

بهینه سازی شبکه حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک مطالعه موردی استان کردستان

سیده اسرا احمدی^۱، مجید سبزه^۲، یاسر کارگری^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار دانشگاه صنعتی شاهرود.

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مالی دانشگاه تهران.

^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مالی دانشگاه تهران.

نام نویسنده مسئول:

سیده اسرا احمدی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۴

چکیده

مواد خطرناک و حمل نقل آن ممکن است بصورت گسترده ای جان و مال انسان ها را در معرض تهدید قرار دهد. مواد خطرناک شامل گازها، مواد منفجره، مواد آلاینده، موادی که باعث صدمه به محیط زیست می شوند، مواد سمی و غیره اقلامی هستند که بصورت های مختلف مثل مایعات، جامدات و گازها در هنگام حمل و نقل بخصوص تصادفات ممکن است فاجعه بوجود آورد. مقاله حاضر با شناسایی و طبقه بندی مواد خطرناک در شبکه ای از راه های استان کردستان و استان های همجوار با مبدأ و مقصد متفاوت و تقاضای معین بررسی شده است. نخست، شاخص ریسک با مؤلفه های جمعیت و ریسک در هر مسیر محاسبه شد. در مسیریابی هم به ریسک در کل شبکه و هم به ریسک در مسیر توجه شده است تا عدالت در توزیع ریسک برقرار باشد. بنابراین مدل اصلی پیشنهادی این پژوهش یک مدل خطی یک سطحی با توجه تنها به مقوله ایمنی است، مسیرهایی ایمن برای حمل مواد خطرناک پیشنهاد شده است. از نتایج این پژوهش می توان در جلوگیری از حوادث حمل مواد خطرناک و مدیریت ناوگان ترابری این مواد بهره گرفت.

واژگان کلیدی: مواد خطرناک، شبکه حمل و نقل، ریسک، بهینه سازی، نرم افزار GAMS.

مقدمه

حمل و نقل مواد خطرناک^۱ مساله مهمی در جوامع صنعتی است و این اهمیت به دلیل فراگیر بودن این مواد می باشد. ماده خطرناک به ماده ای گفته می شود که علی رغم کاربرد زیاد در صنعت، با توجه به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی می تواند باعث آسیب به یک عنصر آسیب پذیر شود. آسیب پذیران شامل انسان ها، جانوران، محیط زیست و یا اموال و ساختمان ها هستند. در کشور ما نیز با رشد صنعت، روز به روز نیاز به استفاده از این مواد بیش از پیش احساس می گردد. برای بسیاری از جوامع صنعتی، زندگی کردن بدون مواد خطرناک غیر ممکن است. متأسفانه اکثر مواد خطرناک در همان محل تولید مصرف (استفاده) نمی شوند و در فواصل زیادی حمل می شوند. برای مثال، نفت از مناطق نفت خیز گرفته و به پالایشگاه ها منتقل می شود و بسیاری از مشتقات نفت از پالایشگاه به مناطق دیگر ارسال می شود. بنابراین، سیستم حمل و نقل، نقش عمده ای در جابه جایی امن مواد خطرناک دارد (ارکوت، ۱۹۹۸). برای جلوگیری از تبدیل شدن ریسک های حمل مواد خطرناک به آسیب، خسارات یا تلفات راهکارهایی وجود دارد که این ریسک ها را کاهش می دهد و یا از شدت عواقب آن می کاهد. حوادث مربوط به مواد خطرناک در ادبیات به عنوان حوادث احتمال پایین-پیامد زیاد شناخته می شود. بنابراین علی رغم احتمال وقوع نسبتاً کم این نوع حوادث، پیامدهای وقوع آن ها بسیار زیاد و گاه فاجعه آمیز خواهد بود (کارا^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). اگرچه حمل و نقل مواد خطرناک به عنوان رویدادهایی با احتمال کم و شدت بالا^۳ (LPHC) طبقه بندی می شوند (بیانکو و همکاران^۴، ۲۰۰۹) (لوزانو و همکاران^۵، ۲۰۱۱) (چاکرابارتی و همکاران^۶، ۲۰۱۱)، اما نشت این مواد بسیار برای محیط زیست و سلامتی انسان ها مضر است. بعلاوه شدت برخی از این حوادث در کشورهای در حال توسعه مثل هند به صورت قابل ملاحظه ای بیشتر از کشورهای توسعه یافته می باشد. رقم تلفات در هر ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه در هند ۱۴ است و این در حالیست که این عدد در کشوری مثل آمریکا کمتر از ۲ می باشد (چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۱۱). ایران سالیانه تقریباً با ۲۷۰۰۰ کشته و ۲۸۰۰۰ مجروح در سوانح رانندگی دارای جایگاه دوم در تصادفات جاده ای تا پایان سال ۱۳۹۰ در جهان است (زاره و همکاران^۷، ۲۰۱۲). با توجه به اینکه کشور ما نیز از جمله کشورهای در حال توسعه بوده و سوابقی همچون حوادث صنعتی در بخش حمل و نقل مانند فاجعه قطار نیشابور را در کارنامه خود می بیند، اهمیت این مسئله بیش از پیش برای ما آشکار می شود. در مطالعه ای که توسط اگرو و همکاران در سال ۲۰۰۶ صورت پذیرفت، ۱۹۳۲ حادثه رخ داده در حین حمل و نقل جاده ای و ریلی مواد خطرناک از آغاز قرن بیستم تا جولای ۲۰۰۴ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده افزایش فراوانی حوادث را در طول این مدت نشان داد. بیش از نیمی از حوادث (۶۳٪) مربوط به حمل و نقل جاده ای بودند. بیشترین فراوانی حوادث مربوط به آزاد شدن مواد شیمیایی در محیط زیست با ۷۸٪ به دنبال آن حریق با ۲۸٪ انفجار با ۱۴٪ و تشکیل ابر گازی با ۶٪ در رده های بعدی قرار داشتند. علل مختلف مربوط به حوادث نیز مورد آنالیز قرار گرفت که شامل نوع مواد درگیر و پیامد حادثه برای جمعیت در معرض (تعداد افراد کشته شده، مجروح و آواره شده) بودند. در نهایت مشخص شد که در میان اقدامات متنوع به منظور بهبود این وضعیت، آموزش افراد درگیر در حمل و نقل مواد خطرناک دارای اهمیت زیادی می باشد (اوگیرو و همکاران^۸، ۲۰۰۶).

