

## اولویت‌بندی عوامل موثر بر ایمنی جاده‌های برون شهری با روش تحلیل سلسله

### مراتبی فازی

#### مقاله پژوهشی

علی عبدی\*، دانشیار، گروه راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
زهره مصدق، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تهران، ایران

حمید بیگدلی راد، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)

دریافت: ۹۹/۰۱/۲۷ - پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۵

صفحه ۴۴-۳۳

#### چکیده

ایمنی جاده‌ها به عنوان یکی از عوامل مهم در سیستم حمل و نقل دنیا و کاهش تصادفات شناخته شده است. در حال حاضر هزینه‌های بالایی در جهت کاهش تصادفات و تلفات جاده ای صرف می‌گردد، اما نتایج مطلوب و دلخواه متولیان امر بدست نمی‌آید. به نظر می‌رسد استفاده از راهکارهای جهانی در تامین ایمنی راهها و مدیریت و برنامه‌ریزی‌های لازم در این امر، موثر خواهند بود. در تحقیق پیش رو محقق با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی اقدام به شناسایی و تعیین میزان اهمیت عوامل موثر بر ایمنی جاده‌های شمالی کشور نموده است. بدین منظور جامعه آماری ۱۲۵ نفری از مدیران، دست‌اندرکاران و متخصصین ترافیک و حمل و نقل اقدام به پاسخگویی به پرسشنامه ای ۷۸ سوالی نمودند که نهایتاً ۲۳ عامل به عنوان عوامل موثر بر ایمنی جاده‌های شمالی شناخته شدند. نتایج تحقیق نشان داد که با به کارگیری روش AHP FUZZY، شاخص‌های تبلیغات در رسانه ملی، کاهش سن متوسط وسایل نقلیه و طراحی مناسب هندسه راه با وزن‌های ۰.۱۲۶، ۰.۰۸۲ و ۰.۰۶۵ دارای بالاترین وزن و اهمیت می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، جاده‌های برون شهری، روش تحلیل سلسله مراتبی، تئوری FUZZY

#### ۱- مقدمه

سوانح جاده‌ای یک پدیده اجتماعی در ایران می‌باشند که نیاز به شناسایی ابعاد زیربنایی تر آن از قبیل مسائل فرهنگی، روانی، جامعه‌شناختی، تبلیغاتی، قضایی، پزشکی و نقش و جایگاه پلیس علاوه بر نارسایی‌های ناشی از فناوری از جمله کیفیت راه‌ها و خیابان‌ها، کیفیت ساخت اتومبیل‌ها و... دارد (Shafabakhsh et al., 2017; Shahbazi et al., 2019). فقدان یک شبکه کافی و مدرن راه آهن در ایران به عنوان کشوری وسیع و پر جمعیت، باعث فشار سنگینی از جهت ترابری بار و مسافر (بیش از ۹۰ درصد) بر روی شبکه جاده‌ای غیرریلی گردیده است. نتایج مطالعات انجام گرفته در ایران، نرخ بازگشت سرمایه گذاری در ایمنی ترافیک را در حدود ۳۶۰ درصد نشان می‌دهد. این نرخ آن قدر بالاست که شاید کمتر بتوان سرمایه‌گذاری دیگری با چنین نرخ بازگشت فوق‌العاده‌ای جستجو نمود. بدین جهت غفلت از انجام چنین سرمایه‌گذاری و ادامه چنان خسارت‌های سهمگین، به هیچ وجه قابل توجیه نیست. همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که حدود ۷ درصد از تولید ناخالص ملی ایران در اثر ضایعات اقتصادی تصادفات از بین می‌رود و این در حالی است که متوسط این هزینه‌ها در جهان بین ۱ الی ۲ درصد است و هیچ کشوری تاکنون چنین درصد ضایعات اقتصادی مربوط به تصادفات را به ثبت نرسانده است (Ayati, 2009; Abdi et al., 2017) در بسیاری از کشورها از جمله ایالات متحده آمریکا تحقیقات

یک مدل پیش بینی کننده حادثه برای قطعات آزادراهها توسعه داده اند که تابعی از حجم ترافیک، درصد وسایل نقلیه سنگین و شرایط جوی بوده است. آنها تحلیل کردند که برخلاف طول قطعات، حجم ترافیک رابطه غیرخطی با وقوع حوادث ترافیکی در آزاد راه ها دارد (Konduri et al., 2003).

بیک و همکاران طی تحقیقاتی اثرات طول سفر را بر تصادفات آزادراهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده این مطلب بوده که بین پتانسیل نرخ تصادفات، حجم ترافیکی و تصادفات به وقوع پیوسته ارتباط تنگاتنگی وجود داشته است (Baek et al., 2005). در تحقیقات این نتیجه حاصل شد که وقتی حجم ترافیک افزایش می یابد، خطر فردی درگیر شدن در یک تصادف کاهش می یابد (Yannis et al., 2017; Park et al., 2016). همچنین در مطالعاتی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک زمانی از پارامترهای مدت زمان رانندگی، میزان تجربه، ساعت رانندگی (شب یا روز) و یک سری عوامل مربوط به زمان برای مدل سازی تصادفات استفاده کرد. وی نشان داد مدت زمان رانندگی دارای بیشترین تأثیر مستقیم بر روی احتمال وقوع تصادف است (PIARC, 2017; Galeta Chala et al., 2003). در این پژوهش سعی می شود فرآیند بررسی ایمنی جاده ها با رویکردی علمی تبیین گردیده، به نحوی که محقق اطمینان حاصل کند که فرآیند حل مسأله، دقیق و جامع بوده و کلیه شاخص های اصلی اعم از شاخص های کیفی و کمی در تصمیم گیری لحاظ گردیده است.

