توسعه مدل ریاضی مسأله مسیریابی حمل‌ونقل مواد سوختی تحت شرایط فازی - مطالعه موردی

رضا توکلی مقدم (مسئول مکاتبات)، استاد، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
فرزاد محمود سلطانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
عباس محمودآبادی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۸/۱۰ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۰

چکیده:
جابجایی مواد خطرناک همواره با نگرانیهایی در خصوص آسیبهای احتمالی وارده به انسانها و محیط زیست صورت می‌گیرد. از این رو کاهش ریسک نیز باید همراه با هزینه حمل به عنوان معیاری مهم در تمام مراحل انتقال مواد در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله، مدل ریاضی دو معیاره با رویکرد مدنظر قرار دادن ریسک و هزینه برای جابجایی مواد خطرناک ارایه می‌شود. هدف، تعیین بهترین مسیر برای انتقال مواد سوختی از انبار توزیع آنها تا هر یک از نقاط تقاضا، بر اساس دو معیار ریسک و هزینه است. ریسک حمل‌ونقل بر اساس سه نوع ریسک شامل ریسک تصادف، ریسک جمعیتی و ریسک زیست محیطی تعریف و مقادیر هر یک از ریسکها به صورت فازی کلامی با نظرات خبرگان و از طریق تکمیل پرسشنامه‌های مربوط ارایه می‌شود. متغیرهای فازی برای استفاده در الگوریتم حل از طریق تعریف عدد فازی مثلثی به صورت اعداد کمّی بیان می‌شود. به منظور بررسی و اعتبارسنجی مدل، استان مازندران و شبکه مسیرهای استان با ۶۲ گره و ۸۱ کمان دارای ویژگی رفت و برگشت به عنوان محدوده مطالعه انتخاب شد. برای حل مسأله با توجه به ماهیت دو معیاره بودن آن، مقادیر متفاوت ریسک و هزینه برای تعیین بهترین مسیر مورد استفاده قرار گرفته و بهترین مسیرها از انبار توزیع تا هر یک از نقاط تقاضا بر اساس ضریب ارجحیت تصمیم گیرنده بین هزینه و ریسک تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، حمل‌ونقل مواد خطرناک، تجزیه و تحلیل ریسک، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شرایط فازی.

۱. مقدمه

جابجایی مواد خطرناک با توجه به ماهیت خطرآفرینی و تبعات ناشی از حوادث مرتبط با آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. روزانه میلیونها تن کالا در راههای سراسر دنیا جابجا می‌شود که بخشی از این محمولات را کالاهای خطرناک تشکیل می‌دهند. بر اساس تعریف اداره حمل‌ونقل آمریکا، ماده خطرناک ماده‌ای است که بتواند باعث آسیبهای جانی، مالی و زیست محیطی شود. مواد خطرناک بر اساس کنوانسیون حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک در اروپا که به اختصار ADR نامیده می‌شود، به نه طبقه اصلی به ترتیب مواد منفجره، گازها، مایعات قابل اشتعال، جامدات قابل اشتعال، مواد اکسید کننده، مواد سمی، مواد رادیواکتیو، مواد خورنده و در نهایت ضایعات، تقسیم‌بندی شده‌اند [Classification of Hazardous Materials]. در صورتی که یک کامیون حامل کلرین دچار حادثه شود، نتـایج بسیار دلخراشی را برای مردم یک منطقه در پی خواهد داشت و حتی آنها را وادار به ترک منازل خود می‌کند [Erkut and Gzzara, 2008]. حادثه ناخوشایند دیگر در این مورد می‌تواند نشت مواد خطرناک در نتیجه تصادف رانندگی باشد. نتیجه نشت مواد، اثرات بهداشتی (مرگ و میر، آسیب دیدگی یا تاثیرات دراز مدت بر جمعیت)، خسارات مالی، اثرات زیست محیطی (آلودگی آب و خاک و تأثیر بر سلامتی گیاهان و جانوران)، توقف رفت و آمد در مسیر تحت تأثیر حادثه است. این ویژگی مواد خطرناک، تصمیم گیرندگان را وادار می کند تا کاهش ریسک را به عنوان معیاری مهم در محاسبات خود در نظر بگیرند. بر این اساس مسیرهای مجاز برای حمل‌ونقل مواد خطرناک با توجه به معیارهای متعددی از جمله ایمنی مسیر، شرایط زیست محیطی، جمعیت اطراف راههای مورد استفاده تعیین می‌شود و الزاماً تعیین کوتاه ترین مسیر نیست. با وجود آن که در مسیریابی حمل‌ونقل مواد خطرناک پارامترهای موثری مانند زمان سفر، مسافت، جمعیت اطراف راهها و همچنین فراوانی تصادفات در مسیر مورد حمل، استفاده می شوند، اما عمده تحقیقات در این زمینه بر دو بخش کلی شامل تعیین ریسک حمل‌ونقل برای عبور از یک مسیر خاص، و تعیین مسیری که کمترین ریسک و هزینه را برای جابجایی محمولات خطرناک داشته باشد، متمرکز شده‌اند [Carotenuto, 2007]. ترکیب عامل ریسک با دیگر معیارها نظیر زمان نیز در ادبیات موضوع مسیریابی حمل‌ونقل مواد خطرناک به چشم می‌خورد [Mahmoudabadi and Seyedhosseini, 2012]. بنابراین تفاوت اصلی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مواد خطرناک، مد نظر قرار دادن عامل ریسک در تصمیم‌گیری است، به این نحو که در حمل‌ونقل مواد خطرناک، ریسک به صورت اندازه احتمال و شدت آسیب به جامعه در معرض خطر در نتیجه یک حادثه ناخوشایند در مواد خطرناک تعریف می‌شود [Alp, 1995]. ارزیابی ریسک می‌تواند به صورت کیفی و کمّی صورت گیرد که در آن ارزیابی کیفی ریسک با شناسایی سناریوهای حوادث احتمالی و تلاش برای برآورد تقریبی نتایج نامطلوب امکان‌پذیر است و اغلب زمانی استفاده می‌شود که اطلاعات قابل اعتماد کمّی برای برآورد دقیق احتمال و شدت حادثه وجود نداشته باشد و ارزیابیهای کمّی نیز در صورتی انجام می‌شود که اطلاعات لازم برای توسعه مدلهای برآورد ریسک وجود داشته باشد [Mahmoudabadi and Seyedhosseini, 2013].