جمعیت متأثر از حوادث حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک در ایران بر اساس نوع پیامد حوادث، به دو دسته

تقسیم می شوند:

- تعداد مرگ و میر
- تعداد افراد مجروح شده

1 Hazardous Materials

2 Kara

3 Low probability high consequence

4 Bianco L

5 Lozano

6 Chakrabarti UK

7 Zare H

8 Oggero A

ابعاد مطالعاتی در زمینه حمل مواد خطرناک را می توان در چهار دسته طبقه بندی نمود که عبارتند از (ارکوت^۹، ۲۰۰۷):

(الف) شناخت خصوصیات مواد و مطالعات آیین نامه ای برای حمل مواد خطرناک

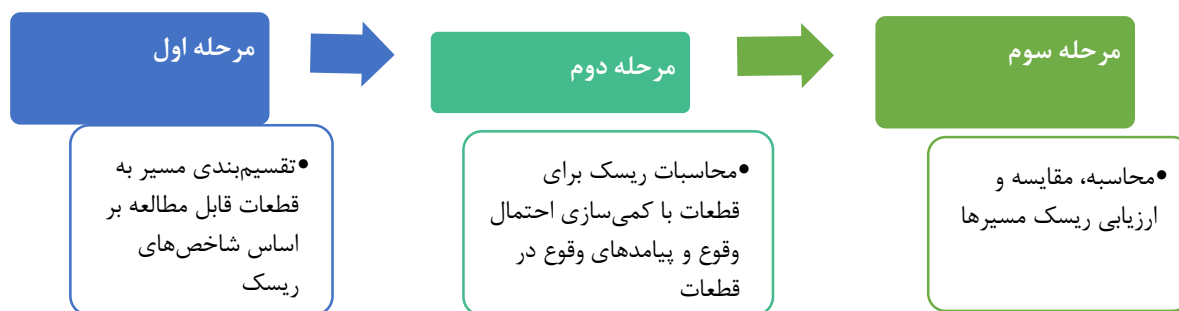
(ب) ارزیابی و محاسبات ریسک

(ج) مسیریابی و بهینه سازی مسیر

(د) طراحی شبکه

ابعاد بالا به نوعی مراحل مطالعه در این زمینه هستند که خروجی هر مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. به این ترتیب که در مطالعات مربوط به حمل و نقل مواد خطرناک پس از شناخت خطرات و مطالعات آیین نامه ای ریسک های موجود در مسیرهای حمل مواد خطرناک محاسبه می شود. از ریسک محاسبه شده مسیرها در مدل های انتخاب مسیر بهینه برای حمل مواد خطرناک استفاده می شود و در نهایت با توجه به مسیرهای بهینه و یا بحرانی برای حمل مواد خطرناک در طراحی شبکه مورد استفاده قرار می گیرد. به این صورت که مسیرهایی در شبکه برای حمل مواد خطرناک انتخاب یا ساخته شوند که ریسک مربوط به آن را به حداقل برسانند.

هدف این مطالعه ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک است که این ارزیابی شامل محاسبه ریسک کلی یک مسیر و مقایسه آن با ریسک مسیرهای جایگزین است.



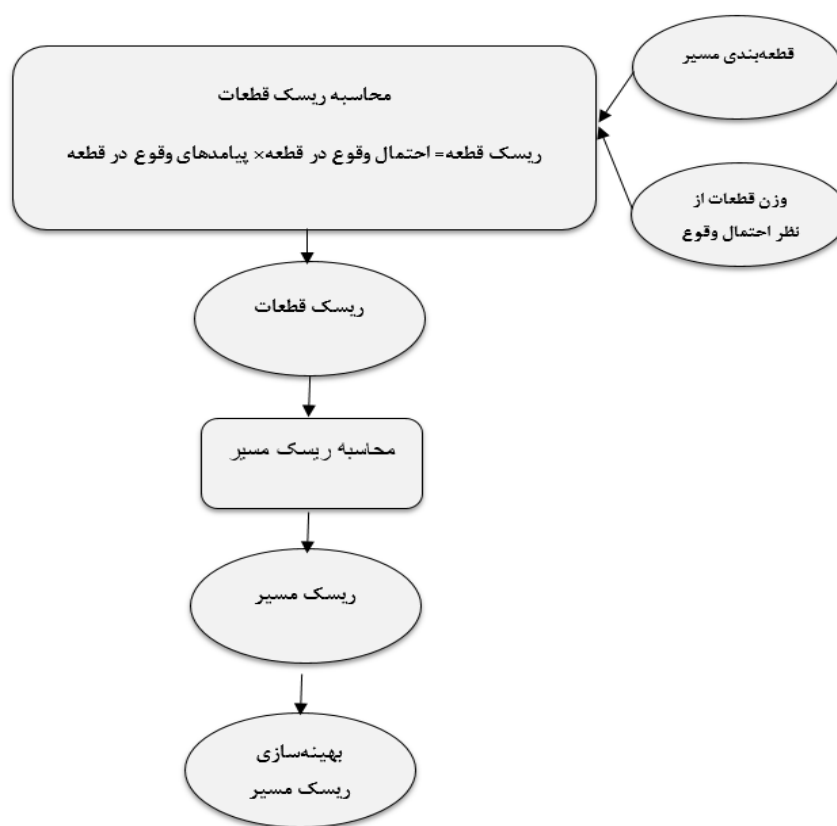
شکل ۱ مراحل کلی رویکرد این پژوهش برای ارزیابی مسیر بر پایه ریسک

