فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ارزیابی ایمنی جاده‌های مواصلاتی شمال کشور با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر عدم قطعیت

امیرعباس رصافی[۱]، سیدرضا سیدعلیزاده گنجی[۲]، حسین پورخانی[۳]

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه عمران-راه و ترابری دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)-قزوین -ایران

۲- دانشجوی دکتری عمران-راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)-قزوین-ایران

۳- دانشجوی دکتری عمران- راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)-قزوین -ایران

چکیده

امروزه با افزایش تقاضا در بخش حمل و نقل و با توجه به محدودیت بودجه‌های مالی در جهت عرضه بهینه زیرساختهای حمل و نقل مقوله ایمنی یکی از مهمترین چالشهای پیش روی کارشناسان حمل و نقل و همچنین عموم مردم می‌باشد. یکی از راهکارهای کوتاه مدت در ارتقا سطح ایمنی توجه به رفتار رانندگان در انتخاب مسیر می‌باشد. به عبارت دیگر کاربران جاده‌ای در بسیاری مواقع ناگزیر به انتخاب می‌باشند. با توجه به گسترش روشهای تصمیم گیری چند معیاره می‌توان مسائل پیچیده را مورد ارزیابی قرار داد. اما در واقعیت بیشتر مسائل در شرایط عدم وجود قطعیت مطرح می‌گردند. به عبارت دیگر نظرات کارشناسی در بسیاری مواقع ناقص و غیرقابل اتکا می‌باشند. در این شرایط روشهای موجود تصمیم گیری قادر به ارزیابی نمی باشند. لذا این مقاله سعی دارد تا با معرفی روش جدید مبتنی بر شرایط نامطمئن تحت عنوان Evidential Reasoning ، جاده‌های شمالی مشتمل بر کیاسر، هراز، فیروزکوه و کندوان را مورد ارزیابی ایمنی قرار دهد.

واژگان کلیدی: ایمنی ، حمل و نقل، تصمیم گیری ، عدم قطعیت

۱- مقدمه

مسائل مرتبط با ایمنی جاده‌ای اغلب توسط تعداد زیادی از فاکتورهای ایمنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به ماهیت کیفی بسیاری از پارامترهای مؤثر در ایمنی، ارزیابی این گونه مسائل تنها بر پایه نظرات کارشناسان و کاربران جاده‌ای امکان پذیر می‌باشد. امروزه بسیاری از روش‌های ارزیابی با لحاظ نمودن شرایط عدم قطعیت در اعلام نظر کازشناسی پایه ریزی شده اند. در این میان می‌توان به روشهای تاپسیس فازی [۱-۲]، سلسله مراتبی فازی [۳-۴]، الکتر فازی [۵-۶]، سلسله مراتبی تلفیقی با تئوری دمپستر-شیفر [۷-۸]، و اویدنتیال ریزونینگ [۹-۱۲]،اشاره نمود. با توجه به قابلیت روش اخیر (ER) در حل مسائل مشتمل بر نقص داده‌های اولیه، ابهام و یا عدم وجود در اطلاعات به عنوان متدلوژی مورد نظر انتخاب شده است. توجه به این نکته ضروری است که روش ER بر اساس نظریه دمپستر-شیفر [۱۳-۱۴] و قوانین احتمال بیز پایه ریزی شده است.

مطالعه حاضر به شرح ذیل ارائه می‌گردد. بخش ۲ به طور خلاصه به تئوری دمپستر-شیفر به عنوان اساس روش‌های مبتنی بر عدم قطعیت می‌پردازد. در بخش ۳ روش ER با جزئیات تشریح خواهد شد. در بخش ۴ نیز روش مورد نظر به منظور رتبه بندی جاده‌های مواصلاتی شمال کشور با رویکردی بر ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت نتایج به دست آمده از این تحقیق در بخش ۵ ارائه می‌گردد.

۲-تئوری دمپستر-شیفر (D-S)

تئوری در سال ۱۹۶۷ توسط محققی به نام دمپستر ارائه و متعاقبا در سال ۱۹۷۶ توسط دانشمند دیگری به نام شیفر [۱۴] ارتقا یافته است. از این روی به تئوری مورد اشاره تئوری

دمپستر-شیفر [D-S] اتلاق می‌گردد. امروزه تئوری DS کاربرد چشمگیری در بسیاری از علوم از جمله تصمیم‌گیری چند معیاره داشته است. خلاصه‌ای از این تئوری به شرح ذیل می‌باشد.