## ۲- فرآیند تحقیق

در این مطالعه ابتدا شاخص های اولیه تعیین شده و تدوین و توزیع پرسشنامه اول به منظور شناسایی شاخص ها صورت می گیرد. پرسشنامه اول مورد بررسی قرار گرفته و پرسشنامه دوم تدوین می شود. روایی و پایایی پرسشنامه ها مورد بررسی قرار می گیرند (Bigdeli Rad et al., 2019). در ادامه توزیع پرسشنامه مقایسات زوجی و محاسبه نرخ ناسازگاری صورت گرفته و با استفاده از روش AHP فازی وزن شاخص ها مشخص می شود.

## ۲-۱- آماده سازی داده ها

در این پژوهش به منظور دیفازی کردن اعداد فازی حاصل از ادغام ماتریس های مقایسات زوجی از روش مرکز ناحیه مطابق با رابطه (۱) استفاده شده است.

زیادی روی عوامل سه گانه انسان، راه و محیط و وسیله نقلیه یا خودرو صورت گرفته است (Sathiaraj et al., 2018). این موضوع در مقاله "از ایده های کلان ایمنی در حمل و نقل" که انستیتو مهندسی حمل و نقل در اکتبر ۲۰۰۴ منتشر کرده مورد بازنگری قرار گرفته، که نتایج تحقیقات با تغییراتی در حدود یک درصد تأیید کرده است. بر اساس مطالعات انجام شده، خطای راننده و (عامل انسانی) در ۹۳ درصد، عامل راه در ۳۴ درصد و نقص عملکردی خودرو در ۱۲ درصد از حوادث رانندگی دخیل اند (Sathiaraj et al., 2018). آقایان "کی و سایمونز" به بررسی عامل لغزندگی سطح جاده به هنگام بارندگی و ریزش برف پرداختند. آنها برای این کار با استفاده از نقشه توالی ایستگاه های هواشناسی جاده ای ثبت باران یا برفابه که بر سطح جاده، برای نشان دادن پیشرفت جبهه زایی در سوئد با استفاده از داده های ۲۶۵ ایستگاه هواشناسی جاده ای استفاده کردند (Keay and Simmonds, 2006). یاماهاوتو (۲۰۰۲) پژوهشی را در زمینه اثر مه در تصادفات جاده ای ژاپن انجام داد و با استفاده از نقشه های سطوح مختلف جو به بررسی چگونگی اثر مه در تصادفات پرداخت. وی در نهایت به این نتیجه رسید که زمان وقوع اکثر تصادفات ناشی از مه آلودگی در فصول سرد سال متمرکز شده است (Yamahoto, 2002).

شانکار (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل چند متغیری به بررسی رابطه بین تعداد تصادفات بزرگراهی و عواملی از قبیل طرح هندسی مسیر، شرایط آب و هوایی و سایر خصوصیات مربوط به فصول مختلف سال پرداخت (Shankar et al., 2005).

صفازراده و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقاتی که اولین تحقیق درباره تصادفات قوس ها در ایران است، مدل پیش بینی تصادفات در قوس برای راه های دو خطه برون شهری براساس متغیرهای تأثیرگذار را ارائه نمودند. یکی از نتایج اصلی بدست آمده از مدل سازی چنین است که نرخ تصادفات تقریباً به صورت غیرخطی با افزایش درجه قوس از ۰ درجه (مسیر مستقیم) تا حدود ۰/۶ درجه (با شعاع ۱۰۰۰ متر) تعداد تصادفات کاهش و سپس افزایش می یابد (Saffarzadeh et al., 2007).

مطالعات پژوهشگران نشان می دهد که توجه و احتیاط بیشتری که رانندگی بر روی سطوح ناهموار دارند عامل مهمی در کاهش نرخ تصادفات فردی در مقایسه با نرخ تصادفات چند وسیله ای است. علاوه بر مانورهای عرضی و جانبی وسایل نقلیه، برای پرهیز از برخورد با ناهمواری ها و خرابی های بیست که در سطح رویه روسازی راه ظاهر شده اند (Islam et al., 2019; Al-Sahili and Dwaikat, 2019). کندوری و همکاران (۲۰۰۳)

محاسبه می‌شود (Momeni, 2006).

$$IR = \frac{II}{IRI} \quad (5)$$

جدول ۱. شاخص ناسازگاری تصادفی

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IR	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۵۱

هائین و همکاران روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد کردند که بر اساس این روش حداقل مجذورات لگاریتمی، بنا شده است. تعداد محاسبات و پیچیدگی مراحل این روش موجب شده است که چندان مورد استفاده قرار نگیرد (Hanine et al., 2016).

روش دیگری به نام روش تحلیل توسعه ای (EA) ارائه می‌گردد. اعداد مورد استفاده در این روش اعداد فازی مثلثی هستند. در اینجا به توصیف مراحل روش EA اقدام می‌شود. در روش EA برای هر یک از سطرها ماتریس مقایسات زوجی ارزش  $S_k$  که خود یک عدد فازی مثلثی است به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} \times [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij}] \quad (6)$$

که در آن  $k$  بیانگر شماره سطر و  $i$  و  $j$  به ترتیب نشان دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌باشند.

در این روش پس از محاسبه  $S_k$  ها، باید درجه بزرگی آنها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی اگر  $M_1$  و  $M_2$  دو عدد فازی مثلثی باشند. درجه بزرگی  $M_1$  بر  $M_2$  به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{max}(x) = \begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 \\ V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) \end{cases}$$

از طرفی با استدلال ریاضی اثبات می‌شود:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = (u_1 - l_2) / [(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)]$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از  $K$  عدد فازی مثلثی

دیگر نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k) \quad (9)$$

$$BNP_i = ((UW_i - LW_i) + (MW_i - LW_i)) / 3 + LW_i \quad (1)$$

از آنجا که ماتریس مقایسات زوجی نسبت به قطر اصلی معکوس یکدیگر می‌باشند، ولی درخصوص اعداد فازی الزاماً حاصل ضرب یک عدد فازی در معکوس آن برابر یک نیست؛ ابتدا ناحیه بالا مثلثی دیفازی شده و سپس معکوس هر درایه در درایه متناظر نسبت به قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرد. در ماتریس‌های مقایسات زوجی حاصل از اعداد قطعی، نرمال سازی با استفاده از رابطه (۲) انجام می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (2)$$

که در آن،  $r_{ij}$  درایه نظیر  $a_{ij}$  در ماتریس نرمال شده است.

در ماتریس‌های مقایسات زوجی متشکل از اعداد قطعی، میانگین اعداد هر سطر ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده محاسبه و برای محاسبه میانگین موزون از رابطه (۳) استفاده شده است:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n} \quad (3)$$

محاسبه نرخ ناسازگاری دقیقاً همانند آنچه توسط ساعتی و برای روش AHP ارائه گردیده است، انجام گرفته شده است. برای محاسبه نرخ سازگاری، از ماتریس حاصل از ادغام ماتریس‌های مقایسات زوجی، قبل از نرمال کردن ماتریس فازی، اقدام به دیفازی کردن عناصر آن ماتریس کرده سپس مراحل زیر انجام می‌گیرد:

گام اول: محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی در بردار ستونی "وزن‌های نسبی" ضرب شده و بردار جدیدی که از این طریق به دست می‌آید بردار مجموع وزنی نامیده شده است.

گام دوم: محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی بر بردار اولویت نسبی تقسیم گردیده است.

گام سوم: به دست آوردن  $\lambda_{max}$ : میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه شده است.

گام چهارم: محاسبه شاخص ناسازگاری  $(IR^1)$ : شاخص ناسازگاری براساس رابطه (۴) محاسبه شده است:

$$\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

گام پنجم: محاسبه نرخ ناسازگاری  $(IR^2)$ : نسبت ناسازگاری مطابق با رابطه (۵)، از تقسیم شاخص ناسازگاری  $(IR^1)$  بر شاخص ناسازگاری تصادفی  $(IRI^3)$ : مطابق با جدول (۱)

اهمیت هر یک از عوامل از یکی از اعداد ۱ تا ۵ می‌بایست استفاده کنند. در این تحقیق مراحل انجام این محاسبات برای ماتریس‌های مقایسات زوجی جهت محاسبه وزن‌های تقدمی، همه ماتریس‌ها به ترتیب طبق روابط زیر انجام می‌شود. (Afandi et al., 2019):

الف: ادغام ماتریس‌های مقایسات زوجی؛

ب: محاسبه نرخ ناسازگاری برای هر ماتریس؛

ج: محاسبه درجه بزرگی تمام  $S_k$ ؛

د: محاسبه وزن برای هر ماتریس.

### ۳- نتایج

در ادامه به بررسی گام‌های اجرا شده و نتایج پرداخته و تحلیل‌هایی درمورد نتایج مستخرج ارائه می‌گردد. گام اول: ادغام ماتریس‌های مقایسات زوجی برای ادغام ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}} \quad (12)$$

گروه خبرگانی که به تکمیل پرسشنامه مقایسات زوجی اقدام کردند متشکل از ۸ نفر از خبرگان بودند. تصمیم‌گیرندگان برای مقایسه معیار دوم نسبت به معیار اول ۳ بار عدد فازی ۷، ۲ بار عدد فازی ۶ و ۳ بار عدد فازی ۵ را اعلام نموده‌اند. بنابراین، طبق قواعد ضرب اعداد فازی درایه‌ی واقع در سطر اول و ستون دوم به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$(\sqrt[3]{5^3 \times 4^2 \times 3^3}, \sqrt[3]{7^3 \times 6^2 \times 5^3}, \sqrt[3]{9^3 \times 8^2 \times 7^3}) = (3.904, 5.937, 7.953)$$

جدول (۲) نتایج حاصل از ادغام ماتریس‌های مقایسات

زوجی شاخص‌های چهار گانه مربوط به بعد عملیات بهره برداری راه را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقایسات زوجی شاخص‌های چهار گانه مربوط به بعد عملیات بهره برداری راه