جدول ۱ ویژگی های حوادث حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک

نوع خطر	ردیف	نوع ماده	تعداد حوادث	حجم محموله (متر مکعب)	نوع ظروف	نوع وسیله نقلیه
قابلیت اشتعال	۱	استن	۳۲	۴۱۵	ظروف فله و غیر فله	تانکر متصل به کشنده، کانتینر
	۲	روغن معدنی	۱۱	۲۳۳	ظروف فله و غیر فله	تانکر متصل به کشنده و کامیون
	۳	نفت	۳۲	۶۱۱	ظروف فله و غیر فله	تانکر متصل به کشنده و کانتینر
	۴	تولوئن	۲۱	۳۱۸	ظروف فله و غیر فله	تانکر و کانتینر
	۵	بنزن	۱۸	۲۷۶	ظروف فله و غیر فله	کانتینر، تانکر
	۶	اتیلن	۲۷	۴۰۳	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
	۷	متانول	۲۴	۳۶۸	ظروف فله و غیر فله	تانکر متصل به کشنده، کامیون، کانتینر
سمیت و قابلیت اشتعال	۸	بنزین	۶۳	۱۰۰۶	ظروف فله و غیر فله	تانکر و کامیون
	۹	گازوئیل	۵۷	۹۲۷	ظروف فله و غیر فله	تانکر و کامیون
	۱	استالدهید	۲۸	۴۱۸	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کامیون
	۲	استیلن	۱۸	۱۹۵	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
	۳	آمونیاک	۱۳	۱۶۶	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
	۴	ونیل کلراید	۱۱	۱۶۵	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کامیون
	۵	اتیلن اکساید	۲۹	۲۶۹	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
	۶	LPG	۱۰۴	۱۴۵۵	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر، نپسان
	۷	هیدروژن	۹	۹۸	ظروف فله	تانکر
	۱	هیدروژن کلرید	۱۹	۱۸۷	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
خورندگی	۲	فسفریک اسید	۲۳	۲۱۸	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کامیون و کانتینر
	۳	سولفوریک اسید	۲۱	۲۵۲	ظروف فله و غیر فله	تانکر، نپسان و کانتینر
	۴	نیتریک اسید	۳۲	۲۹۶	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
	۵	هیدروژن فلوئورید	۱۷	۱۶۲	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کامیون و کانتینر
	۱	کلرین	۱۸	۲۱۶	ظروف فله و غیر فله	تانکر
سمیت	۲	تتراکلرید کربن	۱۳	۱۲۵	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کامیون و کانتینر
	۳	هالوتان	۱۱	۹۸	ظروف فله	تانکر متصل به کشنده
	۴	هیدروژن پراکسید	۵	۴۳	ظروف فله و غیر فله	تانکر، کانتینر
کل	-	-	۶۵۶	۸۹۲۰	-	-

در پیامدهای وقوع به دست آورد. اگر احتمال وقوع حادثه مربوط به مواد خطرناک را با P و پیامدهای وقوع حادثه را با C نمایش داده شود، ریسک R از رابطه (۳) محاسبه میگردد (چاکبارتی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$R=P \times C$$



شکل ۲ ساختار و روند کلی به همراه ورودی ها و خروجی های رویکرد

مسیریابی مواد خطرناک^{۱۰} مسأله تصمیم گیری مهم و جالب توجهی برای تولید کننده و مصرف کننده، حامل های مواد خطرناک، دولت های محلی، شرکت های بیمه و جمعیتی است که در معرض خطرات ناشی از این محموله ها قرار دارند. اگر چه احتمال تصادف برای هر سفر کم است، اما با توجه به حجم محموله های مواد خطرناک و مدت زمان طولانی حمل و در معرض آسیب قرار گرفتن توسط آن، این احتمال بیشتر می شود. خطرات تحمیل شده بر ساکنانی که در نزدیکی مسیر حمل و نقل زندگی می کنند، با در نظر گرفتن احتمال ریسک در برنامه ریزی و انتخاب مسیرهای حمل و نقل، می تواند کاهش قابل توجهی پیدا کند.

فرض بر این است که ساکنانی که در داخل یک دایره خطر^{۱۱} به مرکز حادثه و با شعاع تأثیر زندگی می کنند حوادث نامطلوب را تجربه خواهند کرد، اما ساکنانی که خارج از این دایره خطر هستند این حوادث و نتایج ناشی از آن اثری روی آنها ندارد.

هدف اصلی پیدا کردن بهترین مسیر بین هر زوج مبدأ- مقصد^{۱۲} براساس معیارهای معین برای هر کمان شبکه است. از دیدگاه شرکت های حمل و نقل، قراردادهای حمل مستقل بسته می شود و تصمیمات مسیریابی برای هر مسیر باید جداگانه گرفته شود که به آن برنامه ریزی مسیریابی محلی گویند. در سطح کلان، مسیریابی مواد خطرناک یک مسأله چند در چند است که مبداهای متعدد و مقاصد حتی بیشتر دارد. در نتیجه چنین مسایلی را برنامه ریزی مسیریابی سراسری گویند.