در ادامه مقاله در بخش دوم، مروری بر ادبیات موضوع و مطالعات پیشین انجام شده شامل مسیریابی در حمل ونقل مواد خطرناک و توضیحاتی راجع به منطق فازی ارایه می‌شود و در بخش سوم نیز نحوه محاسبه ریسک و ترکیب آن با هزینه توضیح داده شده است. در بخش چهارم، مدل ریاضی مربوط به مسأله مورد نظر توسعه داده میشود. سپس در بخش پنجم با ارایه توضیحات در خصوص استان مازندران که به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است، نتایج محاسباتی با حل مدل توسعه داده شده مورد تحلیل قرار میگیرد. در نهایت در بخش ششم، خلاصه و برخی از پیشنهادها برای توسعه آتی ارایه می‌شود.

۲. ادبیات موضوع و مطالعات پیشین

برای بررسی دقیق تر ادبیات موضوع مرتبط با این تحقیق،

موضوعها به دو دسته کلی شامل مدلهای مورد استفاده در مسیریابی حمل و نقل مواد خطرناک و موضوعات فازی که به نحوی امکان جمع‌آوری اطلاعات و دانش خبرگان را در این زمینه میها می کند، تقسیم‌بندی شده‌اند.

۲-۱ مسیریابی حمل مواد خطرناک

تحقیقات صورت گرفته در زمینه حمل‌ونقل مواد خطرناک به چهار دسته شامل ارزیابی ریسک، مسیریابی، ترکیب مسأله مکانیابی با مسیریابی و در نهایت طراحی شبک طبقه بندی شده‌اند [Erkut et. al, 2007]. ارکوت و گزارا [Erkut and 2008 Gzara,] موضوع تعیین مسیر حمل‌ونقل مواد خطرناک را با فرض عبور وسایل نقلیه از مراکز جمعیتی درون شهرها مدلسازی کردند که در عبور از شهرها وسایل نقلیه به دو بخش تقسیم شده‌اند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح دو سطحی را برای تعیین مسیر توسعه دادند و از یک روش ابتکاری با چهار سناریوی متفاوت برای حل آن استفاده کردند. دادکار و همکاران [Dadkar et. al. 2008] بر این باورند که زمان سفر و تبعات ناشی از حوادث مواد خطرناک دارای الگوی احتمالی و غیر قطعی هستند و به پارامترهایی مانند وضعیت دید، حجم ترافیک و نحوه فعالیت حمل کنندگان وابستگی دارند. شریعت و خدادادیان [Shariat and Khodadadian, 2008]، یک مدل برنامه‌ریزی خطی با اعداد صحیح را با فرض ترکیب وزنی اهداف در تابع هدف توسعه دادند که برای مشخص کردن بهترین جریان ترافیک تخصیص یافته به شبکه، مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مدل را در یک محدوده شامل سه استان در ایران و با اطلاعات واقعی برای فرآورده‌های نفتی (گروه سوم مواد خطرناک) مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۰۹ همچنین قطعی و همکاران [Ghatee et. al. 2009] مسأله حداقل جریان هزینه با هزینه‌های فازی را ارایه کردند و با توجه به پایگاه داده تصادفات و با استفاده از رگرسیون منفی فازی، به ارزیابی ریسک عبور از کمانهای شبکه پرداختند. پرادانانانگا و همکاران [Pradhananga et. al. 2010]، الگوریتمی فراابتکاری و بر پایه کلونی مورچگان برای مسائل بهینه‌سازی حمل‌ونقل مواد خطرناک با محدودیت زمانی مشخص ارایه کردند. بونویسینی و همکاران [Bonvicini et. al. 1998] برای استفاده از منطق فازی در مساله حمل‌ونقل مواد خطرناک تلاش کردند. آنها ارزیابی ریسک با استفاده از مجموعه‌های فازی را به دو بخش مدل‌سازی اصلی شامل محاسبه احتمال وقوع حادثه و شدت نتایج، تقسیم‌بندی و با استفاده از تحلیل درخت اشتباهات و محاسبات ریاضی فازی بر روی وقایع مقدماتی، به نتایج مورد نظر دست یافتند. توکلی مقدم و همکاران [Tavakkoli-Moghaddam et al. 2011] نیز برای حل مسأله مسیریابی حملونقل مواد خطرناک تابع هدف چندگانهای (شامل کمینه کردن ریسک، هزینه و تاخیرات) با محدویت تعداد وسایل نقلیه و زمان ارسال کالا به مشتری مورد بررسی قرار داده‌اند. اکثر تحقیقات پیشین در این زمینه متکی بر استفاده از پارامترهای قطعی و معین، و به ندرت احتمالی هستند و در آنها از پارامترهای نامعین و فازی که به دنیای واقعی نزدیک تر است، کمتر استفاده شده است. ریسک، یکی از پارامترهایی است که می‌تواند فازی و غیرقطعی در نظر گرفته شود. جابجایی مواد سوختی که در رده سوم مواد خطرزا طبقه‌بندی می‌شود، از اهمیت بسیاری برخوردار است و دستیابی به بهترین و ایمن ترین مسیر بین انبار توزیع مواد سوختی و هر یک از نقاط تقاضا بر اساس دو معیار ریسک و هزینه، هدف اصلی این تحقیق است. ریسک به سه بخش اصلی تشکیل دهنده آن شامل ریسک حوادث رانندگی (احتمال حادثه)، ریسک جمعیتی (میزان جمعیتی که به دلیل حوادث در معرض خطر قرار می‌گیرند) و ریسک زیست محیطی (میزان آسیب به منابع آب و خاک) تقسیم شده است و با توجه به این که در دنیای واقعی به دست آوردن دقیق مقادیر هر یک از ریسکها به طور کمّی دشوار است، از تئوری مجموعه‌های فازی که به طور وسیع در بسیاری از زمینه‌ها از جمله تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان بکار گرفته می‌شود [Deng and Chan, 2011]، استفاده شده است.