	S1			S2			S3			S4		
S1	1.00	1.00	1.00	0.126	0.168	0.256	0.131	0.179	0.291	0.158	0.234	0.473
S2	<b>3.904</b>	<b>5.937</b>	<b>7.953</b>	1.00	1.00	1.00	4.141	6.226	8.265	2.482	4.671	6.735
S3	0.12	0.13	0.19	0.121	0.161	0.242	1.00	1.00	1.00	0.156	0.230	0.452
S4	3.431	5.589	7.640	0.148	0.214	0.403	2.213	4.356	6.402	1.00	1.00	1.00

همچنین برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی به صورت (۱۰) عمل می‌کنیم:

$$(10)$$

$$W'(x_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\} \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه (۱۱)

محاسبه خواهد شد که همان بردار ضرائب غیر بهنجار AHP

فازی است:

$$(11)$$

$$W' = [W'(x_1), W'(x_2), \dots]$$

با به دست آوردن وزن‌ها یا همان بردار غیر بهنجار فازی با استفاده از روابط نرمال سازی و نیز تبدیل اعداد فازی به قطعی، بردار وزنی لازم جهت ایجاد سوپر ماتریس مهیا می‌شود.

### ۲-۲- جامعه آماری

در این بخش جامعه آماری این پژوهش که اقدام به پاسخگویی به پرسشنامه‌های این تحقیق پرداختند یک جامعه ۱۲۵ نفری از بین کلیه متخصصین ترافیک و حمل و نقل انتخاب شده‌اند مورد توصیف و ارزیابی قرار می‌گیرد. ویژگی‌های جامعه آماری به این ترتیب بود که در بین پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه‌های تحقیق تعداد مردان ۶۷،۲ درصد و زنان ۳۲،۸ درصد بود. ۵۷،۶ درصد دارای مدرک لیسانس، ۳۸،۴ درصد فوق لیسانس و ۴ درصد دارای مدرک دکترا و یا دانشجوی دکترا بودند. سابقه کار افراد به این شکل بود که ۱۳،۶ درصد کمتر از دو سال، ۲۴،۸ درصد بین ۲ تا ۵ سال، ۳۲،۸ درصد بین ۵ تا ۱۰ سال و ۲۸،۸ درصد از افراد دارای سابقه کار ۱۰ تا ۱۵ سال بودند. برای شناسایی عوامل موثر بر ایمنی جاده‌های برون شهری پرسشنامه‌ای با ۷۸ سوال از پاسخ‌دهندگان خواسته شد که مشخص کنند از میان موارد ۷۸ گانه مذکور توجه به هر مورد تا چه میزان اهمیت دارد. پاسخ‌دهندگان برای تعیین میزان

به همین ترتیب سایر  $S_k$ ها مانند جدول (۳) محاسبه می شود.

جدول ۳. مقادیر  $S_k$  محاسبه شده بر اساس جدول (۲)

$S_1$	(۰.۰۳۳, ۰.۰۳۷, ۰.۰۴۷)
$S_2$	(۰.۲۶۶, ۰.۴۱۲, ۰.۵۵۳)
$S_3$	(۰.۰۳۲, ۰.۰۳۵, ۰.۰۴۴)
$S_4$	(۰.۱۵۷, ۰.۲۵۸, ۰.۳۵۷)

گام پنجم- محاسبه درجه بزرگی  $S_k$ ها و اوزان نهایی:

در این مرحله می بایست درجه بزرگی همه  $S_k$ ها نسبت به یکدیگر مطابق رابطه (۱۵) محاسبه شود. اگر  $M_1$  و  $M_2$  دو عدد فازی مثلثی باشند. درجه بزرگی  $M_1$  بر  $M_2$  به صورت رابطه (۱۵) تعریف می شود:

(۱۵)

$$\mu_{max}(x) = \begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 \\ V(M_1 \geq M_2) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) \end{cases}$$

به طور مثال درجه بزرگی  $S_2$  بر  $S_1$  برابر ۱ است:

$$\text{زیرا } m_1 \geq m_2$$

اما درجه بزرگی  $S_1$  بر  $S_4$  برابر یک نخواهد بود.

به همین ترتیب درجه بزرگی تمام  $S_k$ ها را نسبت به یکدیگر محاسبه می شود و سپس درجه بزرگی هر کدام نسبت به سایر اعداد از حداقل مقدار بزرگیها به دست می آید که این خود برابر اوزان غیر بهنجار حاصل از ماتریس مقایسات زوجی است. جدول (۴) وزن های ناهنجار و بهنجار شده شاخص های چهار گانه مربوط به بعد عملیات بهره برداری راه را نشان می دهد.

جدول ۴. وزن های ناهنجار و بهنجار شده شاخص های چهار گانه

مربوط به بعد عملیات بهره برداری راه

معیار	وزن های غیر بهنجار		وزن های هنجار شده	
	$W'_i$		$W_i$	
هشدارهای آب و هوایی	$W'_1$	0.190	$W_1$	0.073
نصب علائم هشدار دهنده و کنترل ترافیک	$W'_2$	1.00	$W_2$	0.385
استقرار حفاظ ایمنی مناسب	$W'_3$	0.552	$W_3$	0.212
وجود روشنایی و چراغ راهنمایی	$W'_4$	0.858	$W_4$	0.330

همچنین وزن های نهایی به هنجار شده (نرمال شده) در ستون چهارم جدول فوق آورده شده است. هر کدام از این اعداد از