¹⁰ Hazardous Material/Hazmat

² Danger circle

³ Origin-destination pair

در مسأله پیش رو حمل و نقل ۵ ماده خطرناک شامل بنزین، بنزین سوپر، نفت گاز، نفت سفید و نفت کوره در ۵ مبدا و ۱۰ مقصد در فروردین ماه سال ۱۳۹۸ مورد مطالعه قرار گرفته است.

مبادی شامل شهرستان های: همدان، اراک، کرمانشاه، تبریز و میاندوآب مقاصد شامل شهرستان های: سنندج، بیجار، سقز، بانه، قروه، میوان، دهگلان، کامیاران و دیواندره با توجه به این مبادی و مقاصد شبکه راه های موجود ترسیم شده است. این شبکه در مجموع شامل ۵۹ گره می باشد و سعی بر این است تا مسیر های مناسب از بین کمان های موجود بین گره های شبکه با توجه به عامل ریسک تعیین شوند. در مسیریابی عوامل مختلفی از جمله ریسک جمعیتی، نوع راه، نوع و مقدار مواد خطرناک، قابلیت امداد رسانی، شرایط توپوگرافی، تداوم مسیر، مسیرهای جایگزین، ملاحظات اقتصادی، تاخیر در حمل و نقل، شرایط اقلیمی، پیشینه تصادفات و حجم ترافیک معابر مطرح است.

اما در این مقاله فقط دو عامل احتمال تصادف و ریسک جمعیتی در نظر گرفته شده است.

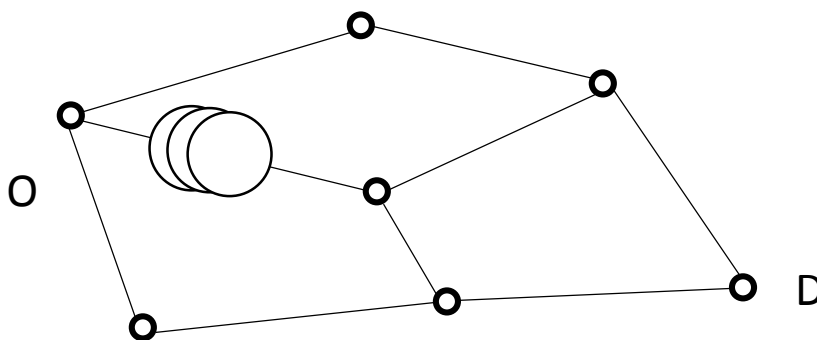
الف) مدل سازی ریسک برای حمل و نقل مواد خطرناک

اگرچه خطر یک اصطلاح محبوب در رسانه ها و موضوعی جالب توجه برای نویسندگان است، اما هنوز هیچ تعریف جهانی پذیرفته شده از خطر وجود ندارد. همه مردم با این موافق هستند که خطر احتمال پیامدی نامطلوب است. هر چند برخی از نویسندگان تنها یک تعریف از ریسک دارند و آن هم توجه صرف به احتمال یا نتیجه است.

اما شایع ترین تعریف از ریسک ترکیبی از احتمال و نتیجه است. در مورد حمل و نقل مواد خطرناک یکی از حوادث ناگوار این است که تصادف رخ دهد و مواد خطرناک نشت کند.

ریسک مواد خطرناک به خود مواد خطرناک و ماهیت آن بستگی ندارد بلکه به کاراکترهای شبکه ی حمل و نقل مثل نوع جاده، طول مسیر انتخابی، جمعیت و... بستگی دارد.

بنابراین از تعریف سنتی ریسک شروع می کنیم. در این تعریف هر مسیر از جاده به بخش های مختلف تقسیم شده و فاصله ی هر دو شهر (گره) Edge تعریف می شود. هر Edge به فواصل کوچک تری که دایره خطر نامیده می شود تقسیم می شود.



شکل ۳ تصویری از حمل و نقل مواد خطرناک بین مبدا (O) و مقصد (D) که دایره های خطر روی شبکه نمایش داده شده است.

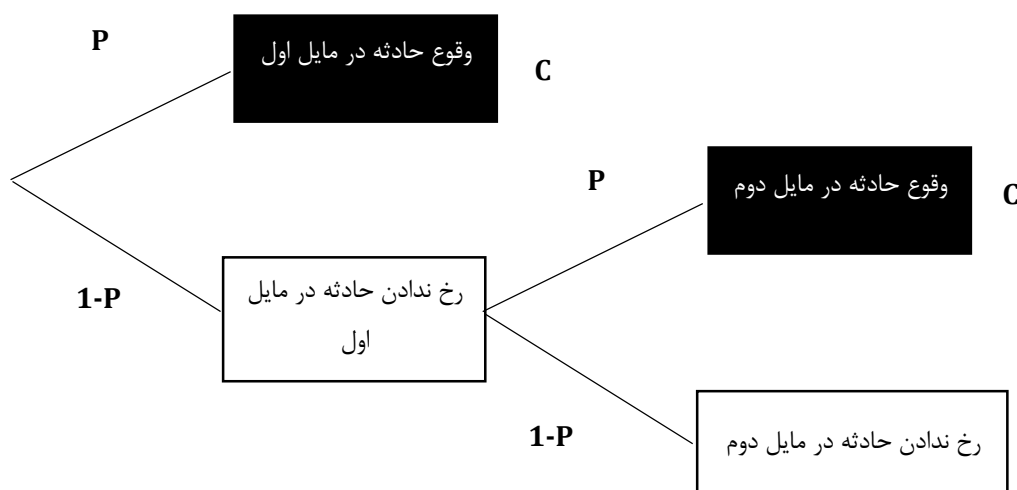
ریسک قطعات

برای محاسبه ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در بخشی از جاده به طور مثال از گره A به گره B از تعریف سنتی ریسک استفاده می کنیم:

$$R_{AB}^k = P_{AB}^k \cdot C_{AB}$$

P_{AB}^k = احتمال وقوع حادثه بین دو گره A و B حامل ماده خطرناک K

C_{AB} = جمعیت بین دو گره A و B

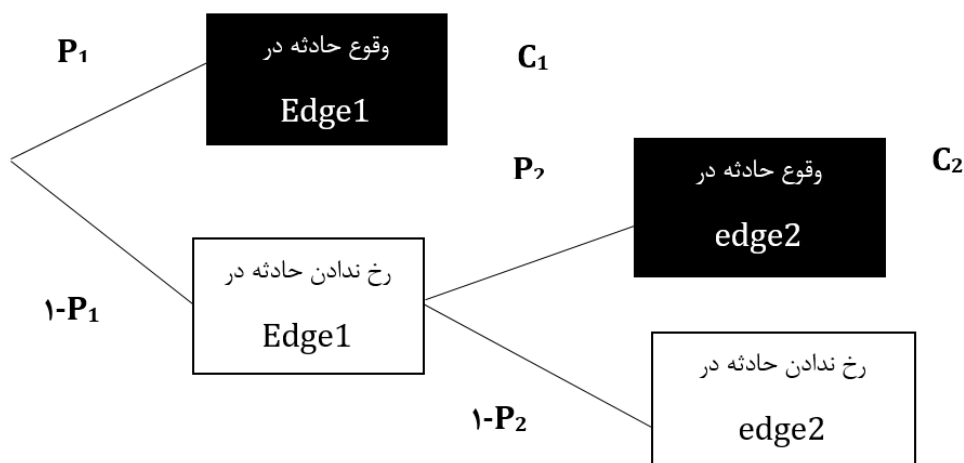


شکل ۴ درخت احتمال جزئی وقوع حادثه یا رخ ندادن حادثه در هر مایل بین هر دو گره (Edge)

بر این اساس محاسبه ریسک در N بخش از فاصله دو گره (Edge) به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$PC + (1-P) PC + (1-P)^2 PC + \dots + (1-P)^{n-1} PC.$$

در این فرمول فرض ما بر این است که: $P^S=0$ برای $S>1$ این فرض به این دلیل منطقی است چون مقدار P عددی بسیار کوچک و ناچیز است. پس به طور کلی میتوان گفت احتمال ریسک در هر Edge برابر است با: $(pn)C$.



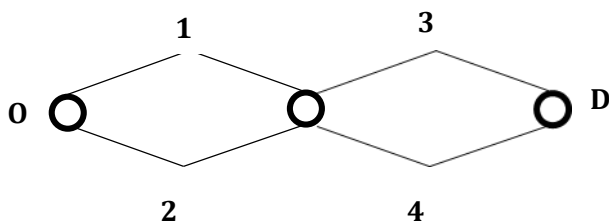
شکل ۵ درخت احتمال جزئی وقوع حادثه یا رخ ندادن حادثه در هر مایل بین هر دو گره (Edge)

P_i = احتمال وقوع حادثه در i امین Edge
 C_i = جمعیتی که در دایره خطر روی i امین Edge وجود دارد
 فرض ما بر این است که جامعه و همچنین احتمال وقوع حادثه یکنواخت می باشد. در نتیجه داریم:

$$R_i = P_i C_i$$

محاسبه ریسک مسیر

هر مسیر از مجموعه ای از Edge ها تشکیل شده است. برای روشن تر شدن این بحث به شکل زیر توجه کنید.



شکل ۶ مثالی از محاسبه ریسک مسیر

$$\begin{aligned} & \text{Min } (P_1 C_1) X_1 + (P_2 C_2) X_2 \\ & + [(1-P_1) X_1 + (1-P_2) X_2] (P_3 C_3) X_3 \\ & + [(1-P_1) X_1 + (1-P_2) X_2] (P_4 C_4) X_4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Subject to } X_1 + X_2 = 1, \\ & X_3 + X_4 = 1, \\ & X_1 + X_2 = X_3 + X_4, \\ & X_j = (0,1) \text{ for } j=1,2,\dots,4 \end{aligned}$$

تعریف علائم مسأله

مجموعه ها:

I = مجموعه ی گره ها (شهر ها)

J = مجموعه ی گره ها

پارامتر ها:

$P(i,j)$ = جمعیت بین گره i و گره j

متغیر ها:

$X(I,j)$ = متغیر تصمیم عبور یا عدم عبور از کمان ij

داده ها

نحوه تامین فرآورده های نفتی استان، متشکل از محل و مقدار آن در یک بازه زمانی خاص (فروردین ماه سال ۱۳۹۸) - اعداد بر حسب ۱۰۰۰ لیتر در روز می باشد.