۲-۲ منطق فازی

عدد فازی $\widetilde{m}$ ، یک زیرمجموعه مشخص از اعداد حقیقی R است

[Li, 2003 Zwick, Carlstein and Budescu, 1987]

به شرطی که دو خصوصیت زیر برای آن وجود داشته باشد:

• $x_0 \in R$ وجود داشته باشد به نحوی که درجه عضویت آن $u_{\tilde{m}}(x_0) = 1$.

• تابع عضویت $u_{\tilde{m}}(x)$ از هر دو سمت چپ و راست پیوسته باشد.

در حالت کلی یک عدد فازی را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$u_{\tilde{m}} = \begin{cases} L(x); & (l \le x \le m) \\ R(X); & (m \le x \le r). \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن $L(x)$ یک تابع صعودی روی $x \in [l,m]$ و از راست پیوسته است $0 \le L(x) \le 1$. همچنین $R(x)$ یک تابع نزولی روی $x \in [m,r]$ و از چپ پیوسته است $0 \le R(x) \le 1$. m میانه و l و r به ترتیب حدود پایین و بالای $\tilde{m}$ خوانده می‌شوند. برای سادگی $\tilde{m} = (l,m,r)$ یک عدد فازی مثلثی است، در صورتی که تابع عضویت آن به صورت زیر تعریف شود:

$$u_{\tilde{m}} = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l}; & (l \le x \le m) \\ \dfrac{r-x}{r-m}; & (m \le x \le r). \end{cases} \quad (۲)$$

توصیف مسایل تصمیم‌گیری با استفاده از عبارات و متغیرهای کلامی بسیار مفید است. متغیر کلامی متغیری است که مقادیر آن عبارات لفظی باشند [Delgado and Verdegay, 1992]. به عنوان مثال ضریب عملکرد آلترناتیوها در مشخصه‌های وصفی را می‌توان با استفاده از متغیرهای کلامی با عباراتی نظیر بسیار ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و بسیار خوب بیان کرد. چنین مقادیر کلامی را می‌توان با استفاده از اعداد فازی مثلثی مثبت نشان داد. در این شرایط می‌توان "ضعیف" و "بسیار خوب" را به ترتیب با اعداد فازی مثبت (۴. ، ۳. ، ۲.) و (۱ ، ۹. ، ۷.) نشان داد، [Li, Yang, 2004]. شکل ۱ نمونه‌ای از تابع عضویت برای مقادیر فازی را نشان می‌دهد. علاوه بر موارد فوق نمایش متعارفی روی عملکرد عدد فازی مثلثی بر مبنای روش میانگین مجموع درجه‌دار [۱] منجر به این نتیجه می‌شود که مجموع و ضرب دو عدد فازی را می‌توان به صورت اعداد معین نمایش داد [Chou, 2003]. اگر $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{Y} = (y_1, y_2, y_3)$ دو عدد فازی مثلثی باشد، نمایش میانگین مجموع این دو عدد فازی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P(\tilde{Y}) = \frac{1}{6}(y_1 + 4 \times y_2 + y_3) \quad (۳)$$

$$P(\tilde{A}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4 \times a_2 + a_3) \quad (۴)$$

عملیات جمع $\oplus$ روی دو عدد فاز ی $\tilde{A}$ و $\tilde{Y}$ به شکل زیر است:

$$P(\tilde{A} \oplus \tilde{Y}) = p(\tilde{A}) + p(\tilde{Y}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4 \times a_2 + a_3) + \frac{1}{6}(y_1 + 4 \times y_2 + y_3) \quad (۵)$$

همچنین عملیات ضرب $\otimes$ روی دو عدد فاز ی $\tilde{A}$ و $\tilde{Y}$ به

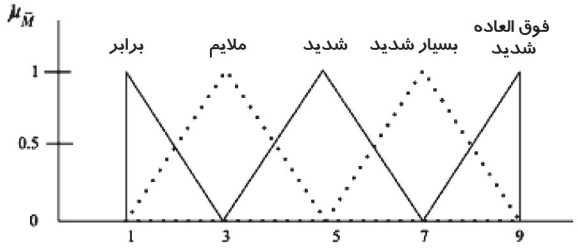

Fig. 1

شکل ۱. نمودار تابع عضویت مربوط به متغیرهای کلامی

شکل زیر است:

$$P(\tilde{A} \otimes \tilde{Y}) = p(\tilde{A}) \times p(\tilde{Y}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4 \times a_2 + a_3) \times \frac{1}{6}(y_1 + 4 \times y_2 + y_3) \quad (۶)$$

۳. محاسبه ترکیب ریسک و طول

دو پارامتر احتمال وقوع حادثه و شدت و پیامد حادثه در محاسبه ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک دخیل هستند. فراوانی حوادث مواد خطرناک اغلب از طریق داده‌های تاریخی محاسبه می‌شود. با این حال گاهی صحت و کیفیت این اطلاعات مورد اطمینان نیست. از طرفی داده‌های به دست آمده برای محاسبه شدت حادثه از سیستم اطلاعات جغرافیایی [۲] در کشور، کامل، دقیق و به روز نیست. همچنین قضاوتهای انسانی، ذاتاً مبهم و ناواضح است و به همین دلیل مناسب نیست که آنها را توسط مقادیر عددی دقیق ارایه کرد. بنابراین بهتر است از متغیرهای لفظی به منظور مدلسازی قضاوتهای انسانی استفاده شود، [Cheng and Chou, 2001]. بنابراین ریسک با استفاده از متغیرهای کلامی با عباراتی نظیر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد بیان شده و متغیرهای کلامی و نماد متناظر با صفات آنها در جدول ۱ ارایه شده است. مقادیر کلامی هر یک از ریسکها در جدول ۲ با استفاده از اعداد فازی مثلثی مثبت نشان داده می‌شوند. با توجه به روابط موجود برای محاسبه ریسک و ضرایب اهمیت برای ریسک جمعیتی و زیست محیطی:

(۷) شدت حادثه × احتمال حادثه = ریسک

در نتیجه ریسک برابر است با:

(۸) (ریسک جمعیتی × درجه اهمیت + ریسک جمعیتی × درجه اهمیت) × ریسک تصادف = ریسک حمل

اطلاعات مربوط به ریسک تصادف، ریسک جمعیتی و ریسک زیست محیطی، برای هر یک از مسیرهای موجود در شبکه از طریق نظرات خبرگان با تکمیل پرسشنامه جمع‌بندی شده‌اند. هر کارشناس نظر خود را در مورد هر یک از سه نوع ریسک به صورت عدد متناظر با مقادیر کلامی مورد نظر در فرم پرسشنامه قرار می‌دهد. نظرات کارشناسان با متغیر کلامی متناظر جایگزین و بین نظرات سه کارشناس در مورد هر یک از ریسکها میانگین گرفته می‌شود. به طور مثال برای کمان (۲،۱) برای ریسک تصادف نظر سه کار شناس به ترتیب به صورت زیاد، بسیار زیاد و بسیار

جدول ۱. متغیرهای کلامی و نماد متناظر با هر صفت

نماد / نوع ریسک	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
ریسک تصادف رانندگی	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیارکم
ریسک جمعیتی	تراکم زیاد	متراکم	پراکنده	پراکندگی زیاد	فاقد جمعیت
ریسک زیست محیطی	آسیب بسیار زیاد	آسیب زیاد	آسیب متوسط	آسیب کم	آسیب بسیار کم

جدول ۲. رابطه میان متغیرهای لفظی و اعداد فازی مثلثی مثبت

نماد	عدد متناظر	عدد فازی مثلثی
بسیار کم	۱	(۰، ۰.۱، ۰.۲)
کم	۲	(۰.۱۵، ۰.۳ ، ۰.۴۵)
متوسط	۳	(۰.۳۵، ۰.۵ ، ۰.۶۵)
زیاد	۴	(۰.۵۵، ۰.۷ ، ۰.۸۵)
بسیارزیاد	۵	(۰.۷۵، ۰.۹ ،۱)

کم است که طبق جدول شماره ۲ عدد هر یک را به ترتیب با عدد فازی مثلثی (۸ ، ۷. ،۵۵.) ، (۱، ۹. ،۷۵.) و (۱، ۹. ،۷۵.) نمایش داده می‌شود. میانگین اعداد فوق محاسبه و **در** بخش ۲-۲ نیز در مورد جمع دو عدد فازی توضیح داده شد. به همین طریق برای همه ریسکها در هر کمان عمل شد.

=(۱، ۹/. ،۷۵/.)+(۱، ۹/. ،۷۵/.) +(۸۵/. ، ۷/. ،۵۵/.)

$\frac{1}{6} \times \left(۱ + ۴ \times ۹. + ۷۵.\right) + \frac{1}{6} \times ۲ \times \left(۸۵. + ۴ \times ۷. + ۵۵.\right) = ۲.۴۸$

۲,۴۸ ÷۳ =. ۸۲ =ریسک تصادف در کمان (۲،۱)

پس از نمایش هر یک از ریسکها برای هر مسیر به صورت فازی مثلثی، مقدار هر یک توسط روش میانگین مجموع به صورت اعداد قطعی در می‌آید. سپس ریسک کل هر کمان از شبکه از طریق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$R_{ij} = \left(\widetilde{AR_{ij}}\left(W_1\widetilde{PR_{ij}} + W_2\widetilde{ER_{ij}}\right)\right) \quad (۹)$$

برای محاسبه طول کمان در الگوریتم مسیریابی دو معیار را با یک ضریب λ ترکیب شده است. بنابراین طول یالها L_{ij} ترکیب خطی استاندارد شده دو هدف با استفاده از معادله شماره (۱۰) است. ضریب λ بین ۰ و ۱ و بر اساس نظر تصمیم گیرنده تعیین می‌شود که تجزیه و تحلیل حساسیت آن صورت گرفته است. پارامترهای مورد استفاده در این معادله به دلیل متفاوت بودن ابعاد آنها و به منظور یکسان کردن ابعاد متغیرها به میزان حداکثر آنها تقسیم شده‌اند.

$$L_{ij} = \frac{R_{ij}}{Max(R_{ij})} \times \lambda + (۱ - \lambda) \times \frac{TC_{ij}}{Max(\ TC_{ij})} \quad (۱۰)$$

که در آن:

۱. هزینه جابجایی (TC_{IJ}) : هزینه انتقال بین دو گره بر حسب تن کیلومتر

۲. ریسک جمعیتی ($\widetilde{PR_{ij}}$) : میزان تراکم جمعیت را در هر یک از مسیرها و پیرامون آن که در اثر وقوع تصادف ممکن است دچار حادثه شوند، نشان می‌دهد.

۳. ریسک تصادف ($\widetilde{AR_{ij}}$) : احتمال رخداد تصادف ناشی از عبور مواد سوختی بین دو گره

۴. ریسک زیست محیطی ($\widetilde{ER_{ij}}$) : میزان آسیب احتمالی به پوشش گیاهی، منابع آب و خاک و زیستگاههای جانوری اطراف هر یک از مسیرها که در اثر وقوع حادثه در معرض آن قرار دارند

۵. ضریب اهمیت ریسک جمعیتی ($W_۱$) : میزان اهمیتی که تصمیم گیرنده برای ریسک جمعیتی مد نظر قرار داده است.

۶. ضریب اهمیت ریسک زیست محیطی ($W_۲$) : میزان اهمیتی که تصمیم گیرنده برای ریسک زیست محیطی در نظر گرفته است که بر این اساس $W_۱ + W_۲ = ۱$ خواهد بود.