نکته قابل توجه در انجام محاسبات این بخش آن است که پس از دیفازی کردن اعداد فازی این ماتریسها به محاسبه نرخ ناسازگاری مطابق آنچه در بخش دوم آمد اقدام شد. برای تمام ماتریس های ادغام شده موجود در این بخش این محاسبات به صورت کامل انجام شده است که جهت پرهیز از طولانی شدن، از آوردن آنها در این بخش خودداری می شود.

$$\text{گام دوم- محاسبه ی } [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij}]^{-1}$$

برای این منظور ابتدا می بایست برای تمام اعداد فازی مثلثی که به صورت  $(l, m, u)$  تعریف می شوند در طول تمام ردیف ها و ستون های جدول (۲) جمع تمام  $L$ ها و جمع تمام  $M$ ها و تمام  $U$ ها را محاسبه نمود به طور مثال:

$$1+0,126 + 0,131+0,131 + \dots + 2,213 + 1=21,131$$

چنانچه مشخص است این اعداد از ماتریس مقایسات زوجی فوق و از اعداد  $L$  آنها استخراج شده است. با محاسبه مشابه برای مقادیر  $M$ ها و  $U$ ها اعداد زیر بدست می آید:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} = (21,131, 32,095, 43,302)$$

اگر  $M=(l, m, u)$  باشد آنگاه برای محاسبه معکوس این عدد فازی از رابطه ی (۱۳) استفاده می شود:

(۱۳)

$$M^{-1} = (\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l})$$

پس ماتریس معکوس بصورت زیر بدست می آید:

$$[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij}]^{-1} = (\frac{1}{43.302}, \frac{1}{32.095}, \frac{1}{21.131}) = (0.023, 0.031, 0.047)$$

گام سوم- محاسبه  $\sum_{j=1}^n M_{kj}$  برای هر سطر:

برای هر ردیف، اعداد فازی موجود در هر سطر مطابق رابطه جمع اعداد فازی حساب می شود. به عنوان مثال برای سطر اول محاسبات مطابق زیر است:

$$(1,1,1) + (0,126, 0,168, 0,206) + \dots + (0,158, 0,234, 0.473) = (1,415, 1,581, 2,020)$$

گام چهارم- محاسبه  $S_k$  برای هر عضو از ماتریس:

چنانچه در روش تحقیق گفته شد  $S_k$  از رابطه (۱۴) بدست می آید:

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} \times [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij}]^{-1} \quad (14)$$

به طور مثال  $S_1$  به این روش محاسبه می شود.

$$S_1 = (1,415, 1,581, 2,020) * (0.023, 0.037, 0.047) = (0.033, 0.037, 0.047)$$

تقسیم هر کدام از اعداد ستون دوم بر مجموع همه اعداد این ستون حاصل شده است. رابطه (۱۶) چگونگی این نرمال سازی را نشان می دهد:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n}$$

$$W = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$$

جدول ۷. میانگین سطری

ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده				میانگین سطری
0.078	0.117	0.031	0.047	0.068
0.424	0.641	0.558	0.747	0.593
0.228	0.103	0.090	0.045	0.117
0.270	0.138	0.322	0.161	0.223

اینک برای محاسبه نرخ ناسازگاری می بایست گام های زیر طی شود. محاسبه نرخ ناسازگاری دقیقاً همانند آنچه توسط ساعتی و برای روش AHP ارائه گردیده است، انجام می گیرد. برای محاسبه نرخ ناسازگاری از ماتریس حاصل از ادغام ماتریس های مقایسات زوجی قبل از نرمال کردن ماتریس فازی، اقدام به دیفازی کردن عناصر آن ماتریس کرده سپس مراحل زیر پی گرفته می شود:

گام اول: محاسبه بردار مجموع وزنی

ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی "وزنهای نسبی" ضرب می شود. بردار جدیدی که از این طریق به دست می آید بردار مجموع وزنی نامیده خواهد شد. نتایج محاسبات این مرحله در جدول (۸) آورده شده است:

جدول ۸. بردار مجموع وزنی

0.281
2.719
0.474
1.004

گام دوم: محاسبه بردار سازگاری

عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم می شود. نتایج محاسبات این مرحله در جدول (۹) آمده است:

جدول ۹. محاسبه بردار سازگاری

4.122
4.589
4.066
4.508

گام سوم: به دست آوردن  $\lambda_{max}$

میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می شود.

نتایج محاسبات این مرحله در جدول پیوست آورده شده است

در این قسمت اقدام به محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی فازی جدول (۲) خواهد شد. در ابتدا جهت دیفازی کردن اعداد مثلثی از رابطه (۱۷) استفاده خواهد شد:

$$BNP_i = ((UW_i - LW_i) + (MW_i - LW_i)) / 3 + LW_i$$

از آنجا که ماتریس مقایسات زوجی نسبت به قطر اصلی معکوس یکدیگر می باشند ناحیه بالا مثلثی دیفازی شده و سپس معکوس هر درایه در درایه متناظر نسبت به قطر اصلی ماتریس قرار می گیرد. جدول (۵) ماتریس مقایسات زوجی دیفازی شده را نشان می دهد.