جدول ۲ نحوه تامین بنزین در فروردین ماه ۱۳۹۸

بنزین	مقاصد								
مبادی	سنندج	بیجار	سقز	بانه	قروه	مریوان	دهگلان	کامیاران	دیواندره
همدان	250	۶۰			90				
اراک									
میاندوآب			120	130					

تبریز									
سنندج						100	50	80	70

منبع: شرکت ملی پخش و توزیع فرآورده های نفتی استان کردستان

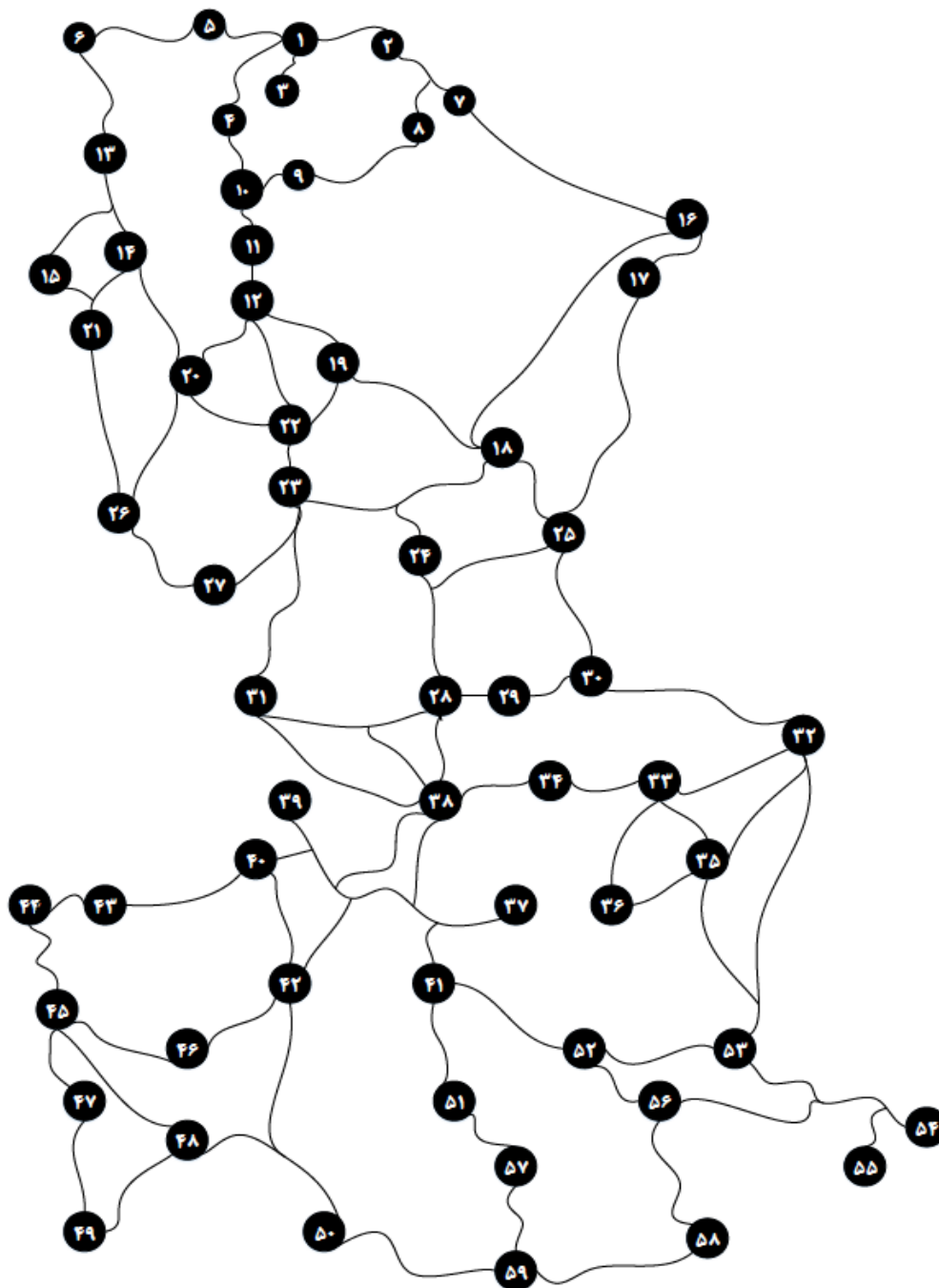
جدول ۶ نحوه تامین نفت کوره در فروردین ماه ۱۳۹۸

نفت کوره	مقاصد								
مبادی	سنندج	بیجار	سقز	بانه	قروه	مریوان	دهگلان	کامیاران	دیواندره
همدان									
اراک									
میاندوآب									
کرمانشاه	35	5	5	5	25	40	5	5	5
تبریز									
سنندج									

منبع: شرکت ملی پخش و توزیع فرآورده های نفتی استان کردستان

شبکه حمل و نقل فعلی جا به جایی محصولات نفتی در سطح استان (اعم از لوله ای و زمینی)

با تحقیقات و جستجو در خصوص نحوه ی تامین و توزیع فرآورده های نفتی و یافتن مبادی و مقاصد برای هریک از فرآورده ها نهایتا شبکه ترسیم شده در شکل ۷ بدست آمد که شامل استان کردستان و استان های همجوار است. به هر یک از شهرها (گره ها) یک شماره تخصیص داده شده است.