۴. توسعه مدل ریاضی

شبکه‌ای به صورت $G=(V,E)$ تعریف می‌شود که V مجموعه‌ای از گره‌ها و E مجموعه‌ای از کمانها است. سه نوع گره شامل گره‌های مربوط به انبار توزیع، گره‌های مربوط به نقاط تقاضا و در نهایت گره‌های میانی که نشان دهنده نحوه ارتباطات مسیرهای ارتباطی در شبکه اند، موجود خواهند بود. هدف، یافتن بهترین مسیر جهت انتقال مواد سوختی از انبار توزیع به هر یک از نقاط تقاضا است که ترکیب دو معیار هزینه واحد جابجایی و ریسک کل مربوط به مسیر جهت تعیین بهترین مسیر مطرح هستند. مفروضات مسأله به این صورت است که هر مسیر در جهت رفت و برگشت قابل استفاده است. ریسک عبور و هزینه انتقال مواد خطرناک از مسیر بین دو گره در دو جهت رفت و برگشت برابر است. میزان ریسک نامعلوم و از نوع فازی کلامی است.

با توجه به متغیرهای تعریف شده در بخش ۳ برای تعیین مسیر بهینه با فرض حداقل نمودن ترکیب ریسک و هزینه یکسان شده معادله شماره (۱۱) در نظر گرفته می‌شود:

$$Min\ Z = \sum_{(i,j)\in G} \left[\frac{R_{ij}}{Max(R_{ij})} \times \lambda + (۱ - \lambda) \times \frac{TC_{ij}}{Max(TC_{ij})}\right] \times X_{ij} \quad (۱۱)$$

که در آن X_{ij} میزان ۱ را در صورتی که کمان (i, j) در مسیر انتخابی قرار گیرد اختیار خواهد نمود و در غیر این صورت مقدار ۰ را خواهد داشت [Mahmoudabadi, Seyedhos-seini, 2012]. به منظور حفظ پیوستگی لینکهای ارتباطی در شبکه معادله شماره (۱۲) تامین کننده ارتباط پیوسته بین گره‌های شبکه با فرض در نظر داشتن گره‌های مبدا و مقصد است:

$$\sum_{(i,j)\in G} X_{ij} - \sum_{(i,j)\in G} X_{ji} = \begin{cases} -1 & \text{if } j = \text{Origin} \\ 1 & \text{if } j = \text{Destination} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

با توجه به این که در شبکه راههای مورد استفاده کمان‌ها به صورت دو طرفه در نظر گرفته شده‌اند، معادله شماره (۱۳) تأمین کننده وجود ارتباط دوطرفه بین لینکهای ارتباطی خواهد بود:

$$(i,j),(j,i) \in G \quad (13)$$

۵. مطالعه موردی و نتایج محاسباتی

استان مازندران در شمال ایران با وسعتی معادل ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع قرار گرفته است. شبکه راههای استان مازندران با ۶۲ گره و ۸۱ کمان به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. پرسشنامه‌های طراحی شده توسط سه کارشناس از کارشناسان با تجربه از اداره کل راه و شهرسازی استان، اداره منابع طبیعی استان و مرکز مدیریت راههای استان تکمیل شده‌اند. کلیه کمانها بین گره‌های شبکه و طول آنها در پیوست شماره ۲ نمایش داده شده است. اطلاعات مربوط به نقاط تقاضا که از طریق شعبه شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی در چالوس و ساری تأمین شده در جدول شماره ۳ ارایه شده است که در آن انبار توزیع در چالوس گره شماره ۱۳ است.

۵-۱ الگوریتم تعیین کوتاه ترین مسیر

دستیابی به بهترین مسیر بین انبار توزیع و نقاط تقاضا در شبکه مشابه یافتن کوتاه ترین مسیر بین دو نقطه از شبکه است به طوری که ترکیب معیارهای ریسک و هزینه به عنوان طول هر کمان در نظر گرفته می‌شود. در یافتن کوتاه ترین مسیر مدلسازی با استفاده از اعداد فازی یک رویکرد مناسب در شرایط عدم اطمینان است. یکی از پرکاربردترین روشها در یافتن کوتاه ترین مسیر الگوریتم دی آی جی کاسترا است. در نظریه شبکه، الگوریتم دَیجکسترا یکی از الگوریتمهای پیمایش شبکه است که توسط دانشمند هلندی علوم رایانه، اِدْسْخِر دَیْجکْسْترا در سال ۱۹۵۹ ارایه شد، [Dijkstra,1959]. این الگوریتم یکی از الگوریتمهای پیمایش شبکه است که مسئلهٔ کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ واحد را برای گرافهای وزن‌داری که کمان با وزن منفی ندارند، حل می‌کند و در نهایت با ایجاد درخت کوتاه‌ترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به همهٔ رأس‌های شبکه را به دست می‌دهد. روند الگوریتم دیجکسترا مطابق زیر است :

۱ – انتخاب راس مبدأ

۲ – مجموعه S، شامل رئوس شبکه، معین می‌شود. در شروع، این مجموعه تهی بوده و با پیشرفت الگوریتم، این مجموعه رئوسی که کوتاه ترین مسیر به آنها یافت شده است را در بر می‌گیرد.

۳ – رأس مبدأ با اندیس صفر را در داخل S قرار می دهد.

۴ – برای رئوس خارج از S، اندیسی معادل، طول کمان + اندیس رأس قبلی، در نظر می‌گیرد. اگر رأس خارج از مجموعه دارای اندیس باشد، اندیس جدید کمترین مقدار از بین اندیس قبلی و طول کمان + اندیس رأس قبل است.

۵ – از رئوس خارج مجموعه، رأ سی با کمترین اندیس انتخاب شده و به مجموعه S اضافه می‌شود.

۶ – این کار را دوباره از مرحله ۴ ادامه داده تا رأس مقصد وارد مجموعه S شود.

۷ – در پایان اگر رأس مقصد دارای اندیس باشد، اندیس آن نشان دهنده مسافت بین مبدا و مقصد است. در غیر این صورت هیچ مسیری بین مبدا و مقصد موجود نیست.