جدول ۵. ماتریس مقایسات زوجی دیفازی شده

	S1	S2	S3	S4
S1	1.000	0.183	0.341	0.288
S2	5.455	1.000	6.211	4.629
S3	2.933	0.161	1.000	0.279
S4	3.468	0.216	3.580	1.000

پس از این مرحله نوبت به نرمال سازی ماتریس مقایسات زوجی می شود. در ماتریس های مقایسات زوجی حاصل از اعداد قطعی، نرمال سازی با استفاده از رابطه (۱۸):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (18)$$

که در آن،  $r_{ij}$  درایه نظیر  $a_{ij}$  در ماتریس نرمال شده است. جدول (۶) ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده را نشان می دهد.

جدول ۶. ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده

0.078	0.117	0.031	0.047
0.424	0.641	0.558	0.747
0.228	0.103	0.090	0.045
0.270	0.138	0.322	0.161

پس از مرحله نرمال سازی نوبت به محاسبه میانگین سطری ماتریس های نرمال شده می رسد. برای این منظور در ماتریس های مقایسات زوجی متشکل از اعداد قطعی، میانگین اعداد هر سطر ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده محاسبه

جدول (۱) محاسبه می‌شود. برای سایر عوامل دیگر مانند مراحل فوق وزن عوامل موثر بر هر یک را محاسبه نموده ایم که در این قسمت جهت پرهیز از طولانی شدن مطلب صرفاً به ارائه نتایج پرداخته خواهد شد. جدول (۱۰) نشان می‌دهد از بین شاخص‌های ۲۳ گانه مؤثر بر ایمنی جاده‌ها، شاخص تبلیغات در رسانه ملی بیشترین وزن و پس از آن شاخصهای کاهش سن متوسط وسایل نقلیه، طراحی مناسب هندسه راه و الزام استفاده از ترمز ABS دارای بیشترین وزن بعدی است. جدول (۱۱) تحلیل حساسیت مربوط به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مساله را نشان می‌دهد.

$\lambda$	4.122
	4.589
	4.066
	4.508
میانگین $\lambda$ ها	4.321

گام چهارم: محاسبه شاخص ناسازگاری (II)

شاخص ناسازگاری براساس رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$II = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (20)$$

نتایج محاسبات این مرحله برابر با ۰/۰۸ شده است.

گام پنجم: محاسبه نرخ ناسازگاری (IR)

نسبت ناسازگاری مطابق با رابطه (۱۸) از تقسیم شاخص

ناسازگاری (II) بر شاخص ناسازگاری تصادفی (IRI) مطابق با

جدول ۱۰. اوزان نهایی شاخص‌های مؤثر بر ایمنی جاده‌ها

وزن نهایی شاخص	وزن نسبی شاخص	شاخص	وزن بعد	بعد
0.077	0.434	کاهش سن متوسط وسایل نقلیه	0.177	عامل وسیله نقلیه
0.061	0.347	الزام استفاده از ترمز ABS		
0.039	0.219	تجهیز خودرو به سیستم تطبیق سرعت که خودکار، سرعت وسیله نقلیه را با نوع راه متناسب می‌سازد.		
0.051	0.234	برخورد با بی توجهی به مقررات	0.216	اعمال محدودیت قانونی و جرائم
0.046	0.211	اعمال جریمه سنگین برای تخطی از سرعت مطمئن		
0.019	0.087	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم فرمان خودرو		
0.020	0.093	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم روشنایی		
0.022	0.102	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم ترمزها		
0.028	0.131	اعمال جریمه سنگین به خاطر نبستن کمربند ایمنی		
0.031	0.142	اعمال محدودیت برای رانندگان کم تجربه برای تردد در جاده های برون شهری		
0.045	0.185	ارتقای نظارت بر نیروی انسانی راهداری و پلیس راه	0.242	آموزش و فرهنگ
0.036	0.147	آموزش افسران پلیس در زمینه مدیریت ترافیک		
0.051	0.211	برنامه‌های آموزشی برای بهبود ایمنی رانندگان		
0.111	0.457	تبلیغات در رسانه ملی	0.211	عامل جاده
0.032	0.152	طراحی مناسب نوع دور برگردانها		
0.035	0.168	تامین همواری سطح راه		
0.054	0.258	شناسایی و رفع خطر از نقاط حادثه خیز		
0.062	0.294	طراحی مناسب هندسه راه		
0.027	0.128	لحاظ کردن شرایط آب و هوایی در طراحی جاده	0.154	عملیات بهره برداری راه
0.011	0.073	هشدارهای آب و هوایی		
0.059	0.385	نصب علائم هشدار دهنده و کنترل ترافیک		
0.033	0.212	استقرار حفاظ ایمنی مناسب		
0.051	0.33	وجود روشنایی و چراغ راهنمایی		

جدول ۱۱. تحلیل حساسیت مربوط به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مساله