شکل ۷ شبکه حمل و نقل جا به جایی محصولات نفتی در سطح استان و استان های مجاور

جدول ۷ فهرست شهرهای موجود در شبکه

شهر	شماره گره	جمعیت
سنقر	34	44954
تویسرکان	35	44516
کنگاور	36	53449
صحنه	37	36542
کامیاران	38	46760
پاوه	39	23704
جوانرود	40	51483
هرسین	41	49967
کرمانشاه	42	886706
سرپل ذهاب	43	35630
قصر شیرین	44	17959
گیلان غرب	45	20922
اسلام آباد	46	94699
ایوان	47	29400
سرابله	48	9703
ایلام	49	172213
کوهدشت	50	85519
نورآباد	51	56404
نهایوند	52	72218
ملایر	53	159848
اراک	54	526182
شازند	55	118789
بروجرد	56	240654
الشتر	57	28306
دورود	58	159026
خرم آباد	59	348216

پیاده سازی مدل بر روی داده ها

پیاده سازی مدل بر روی داده ها با استفاده از نرم افزار Gams به صورت زیر کد شده است:

```

1 $title final problem with multi commodity
2
3 Sets
4     i index of nodes /1*59/
5     m index of commodity /1*44/
6     alias (i,j,l);
7
8 Parameters
9
10     D (i,j) demand of betwwn node i and node j
11     N (i,j) the network relation matrix
12
24 scalar Risk /0.00000062/;
25
26 parameters
27     s(m) Origin of commodity m
28     /1 32,2 12,3 12,4 32,5 32,6 28,7 28,8 28,9 28,10 54,11 54,12 54,13 54,
29     14 54,15 54,16 43,17 54,18 32,19 32,20 12,21 12,22 32,23 28,24 28,25 28,
30     26 28,27 32,28 32,29 12,30 54,31 32,32 28,33 28,34 28,35 28,36 42,37 42,
31     38 42,39 42,40 42,41 42,42 42,43 42,44 42/
32     t(m) Destination of commodity m
33     /1 25,2 23,3 27,4 30,5 28,6 31,7 29 ,8 38 ,9 24,10 28,11 25,12 23,13 27»
43 Variables
44     Z Objective Function
45 Positive Variables
46     x(i,j,m)
47     ;
48 Equations
49     obj_func
50     E1(i,m)
51     E2(i,m)
52     E3(i,m)
53     ;
54
55 obj_func..

```

نتیجه گیری

الف) در ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک میتوان به جای محاسبه یک ریسک کلی برای مسیر، ریسک قطعات مختلف از آن را محاسبه نمود. قطعهبندی باعث میشود تا علاوه بر داشتن ریسک کلی دقیق تر (با توجه به بررسی بهتر پیامدهای مختلف در قطعات مختلف) ارزیابی در طول آن مسیر نیز از نظر میزان ریسک صورت گیرد. به این ترتیب قطعات بحرانی در یک مسیر تعیین میشود. این خروجی میتواند در تخصیص نیروهای امدادی پس از بحران و مکانیابی تجهیزات امدادی و هلال احمر در مسیر، به خوبی مورد استفاده قرار گیرد.

ب) با استفاده از رویکرد پیشنهادی میتوان با توجه به نوع ماده خطرناک، محاسبات مربوط به پیامدهای مختلف آن ماده خطرناک را در نقاط مختلف مسیر محاسبه کرد و با ضرب آن در مقدار احتمال وقوع تصادفات، ریسک را برای انواع ماده در طول یک مسیر به دست آورد.

بعد از Run کردن کد های نوشته شده در نرم افزار Gams نتایج زیر بدست آمد:

مسیرهای بهینه همانطور که در جداول زیر مشاهده می گردد، خروجی نرم افزار که نشان دهنده ی مسیر انتخابی با توجه به تابع هدف و محدودیت های موجود در مدل مسأله، مشخص گردیده است. هر یک از محصولات با شروع از گره مبدأ و طی کردن مسیر انتخابی توسط نرم افزار به گره مقصد خواهند رسید.

جدول ۸ مسیرهای بهینه خروجی نرم افزار GAMS

مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۵	۳۲	۱
مسیر ۲۵-۳۰-۳۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۳	۱۲	۲
مسیر ۲۳-۲۴-۱۸-۱۹-۱۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۷	۱۲	۳
مسیر ۲۷-۲۶-۲۰-۱۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۰	۳۲	۴
مسیر ۳۰-۳۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۸	۳۲	۵
مسیر ۲۸-۲۹-۳۰-۳۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۱	۲۸	۶
مسیر ۳۱-۳۸-۲۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۹	۲۸	۷
مسیر ۲۹-۲۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۸	۲۸	۸
مسیر ۳۸-۲۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۴	۲۸	۹
مسیر ۲۴-۳۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۸	۵۴	۱۰
مسیر ۲۸-۳۸-۳۴-۳۳-۳۵-۵۳-۵۴		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۵	۵۴	۱۱
مسیر ۲۵-۲۴-۲۸-۳۸-۳۴-۳۳-۳۵-۵۳-۵۴		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۳	۵۴	۱۲

مسیر	۵۴-۵۳-۳۵-۳۳-۳۴-۳۸-۳۱-۲۳	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۳	۵۴	۲۷
مسیر	۵۴-۵۳-۳۵-۳۳-۳۴-۳۸-۳۱-۲۳-۲۷	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۴	۵۴	۳۱
مسیر	۵۴-۵۳-۳۵-۳۳-۳۴-۳۸-۳۱	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۵	۵۴	۲۹
مسیر	۵۴-۵۳-۳۵-۳۲-۳۰-۲۹	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۶	۴۳	۳۸
مسیر	۴۳-۴۰-۳۸	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۷	۵۴	۲۴
مسیر	۵۴-۵۳-۳۵-۳۳-۳۴-۳۸-۳۱-۲۳-۲۴	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۸	۳۲	۲۸
مسیر	۳۲-۳۰-۲۹-۲۸	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۱۹	۳۲	۲۵
مسیر	۳۲-۳۰-۲۵	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۲۰	۱۲	۲۳
مسیر	۱۲-۱۹-۱۸-۲۴-۲۳	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۲۱	۱۲	۲۷
مسیر	۱۲-۲۰-۲۶-۲۷	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۲۲	۳۲	۳۰
مسیر	۳۲-۳۰	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۲۳	۲۸	۳۱
مسیر	۲۸-۳۸-۳۱	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۲۴	۲۸	۲۹
مسیر	۲۸-۲۹	

مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۸	۲۸	۲۵
۲۸-۳۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۴	۲۸	۲۶
۲۸-۲۴		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۸	۳۲	۲۷
مسیر		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۵	۳۲	۲۸
۳۲-۳۰-۲۵		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۳	۱۲	۲۹
۱۲-۱۹-۱۸-۲۴-۲۳		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۷	۵۴	۳۰
۵۴-۵۳-۳۵-۳۳-۳۴-۳۸-۳۱-۲۳-۲۷		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۰	۳۲	۳۱
۳۰-۳۲		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۱	۲۸	۳۲
۲۸-۳۸-۳۱		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۹	۲۸	۳۳
۲۹-۲۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۳۸	۲۸	۳۴
۲۸-۳۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۴	۲۸	۳۵
۲۸-۲۴		
مقصد	مبدأ	شماره محصول
۲۸	۴۲	۳۶
۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۲۸		
مقصد	مبدأ	شماره محصول

۳۷	۴۲	۲۵
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳-۲۴-۲۵	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۳۸	۴۲	۲۳
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۳۹	۴۲	۲۷
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳-۲۷	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۴۰	۴۲	۳۰
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳-۲۴-۲۵-۳۰	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۴۱	۴۲	۳۱
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۴۲	۲۹	۴۲
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳-۲۴-۲۵-۳۰-۲۹	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۴۳	۴۲	۳۸
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸	
شماره محصول	مبدأ	مقصد
۴۴	۴۲	۲۴
مسیر	۴۲-۴۸-۴۵-۴۴-۴۳-۴۰-۳۸-۳۱-۲۳-۲۴	

به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آینده میتوان این رویکرد را در شبکه مسیرهای شهری برای ارزیابی و مقایسه مسیرهای شهری ا درون استانی از آن استفاده کرد. به این ترتیب که به جای قطعه‌بندی و مقایسه قطعات، «نقاط سیاه^{۱۳}» در شبکه تعریف کرد و رویکرد مقایسه‌ای را در آن نقاط اعمال نمود. به این ترتیب میتوان نقاط حادثه خیز در یک استان را با توجه به ریسک موجود در حمل مواد خطرناک مقایسه کرد و بر اساس سطح خطرپذیری اولویت‌بندی نمود. همچنین استفاده از نرم‌افزار GIS^{۱۴} برای مدلسازی و محاسبه دقیق تر پیامدها برای افزایش دقت محاسبات ریسک پیشنهاد می‌شود.

^{۱۳} Black spot^{۱۴} Geographic Information System

منابع و مراجع

- [۱] آذر عادل، صفارزاده محمود، احسانی علی. ارزیابی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در جاده های کشور (مطالعه موردی: شبکه راه های استان فارس).
- [۲] جباری، موسی، خداپرست، اسماعیل، صدری، کسری، ... & شکوه السادات. (۲۰۱۴). بررسی حوادث حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک در ایران. مجله سلامت کار ایران. ۱۱(۵)، ۳۰-۴۲.
- [۳] خدادادیان، م. (۵۸۳۱) "مسیریابی حمل مواد خطرناک به منظور کاهش ریسک در شبکه جاده ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران
- [۴] شرکت ملی پخش و توزیع فرآورده های نفتی استان کردستان
- [۵] کبیری کناری، مریم، ۱۳۹۲، "برنامه ریزی حمل و نقل فرآورده های نفتی چندگانه با در نظر گرفتن پنجره زمانی برای عرضه، تقاضا و مسیرهای حمل و نقل"، کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی گروه صنایع، دانشگاه کردستان
- [6] Bianco L, Caramia M, Giordani S. A bilevel flow model for hazmat transportation network design. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2009;17(2):175-96
- [7] Chakrabarti, U. K. and Parikh, J. K. (2011) "Route evaluation for hazmat transportation based on total risk e A case of Indian State Highways" *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 24, Issue 5, pp. 524-530
- [8] Erkut, E., & Verter, V. (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations research*, 46(5), 625-642.5.
- [9] Erkut, E. (2007) "Hazardous material transportation, handbook in OR & MS", Elsevier. 14, pp. 539- 621.
- [10] Ghazinoory, S., & Kheirkhah, A. S. (2008). Transportation of hazardous materials in Iran: A strategic approach for decreasing accidents. *Transport*, 23(2), 104-111.
- [11] Kara, B. Y., Erkut, E. and Verter, V. (2003) "Accurate calculation of hazardous materials transport risk" *Operation Research Letters*, Vol. 31, Number 4, July 2003, pp. 285-292(8)
- [12] Lozano A, Muñoz Á, Macías L, Antún JP. Hazardous materials transportation in Mexico City: Chlorine and gasoline cases. *Transportation research part C: emerging technologies*. 2011;19(5):779-89.
- [13] Oggero A, Darbra R, Munoz M, Planas E, Casal J. A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. *Journal of hazardous materials*. 2006;133(1):1-7.
- [14] Yang J, Li F, Zhou J, Zhang L, Huang L, Bi J. A survey on hazardous materials accidents during road transport in China from 2000 to 2008. *Journal of Hazardous materials*. 2010;184(1):647-53.
- [15] Zare H, Farzad V, Ali P, Nazer M. Compare the performance of different types of drivers with accident and whitout accident. *Journal of Transportation Research*; 2012; 248 -260 [Persian].