در موقعیتی که طول یالها اعداد دقیق باشد، الگوریتم دَیجکسترا به

جدول ۳. نقاط تقاضای حمل‌ونقل مواد سوختی در محدوده مطالعه

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
گره مقصد	۱	۷	۱۷	۱۵	۲۰	۳۲	۴۲	۵۳	۵۲
مقصد	رامسر	تنکابن	نوشهر	مرزن‌آباد	نور	بابلسر	بابل	قائمشهر	جویبار

راحتی قابل اجراست. از آنجا که تعدادی از روشهای بهینه‌سازی اعداد قطعی به طور مستقیم برای اعداد فازی قابل استفاده نیست، لازم است برخی اصلاحات، قبل از استفاده روش مذکور انجام شود. به طور مثال یک رویکرد مستقیم، تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی است. یک نوع کار تبدیل عدد فازی ذوزنقه‌ای به عدد قطعی با استفاده از تابع مختص آن است که شاخص رتبه‌بندی یاگر نیز نامیده می‌شود، [Yager, 1981]. دو موضوع مهم عملیات جمع عددهای فازی و رتبه‌بندی و مقایسه اعداد فازی در استفاده از الگوریتم دَیجکسترا در محیط فازی وجود دارد. بنابراین الگوریتم دیجکسترا برای استفاده در محیط فازی برای حل مسئله دو معیاره در این تحقیق تعمیم داده شده است، به طوری که برای محاسبه طول کمان ابتدا ریسک را برای هر کمان محاسبه و سپس با معیار هزینه ترکیب شده است.

۵-۲ نتایج محاسباتی

در محدوده مطالعه دو نوع نرخ پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرخ پایه برای جاده‌های هموار (۱۰۴۵ ریال) و نرخ برای جاده‌های کوهستانی (۱۰۶۱ ریال) محاسبه می‌شود. بنابراین نرخ پایه با توجه نوع مسیر در طول آن ضرب شده و هزینه حمل به ازای یک واحد مواد سوختی برای هر یک از مسیرها محاسبه شده است. مسأله مورد نظر با استفاده از الگوریتم مربوط در نرم‌افزارMATLAB حل می‌شود، به طوری که معیار تصمیم‌گیری برای هر کمان با استفاده از معادله (۱۰) محاسبه و بهترین مسیرهای بین انبار توزیع و هر یک از نقاط تقاضا با توجه به روش فوق در دو حالت ($\lambda = ۰/۳$ و $\lambda = ۰/۷$) تعیین و نتایج در جدول شماره‌های ۴ و ۵ ارایه شده است. دو مقدار لاندا برای ترکیب ریسک و هزینه و مشخص کردن تأثیر هر کدام به نظر تصمیم گیرنده انتخاب شده تا بتواند در دو حالتی که به ریسک یا هزینه توجه بیشتری می‌شود، بررسی شود، به طوری که اگر در یافتن بهترین مسیر دو معیاره ضریب ارجحیت تصمیم گیرنده برای ریسک بیشتر باشد، هزینه کل افزایش می یابد، ولی ریسک کل شبکه نسبت به حالتی که ضریب هزینه بیشتر است کمتر می‌شود. همچنین ترکیب ریسک و هزینه، هم می‌تواند رضایت شرکتهای حمل کننده را از نظر اقتصادی جلب کند، هم ایمنی مورد نظر تصمیم گیرنده را در نظر گیرد. میزان اهمیت ریسک جمعیتی W_1 برابر ۰/۶ در نظر گرفته شده است. در جدول شماره ۶ ریسک و هزینه کل شبکه مسیرهای تعیین شده در هر دو حالت نمایش داده شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از مسیریابی برای λ =۰/۷ (گره مبدا = ۱۳)

ترکیب خطی هزینه و ریسک	هزینه جابجایی هر مسیر	ریسک مسیر	مسیر	گره مقصد
۳/ ۹۳	۳۱۹۵/ ۷	۳/۴۸	۱۳-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۴-۳-۱	۱
۱ / ۸۷۲	۲۴۸۴ / ۳	۲/۰۴	۱۳-۱۱-۱۰-۹-۸-۷	۷
۰/ ۶۷۷	۳۷۳۱	۰/۷۶۳	۱۳-۱۷	۱۷
۱ / ۱۱۴	۳۰۰۰	۰/۹۸۲	۱۳-۱۲-۱۵	۱۵
۲ / ۸۰۲	۲۴۲۳/۵۲	۳/۱۰۲	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰	۲۰
۴ / ۹۹۳	۲۳۰۸۴ / ۳۵	۳/۸۲۸	۱۳-۱۲-۱۵-۳۸-۳۷-۳۶-۲۶-۳۴-۳۹-۴۲-۴۴-۴۵-۴۹-۳۳-۳۲	۳۲
۴ / ۲۴۷	۲۱۳۴۰ / ۱۵	۳/۰۶۶	۱۳-۱۲-۱۵-۳۸-۳۷-۳۶-۲۶-۳۴-۳۹-۴۲	۴۲
۴ / ۹۸۸	۲۲۱۳۶ / ۳۵	۳/۹۹۴	۱۳-۱۲-۱۵-۳۸-۳۷-۳۶-۲۶-۳۴-۳۹-۴۲-۴۱-۵۰-۵۳	۵۳
۴ / ۸۴۷	۲۴۱۸۵ / ۹۵	۳/۵۹۵	۱۳-۱۲-۱۵-۳۸-۳۷-۳۶-۲۶-۳۴-۳۹-۴۲-۴۴-۴۵-۴۹-۵۲	۵۲

جدول ۵. نتایج حاصل از مسیریابی برای λ =۰/۳ (گره مبدا = ۱۳)