میانگین نظرات منفرد هشت نفر تصمیم گیرنده	بیشترین وزن شاخص برای یک تصمیم گیرنده	رتبه در مجموع	وزن نهایی شاخص	شاخص
0.126	1	1	0.111	تبلیغات در رسانه ملی
0.082	2	2	0.077	کاهش سن متوسط وسایل نقلیه
0.065	3	3	0.062	طراحی مناسب هندسه راه
0.059	2	4	0.061	الزام استفاده از ترمز ABS
0.052	4	5	0.059	نصب علائم هشدار دهنده و کنترل ترافیک
0.05	4	6	0.054	شناسایی و رفع خطر از نقاط حادثه خیز
0.049	4	7	0.051	برخورد با بی توجهی به مقررات
0.048	5	8	0.051	برنامه های آموزشی برای بهبود ایمنی رانندگان
0.053	5	9	0.051	وجود روشنایی و چراغ راهنمایی
0.048	6	10	0.046	اعمال جریمه سنگین برای تخطی از سرعت مطمئن
0.044	6	11	0.045	ارتقای نظارت بر نیروی انسانی راهداری و پلیس راه
0.043	7	12	0.039	تجهیز خودرو به سیستم تطبیق سرعت که بطور خودکار، سرعت وسیله نقلیه را با نوع راه متناسب می سازد.
0.038	7	13	0.036	آموزش افسران پلیس در زمینه مدیریت ترافیک
0.033	9	14	0.035	تامین همواری سطح راه
0.031	9	15	0.033	استقرار حفاظ ایمنی مناسب
0.03	9	16	0.032	طراحی مناسب نوع دور برگردانها
0.029	12	17	0.031	اعمال محدودیت برای رانندگان کم تجربه برای تردد در جاده های برون شهری
0.025	12	18	0.028	اعمال جریمه سنگین به خاطر نیستن کمربند ایمنی
0.024	14	19	0.027	لحاظ کردن شرایط آب و هوایی در طراحی جاده
0.023	11	20	0.022	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم ترمزها



0.019	9	0.41	21	0.02	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم روشنایی
0.018	14	0.035	22	0.019	اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص سیستم فرمان خودرو
0.011	16	0.029	23	0.011	هشدارهای آب و هوایی

#### ۴- بحث

• اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص

سیستم روشنایی

• اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص

سیستم ترمزها

• اعمال جریمه سنگین به خاطر نبستن کمربند ایمنی

• اعمال محدودیت برای رانندگان کم تجربه برای تردد در

جاده های برون شهری

• ارتقای نظارت بر نیروی انسانی راهداری و پلیس راه

• آموزش افسران پلیس در زمینه مدیریت ترافیک

• برنامه های آموزشی برای بهبود ایمنی رانندگان

• تبلیغات در رسانه ملی

• طراحی مناسب نوع دور برگردانها

• تامین همواری سطح راه

• شناسایی و رفع خطر از نقاط حادثه خیز

• طراحی مناسب هندسه راه

• لحاظ کردن شرایط آب و هوایی در طراحی جاده

• هشدارهای آب و هوایی

• نصب علائم هشدار دهنده و کنترل ترافیک

• استقرار حفاظ ایمنی مناسب

• وجود روشنایی و چراغ راهنمایی

بر اساس نظرات جمع آوری شده، وزن هر یک از عوامل

با استفاده از روش AHP FUZZY محاسبه گردیده شده است.

جدول (۱۰) که بر گرفته شده از محاسبات تحقیق است، وزن

نهایی و میزان اهمیت هر یک از عوامل موثر بر ایمنی جاده های

شمالی کشور را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد شاخص

تبلیغات در رسانه ملی با وزن ۰,۱۲۶، کاهش سن متوسط

وسایل نقلیه با وزن نهایی ۰,۰۸۲ و طراحی مناسب هندسه

راهبا وزن ۰,۰۶۵ به ترتیب بیشترین وزن و بالاترین اهمیت را

دارا می باشند.

در جدول (۱۱) ستونهای وزن نهایی شاخص و همچنین رتبه در مجموع از جدول (۱۰) اقتباس شده است. مقادیر موجود در ستون بیشترین وزن شاخص برای یک تصمیم گیرنده به این شکل است که چنانچه نتایج هر هشت نفر تصمیم گیرنده را ادغام نکنیم و برای هر یک از تصمیم گیرندگان وزن ها را جداگانه در نظر بگیریم، بیشترین وزنی که هر شاخص از دید هر پنج تصمیم گیرنده دریافت کرده است و همچنین بهترین رتبه گزارش شده است. ستون آخر میانگین حسابی نظرات هشت نفر را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود، تغییرات در نظر افراز تصمیم گیرنده تأثیری چندانی بر رتبه شاخصها نداشته است.

#### ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش با بررسی پیشینه تحقیق، ابتدا مولفه های موثر بر ایمنی جاده های شمالی کشور تعیین شده است و ضمن تایید این مولفه ها از سوی متخصصان این حوزه، پرسشنامه نهایی تحقیق طراحی شده است. برای ارزیابی عوامل موثر بر ایمنی جاده های برون شهری شاخص های ارزیابی در ۲۳ شاخص قابل توضیح و اندازه گیری می باشند. برای ارزیابی عوامل موثر بر ایمنی جاده های برون شهری شاخص های ارزیابی در ۲۳ شاخص قابل توضیح و اندازه گیری می باشند.

• کاهش سن متوسط وسایل نقلیه

• الزام استفاده از ترمز ABS

• تجهیز خودرو به سیستم تطبیق سرعت که بطور خودکار؛ سرعت وسیله نقلیه را با نوع راه متناسب می سازد.

• برخورد با بی توجهی به مقررات

• اعمال جریمه سنگین برای تخطی از سرعت مطمئن

• اعمال نظارت دقیق در معاینه فنی خودرو در مورد نقص

سیستم فرمان خودرو

-Islam, M. H., Hua, L. T., Hamid, H., & Azarkerdar, A., (2019), "Relationship of Accident Rates and Road Geometric Design, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 357, No.1, pp. 012040.

