و نرخ برای جاده‌های کوهستانی (۱۰۶۰ ریال). ما این نرخ‌ها را با توجه نوع مسیر در طول آن ضرب کرده تا هزینه حمل به ازای یک واحد مواد سوختی برای هر یک از مسیرها به‌دست بیاید. همان‌طور که در این جدول (۹) مشخص است دو انبار پیشنهادی ۱ و ۳ جهت تأسیس انتخاب شد که به ترتیب هر یک تقاضای نقاط تقاضای (۴,۶,۸) و (۵,۷) را از طریق مسیر بهینه نمایش داده شده در جدول تأمین می‌نمایند.

۵- نتیجه‌گیری

روزانه میلیون‌ها تن کالا در راه‌های کشورهای مختلف جهان در حال جابه‌جا شدن است و بخشی از این‌گونه محمولات را محمولات خطرناک تشکیل می‌دهند. در مروری که از ادبیات موضوع مربوط به حمل و نقل مواد خطرناک ارائه گردید، می‌توان متوجه شد که مسئله مسیریابی - مکان‌یابی کم در نظر گرفته شده است. هدف این مقاله، تعیین تعداد و مکان جهت تأسیس انبار توزیع پیشنهادی و همچنین یافتن اینکه هر یک از نقاط تقاضا توسط کدام انبار تأمین شود و از چه مسیری بود. در این مقاله، سه نوع ریسک مهم از ریسک تصادف، ریسک جمعیتی و ریسک جمعیتی در نظر گرفته شد. سپس یک مدل ریاضی دو هدفه خطی مختلط عدد صحیح برای مسئله مورد نظر توسعه داده شد. از نرم‌افزار بهینه‌سازی LINGO برای حل مسئله مورد نظر استفاده شد و نتایج حاصل ارائه گردید به‌طوری که ترکیب خطی دو معیار ریسک و هزینه حداقل گردید و ایمن‌ترین مسیرها توسط این دو معیار تعیین شد. با توجه به اینکه در این مقاله یک نوع ماده خطرناک تحت عنوان مواد سوختی در نظر گرفته شده است، برخی از پیشنهادها برای توسعه آتی به شرح زیر ارائه می‌گردد.

چند نوع ماده خطرناک را به‌طور هم‌زمان و تأثیرشان روی پارامترهای مختلف می‌توان در نظر گرفت. همچنین اهداف دیگر (مانند کمینه‌سازی حداکثر ریسک مسیر) و برخی از پارامتر مسئله به‌صورت غیرقطعی مورد بررسی قرار داد.

جدول (۹): نتایج حاصل از حل مثال ۲

گره مبدأ	گره مقصد	مسیر بهینه	ترکیب خطی بهینه اهداف	هزینه کل	ریسک کل
۱	۴	۴-۱	۳,۳۲۱	۳۵۲۵۵	۱,۷۷۸
	۶	۶-۱۰-۱			
	۸	۸-۹-۳-۱۰-۱			
۳	۵	۵-۳			
	۷	۷-۵-۳			

and disposal”, Transportation Research Record, Vol. 1245, pp. 52–59, (1989).

- [15] List, G., Mirchandani, P., “An integrated network planar multi-objective model for routing and siting for hazardous materials and wastes”, Transportation Science, Vol. 25, No. 2, pp. 146–156, (1991).
- [16] Mahmoudabadi, A., Seyedhosseini, S.M., “Developing a chaotic pattern of Hazmat routing problem”, IATSS Research, Articles in Press, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.06.003>

مراجع

- [1] www.hse.gov.uk/cdg/manual/classification.htm
- [2] Diaz-Banez, J.M., Gomez, F., Toussain, G.T., “Computing shortest paths for transportation of hazardous materials in continuous spaces”, Journal of Food Engineering, Vol. 70, pp. 293–298, (2005).
- [3] Erkut, E., S. A. Tjandra, Verter, V., “Hazardous Materials Transportation”, Handbooks in Operations Research and Management Science. Edited by B. Cynthia and L. Gilbert, Elsevier, Vol.14, pp.539-621, (2007).
- [4] Alp, E., “Risk-based transportation planning practice overall methodology and a case example”, INFOR, Vol. 33, No. 1, pp. 4–19, (1995).
- [5] Christofides, N., Eilon, S., “Expected distances in distribution problems”, Operational Research Quarterly, Vol. 20, pp. 437–443, (1969).
- [6] Madsen, O.B.G., “Methods for solving combined two level location–routing problems of realistic dimensions”, European Journal of Operational Research, Vol. 12, No. 3, pp. 295–301, (1983).
- [7] Bubbico R, Di Cave.S, Mazzarotta, Silveti, B. Preliminary study on the transport of hazardous materials through tunnels. Accident Analysis & Prevention, 41(6), 1199-1205, (2009).
- [8] Erkut, Gzara., “Solving the Hazmat transport network design problem”, Computers & Operations Research, Vol. 35, pp. 2234–2247, (2008).
- [9] Y. Dadkar, D. Jones, L. Nozick., “Identifying geographically diverse routes for the transportation of hazardous materials”, Transportation Research - Part E, Vol. 44, pp. 333-349, (2008).
- [10] Shariat Mohaymany, A., Khodadadian, M., “A routing methodology for hazardous material transportation to reduce the risk of road network”, International Journal of Engineering Science, Vol. 19, No. 3, pp. 57-65, (2008).
- [11] Pradhananga R, Taniguchi E, Yamada T. Ant colony system based routing and scheduling for hazardous material transportation . Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2(3), 6097-6108, (2010).
- [12] Nagy, G., Salhi, S., “Location-routing: Issues, models and methods”, European Journal of Operational Research, Vol. 177, pp. 649–672, (2007).
- [13] Shobrys, D. A., “Model for the selection of shipping routes and storage locations for a hazardous substance”, PhD Thesis, Johns Hopkins University, Baltimore. (1981).
- [14] Zografos, K.G., Samara, S., “Combined location–routing model for hazardous waste transportation