ترکیب خطی هزینه و ریسک	هزینه جابجایی هر مسیر	ریسک مسیر	مسیر	گره مقصد
۳/ ۴۹۳	۳۱۹۵/ ۷	۳/۴۸	۱۳-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۴-۳-۱	۱
۱ / ۸۷۲	۲۴۸۴ / ۳	۲/۰۴	۱۳-۱۱-۱۰-۹-۸-۷	۷
۰/ ۶۷۷	۳۷۳۱	۰/۷۶۳	۱۳-۱۷	۱۷
۱ / ۱۱۴	۳۰۰۰	۰/۹۸۲	۱۳-۱۲-۱۵	۱۵
۲ / ۸۰۲	۲۴۲۳/۵۲	۳/۱۰۲	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰	۲۰
۲/۶۶۶	۵۲۴۴/۴۲	۵/۹۶۲	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۲-۲۳-۲۸-۲۹-۳۰-۳۲	۳۲
۲/۳۱۱	۶۶۰۰/۴۲	۴/۶۷۹	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۴-۳۹-۴۲	۴۲
۲/۶۸۲	۶۷۱۵/۱۷	۵/۶۵۱	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۴-۴۰-۴۱-۵۰-۵۳	۵۳
۲/۷۳۵	۸۳۶۳	۵/۴۰۷	۱۳-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۴-۴۰-۴۱-۴۵-۴۹-۵۲	۵۲

جدول ۶. هزینه و ریسک کل

ترکیب خطی	ریسک کل	هزینه کل	λ
۲۰/۵۸۳	۳۲/۳۲۶	۴۱۷۳۶/۵۳	۰/۳
۲۹	۲۵/۲۱	۱۰۵۶۱۱/۳	۰/۷

۶. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مدل ریاضی دومعیاره توسعه داده شده است که با در نظر گرفتن اهمیت متفاوت هزینه و ریسک، مسیرهای حمل‌ونقل مواد خطرناک را تعیین می کند. مسأله به این صورت تعریف شده است که محمولات نفتی از انبار نفت چالوس به مقاصد مختلف تعیین شده که جایگاههای نفتی هستند، حمل می‌شود. مدل مسیریابی مواد خطرناک به صورتی توسعه داده شد که ترکیبی از پارامترهای ریسک و هزینه حمل‌ونقل به عنوان معیار تصمیم در نظر گرفته شده است. استان مازندران به عنوان محدوده مطالعه انتخاب شده و بر این اساس شبکه‌ای از استان به صورت تحلیلی مورد استفاده قرار گرفته است. ریسک در قالب ریسک حوادث رانندگی، ریسک جمعیتی و ریسک محیط زیست تفکیک شده است. به دلیل جامعیت شاخص ریسک با توجه به سه نوع ریسک در نظر گرفته شده و نهادهای مختلف درگیر در حمل‌ونقل مواد سوختی مسیرهای حاصله را مورد بررسی قرار داده‌اند. از آنجا که اطلاعات دقیق برای حالات مختلف ریسک در دسترس نبوده است، از روش استفاده از نظرات خبرگان استفاده شده است. نظرات خبرگان که به صورت متغیرهای کلامی ارایه شده‌اند، با استفاده از اعداد فازی مثلثی مثبت به صورت کمّی تبدیل شده و در مدل مسیریابی وارد شده‌اند. در مورد مطالعاتی مربوطه انبار نفت چالوس به عنوان مبدأ و جایگاههای سوخت به عنوان مقاصد در نظر گرفته شده و نتایج حل مدل با درجه اهمیتهای متفاوت ریسک و هزینه حمل‌ونقل مورد بررسی قرار گرفته است. اگر یافتن بهترین مسیر دو معیاره ضریب ارجحیت تصمیم گیرنده برای ریسک بیشتر باشد هزینه کل افزایش می یابد، ولی ریسک کل شبکه نسبت به حالتی که ضریب هزینه بیشتر است کمتر می‌شود. همچنین ترکیب ریسک و هزینه هم می‌تواند رضایت شرکتهای حمل کننده را از نظر اقتصادی جلب کند، هم

ایمنی مورد نظر تصمیم گیرنده را در نظرگیرد. برای تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌توان توسعه تحقیق حاضر در سطح کشور، بررسی انواع مواد خطرناک و ماهیت آنها در این زمینه، بکارگیری روشهای فراابتکاری در حل مسأله در شرایط خاص، محدود کردن دامنه ریسک و هزینه را مد نظر قرار داد.

۷. پی نوشت ها

1- Graded Mean Integration Representation

2- Geographical Information System (GIS)

۸ . تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه تهران از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۴۱-۱-۳۴۰۶۰۱۸ قدردانی می گردد.

۹ . مراجع

- توکلی مقدم،رضا، علینقیان، مهدی، نوروزی، نرگس و سلامت‌بخش ورجوی، علیرضا(۱۳۹۰) "حل یک مدل جدید برای مسأله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ایمنی در حمل‌ونقل مواد خطرناک"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، جلد ۲، شماره ۳، ص. ۲۳۷-۲۲۳.

- Alp, E. (1995) “Risk-based transportation planning practice overall methodology and a case example”, INFOR-Information Systems and Operational Research, Vol. 33, No. 1, pp. 4–19.

- Bonvicini, S., Leonelli, P. and Spadoni, G. (1998) “Risk analysis of hazardous materials transportation: Evaluating uncertainty by means of fuzzy logic”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 62, No. 1, pp. 59–74.

- Carotenuto, P., Giordani, S. and Ricciardelli, S. (2007) “Finding minimum and equitable risk routes for hazmat shipments,” Computers & Operations Research, Vol. 34, No. 5, pp. 1304–1327.

- Cheng, C. and Chau, K.W. (2001) “Fuzzy iteration methodology for reservoir flood control operation”, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 37, No. 5, pp. 1381–1388.

- Chou, C. C. (2003) “The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers", Computers and Mathematics with Applications, Vol. 45, pp. 1601–1610

-Classification of hazardous materials, health and safety executive, Available at http://www.hse.gov.uk/cdg/manual/classification.htm

- Dadkar, Y., Jones, D. and Nozick, L. (2008) “Identifying geographically diverse routes for the transportation of hazardous materials”, Transportation Research - Part E, Vol. 44, pp. 333–349

-Delgado M., Verdegay J. L. and Vila, M. A. (1992) “Linguistic decision-making models”, International Journal of Intelligent System, Vol. 7, pp. 479–492.