-Keay, K., Simmonds, I., (2006), "Road Accident and Rainfall in large Australian city", Accident analysis and Prevention, V38, pp.445-454.

Konduri S., Labi S., Sinha Kumares C., (2003), "Incident Occurrence Models for Freeway Incident Management, Annual Meeting CD-Rom 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

-Momeni, Mansour, (2006), "Modern Topics in Operational Research, University of Tehran Management School Press", In Persian.

Ouni, F., & Belloumi, M., (2018), "Modeling Traffic Accident Occurrence at Hazardous Road Locations: A Case Study in Tunisia.

Park, S. H., Kim, S. M., & Ha, Y. G., (2016), "Highway traffic accident prediction using VDS big data analysis", The Journal of Supercomputing, No.72, pp.2815-2832.

-Saffarzadeh, M. Shaabani, Sh. Azarami, A., (2007), "Accident Prediction Model in Cross-Country Links", Journal of Transportation, Vol, In Persian.

-Sathiaraj, D., Pankasem, T. O., Wang, F., & Seedah, D. P., (2018), "Data-driven analysis on the effects of extreme weather elements on traffic volume in Atlanta, GA, USA. Computers, Environment and Urban Systems, No.72, pp.212-220.

-Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Bahadori, M. S. (2017), "GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), No. 4 (3), pp.290-299.

-Shahbazi, F., Hashemi Nazari, S. S., Soori, H., & Khodakarim, S., (2019), "Socioeconomic inequality in mortality from road traffic accident in Iran, Journal of research in health sciences, pp.19-21.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Inconsistency Index
2. Inconsistency Ratio
3. Inconsistency Random Index

## ۷- مراجع

-Abdi, A., Bigdeli Rad, H., & Azimi, E. (2017), "Simulation and analysis of traffic flow for traffic calming", In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer, Vol. 170, No. 1, pp.16-28.

-Afandi, Z. S., Bigdeli, R. H., & Shaker, H., (2019), "Using Optimization and metaheuristic method to reduce the bus headway (Case study: Qazvin Bus Routes).

-Al-Sahili, K., & Dwaikat, M., (2019), "Modeling Geometric Design Consistency and Road Safety for Two-Lane Rural Highways in the West Bank, Palestine, Arabian Journal for Science and Engineering, No.44, pp.4909-4895.

-Ayati, Ismail, (2009), "the Cost of Accidents Theory and Practice", First Edition, Tehran: Institute of Transportation, In Persian.

-Baek S., Chang H., Kang J.G., Yoon B., (2005), "An Effect of Trip Length on Freeway Accident Rate", Journal of the Eastern Asia Society Transportation Studies, Vol.6, pp.3481-3467.

-Bigdeli Rad, V., Najafpour, H., Shieh, E., & Bigdeli Rad, H., (2019), "Questionnaire Design: Relation of Physical Activity and Safety, No. 29, pp.113-123.

-Galeta Chala, P., Quezon, E. T., & Kumela, T. (2017), "Effects of Human Behaviors and Geometric Factors in Road Traffic Accidents: A Case Study along Sululta-Fiche Road", Ethiopia. Gsj, No.5, pp.136.163.

-Hanine, M., Boutkhom, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016), "Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection", Springer Plus, No.5, pp.510-511.

-Yamahoto, A.F., (2002), "Climatology of the Traffic Accident in Japan on the Express way with Dense Fog, a Case Study", Meteorological Research Institute.

-Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., La Torre, F., Domenichini, L., Richter, T., ... & Karathodorou, N., (2017), "Road traffic accident prediction modelling: a literature review, In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, Vol. 170, No. 5, pp. 244-254.

-Shankar V.N., Mannering F.L., Barfield W., (2005), "Effect of Roadway Geometric and Environmental Conditions on Rural Accident Frequencies", Accident Analysis and Prevention, No.27, pp.371-389.

-World Road Association, (PIARC), (2003), "Road Safety Manual", Montreal.

# Prioritizing Factors Affecting Road Safety Using Fuzzy Hierarchical Analysis

*Ali Abdi, Associate professor, Department of Transportation Engineering and Planning, Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Zahra Mosadeq, M.Sc., Grad., Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.*

*Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Student, Faculty of Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir*

Received: March 2020-Accepted: September 2020

## **ABSTRACT**

Road safety is recognized as one of the most important factors in transportation system of the world as well as in reducing road accidents. Currently, heavy expenses are spent for reducing road accidents and casualties, however, authorizes haven't so far achieved satisfactory and desirable results. It appears that adoption of global solutions might be effective in securing roads safety and making necessary planning and management in this regard. In the present study, researcher with the use of AHP Fuzzy method has tried to identify and determine the importance level of the effective factors on the safety of northern roads in Iran. For this purpose, a research population consisted of 125 traffic and transport managers, practitioners and experts have responded to a 78-item questionnaire and finally, 23 factors were identified as the effective factors on safety of the northern roads of Iran. Research results indicated that with the adoption of AHP FUZZY method, the indicators of advertising in national media, reduced average age of vehicles and appropriate designing of road geometry respectively have the highest weight and importance with 0.126, 0.082 and 0.065 weights.

**Keywords:** Safety, Suburban Roads, AHP Method, FUZZY Theory