-Deng, Y. and Chan, F. (2011) “A new fuzzy Dempster MCDM method and its application in supplier selection”, Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 8, pp. 9854–9861

-Dijkstra, E.W. (1959) “A note on two problems in connation with graphs”, Numerische Mathematik, Vol. 1, pp. 269–271

-Erkut, E. and Gzara, F. (2008) “Solving the Hazmat transport network design problem”, Computers and Operations Research, Vol. 35, pp. 2234–2247

-Erkut, E., Tjandra, S.A. and Verter, V. (2007) “Chapter 9: Hazardous materials transportation”, Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 14, pp. 539–621

-Ghatee, M., Hashemi, S.M., Zarepisheh, M. and Khoram, M. (2009) “Preemptive priority-based algorithms for fuzzy minimal cost flow problem: An application in hazardous materials transportation”, Computers and amp Industrial Engineering, Vol. 57, No. 1, pp. 341-354

-Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T. (2010) “Ant colony system based routing and scheduling for hazardous material transportation”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 2, No. 3, pp.6097–610

-Li, D. F. (2003) “Fuzzy multi objective many-person decision makings and games”, National Defense Industry Press, Beijing, pp. 138–158

-Li, D. and Yang, J. (2004) "Fuzzy linear programming technique for multi-attribute group decision making in fuzzy environments", Information Sciences, Vol. 158, pp.263–275

-Mahmoudabadi, A. and Seyedhosseini, S. M. (2012) "Time-risk tradeoff of Hazmat routing problem in emergency situation", Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Istanbul, Turkey, July 2012, pp. 344–351

-Mahmoudabadi, A. and Seyedhosseini, S. M. (2013) "Using extent analysis method for risk assessment in hazardous material transportation", Proceedings of International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran, Iran, February 19-20, 2013, Paper-code 51

-Shariat Mohaymany, A. and Khodadadian, M. (2008) "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

-Yager, R. R. (1981) "A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval", Information Sciences, Vol. 24, pp. 143–151

-Zwick, R., Carlstein, E. and Budescu, D.V. (1987)

پیوست شماره ۱: فهرست گره‌ها و کمانهای محدوده مطالعه

گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر	گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر	گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر	گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر	گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر	گره مبدأ	گره مقصد	طول مسیر
۱	۲	۶	۱۲	۱۴	۱۲/۵	۲۵	۲۶	۸	۴۷	۴۸	۵	۴۵	۴۹	۱۰	۵۸	۵۹	۱۹
۱	۳	۷	۱۲	۱۵	۳۲	۲۴	۲۶	۴	۴۸	۳۰	۹	۴۹	۵۱	۱۸	۵۹	۲۷	۱۰
۳	۲	۳,۵	۱۵	۱۶	۲۰	۲۳	۲۸	۱۸	۴۷	۴۸	۵	۴۱	۵۰	۱۱/۵	۲۷	۴۱	۲۰
۳	۴	۱۰	۱۶	۹	۳۵	۲۸	۲۹	۸	۴۸	۳۰	۹	۵۰	۵۱	۴	۵۹	۶۰	۹
۴	۵	۱۴	۱۳	۱۷	۷/۸	۲۹	۳۰	۱۰	۴۷	۴۸	۵	۴۹	۵۲	۴۰	۵۵	۶۱	۲۰
۴	۶	۸	۱۷	۱۸	۵	۳۰	۳۱	۴	۴۸	۳۰	۹	۵۲	۳۴	۵	۵۵	۶۲	۵/۵
۶	۵	۵	۱۸	۱۹	۳۷	۳۰	۳۲	۷	۴۷	۴۸	۵	۵۲	۵۱	۲۵			
۴	۷	۱۳	۱۹	۲۰	۳	۳۱	۳۲	۳	۴۸	۳۰	۹	۵۰	۵۳	۸			
۷	۸	۶,۵	۲۰	۲۲	۷	۳۲	۳۳	۱۱	۴۷	۴۸	۵	۵۱	۵۳	۴			
۸	۹	۷/۶	۲۰	۲۱	۱۰	۳۳	۳۴	۱۷	۴۸	۳۰	۹	۵۳	۵۴	۱۰			
۹	۱۰	۹	۲۲	۲۳	۱۱	۳۴	۳۵	۲۶	۴۷	۴۸	۵	۵۴	۳۵	۴			
۱۰	۱۱	۶/۵	۲۳	۲۵	۱۴	۲۶	۳۶	۳۶	۴۸	۳۰	۹	۵۴	۵۵	۷			
۱۱	۱۲	۱۸	۲۲	۲۵	۲۳	۳۶	۳۷	۵۳	۴۷	۴۸	۵	۵۴	۵۶	۱۷			
۱۱	۱۳	۱۵	۲۵	۲۴	۶	۳۷	۱۹	۷۵	۴۸	۳۰	۹	۵۶	۵۷	۴۳			
۱۳	۱۲	۳/۵	۲۱	۲۴	۳۰	۳۷	۳۸	۶۲	۳۳	۴۹	۵	۵۰	۵۸	۲۷			

پیوست شماره ۲: نمونه فرم پرسشنامه

پرسشنامه جهت بررسی میزان هر یک از ریسک ها

کارشناس ۳			کارشناس ۲			کارشناس ۱			طول مسیر	مسیر	گره مقصد	گره مبدأ
نوع ریسک			نوع ریسک			نوع ریسک						
زیست محیطی	جمعیتی	تصادف	زیست محیطی	جمعیتی	تصادف	زیست محیطی	جمعیتی	تصادف				
۳	٤	٥	۳	٤	٥	۳	۳	٤	٦	کتالم – رامسر	۲	۱
٤	٥	٥	٤	٥	٥	٥	٥	٥	۷	دو راهی کتالم و رامسر – رامسر	۳	۱
٤	٤	٥	۳	۳	٤	٤	٤	٤	۳.٥	کتالم – دو راهی کتالم ورامسر	۲	۳
٥	٥	٥	٥	٥	٥	٥	٥	٥	۱۰	شیرود– دو راهی کتالم ورامسر	٤	۳
۳	٥	٤	۳	٤	۳	٤	٥	٤	۱٤	گلزار شهدای تنکابن– شیرود (از مسیر خیابان فردوسی)	٥	٤
٥	٥	٤	٤	٥	٤	٥	٤	٤	۸	میدان امام تنکابن– شیرود	٦	٤