فرض می‌کنیم $\Theta=\{H_1,\ldots,H_N\}$ مجموعه‌ای کامل و غیرهمزمان از پیشامدهای ممکن باشد، آنگاه بر اساس قواعد احتمال می‌دانیم که تعداد 2^Θ زیر مجموعه برای Θ به شرح ذیل محتمل می‌باشد:

$$\left\{2^\Theta=\varphi,\{H_1\},\ldots,\{H_N\},\{H_1,H_2\},\ldots,\{H_1,H_N\},\ldots,\Theta\right\} \quad (1)$$

که در آن φ نمایانگر مجموعه تهی می‌باشد. از طرفی داریم:

$$m(\varphi)=0, \text{and} \sum_{A\subset\Theta} m(A)=1 \quad (2)$$

که A بیانگر هر زیرمجموعه از Θ می‌باشد. $m(A)$ به عنوان جرم اختصاص یافته احتمال به زیر مجموعه A نشان می‌دهد که شواهد تا چه اندازه احتمال دخداد پیشامد A را تأیید می‌نماید. مهمترین بخش تئوری، قانون ترکیب دمپستر می‌باشد. در این قانون فرض می‌شود که منابع اطلاعاتی ما مستقل از یکدیگر باشند، در اینصورت رویدادهای مختلف به صورت زیر با یکدیگر ترکیب می‌شوند:

$$m=m_1\oplus m_2\oplus\ldots\oplus m_K \quad (3)$$

که در رابطه (۳) عملگر $\oplus$ نشانگر ترکیب است. برای m_1 و m_2 قانون ترکیب دمپستر به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$[m_1\oplus m_2](C)=\begin{cases}0, & C=\hat{O}\\ \dfrac{\sum_{A\cap B=C} m_1(A)m_2(B)}{1-\sum_{A\cap B=\hat{O}} m_1(A)m_2(B)}, & C\neq\hat{O}\end{cases} \quad (4)$$

در رابطه فوق، A و B مجموعه و $[m_1\oplus m_2]$ نیز نشان دهنده ترکیب احتمال اختصاص یافته می‌باشد. عبارت موجود در مخرج کسر $1-\sum_{A\cap B=\varphi} m_1(A)\times m_2(B)$ نیز بعنوان فاکتور نرمالیزه کردن شناخته می‌شود که در آن $\sum_{A\cap B=\varphi} m_1(A)\times m_2(B)$ نشان دهنده درجه اختلاف دو رویداد می‌باشد [۱۵].

۳- روش Evidential Reasoning

در این قسمت روش ER به تفضیل مورد بحث قرار خواهد گرفت. این روش به منظور ترکیب معیارهای چندگانه با استفاده از ماتریس تصمیم توسعه یافته است. مهمترین مزیت این روش در جهت حل مسائل تصمیم گیری قابلیت آن به منظور بررسی پارامترهای کیفی و کمی در شرایط عدم وجود اطلاعات کامل (اصطلاحا عدم قطعیت) می‌باشد.

فرض کنید که با یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره با M آلترناتیو $(a_l, l=1,\ldots,M)$ و معیارها در دو سطح کلان و پایه‌ای مواجه هستیم. تعداد L معیار پایه‌ای $(e_i, i=1,\ldots,L)$ دارای اوزان وابسته به ترتیب $(\omega_i, i=1,\ldots,L)$ می‌باشد. بنابراین رابطه ذیل موجود می‌باشد:

$$\sum_{i=1}^{L}\omega_i=1 \quad \text{and} \quad 0\le\omega_i\le 1, \quad i=0,\ldots,L \quad (5)$$

همچنین فرض کنید N درجه ارزیابی جهت ارزیابی تعداد M آلترناتیو با در نظر گرفتن هر معیار به صورت زیر تعریف گردد:

$$H=\{H_1 \quad H_2 \quad \ldots \quad H_n \quad \ldots \quad H_N\} \quad (6)$$

فرض بر اینست که H_{n+1} ارجح بر H_n می‌باشد. به صورت ریاضی می‌توان یک توزیع ارزیابی را به صورت زیر تعریف گردد:

$$S(e_i(a_l))=\left\{\left(H_n,\beta_{n,i}(a_l)\right), \ n=1,\ldots,N\right\} \quad (7)$$

رابطه (۷) بیان می‌دارد که آلترناتیو a_l با توجه به معیار e_i ارزیابی شده و میزان درجه اعتقاد $\beta_{n,i}(a_l)$ به هر کدام از درجات ارزیابی H_n اختصاص یافته است. بنابراین واضح و مبرهن است که در مواقعی که با مسئله‌ای با داده‌های کامل روبرو هستیم $\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}=1$ و در غیر اینصورت $\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}<1$ خواهد بود. در روش ER روابط زیر مورد استفاده قرار خواهد گرفت:

$$m_{n,i}=m_i(H_n)=\omega_i\beta_{n,i}(a_l), \quad n=1,\ldots,N, \quad i=1,\ldots,L \quad (8)$$

$$m_{H,i}=m_i(H)=1-\sum_{n=1}^{N}m_{n,i}=1-\omega_i\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}(a_l), \quad i=1,\ldots,L \quad (9)$$

$$\bar{m}_{H,i}=\bar{m}_i(H)=1-\omega_i, \quad i=1,\ldots,L \quad (10)$$

$$\tilde{m}_{H,i}=\tilde{m}_i(H)=\omega_i\left(1-\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}(a_l)\right), \quad i=1,\ldots,L \quad (11)$$

که در آن $m_{H,i} = \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}$ و $\sum_{i=1}^{L} \omega_i = 1$. $m_{n,i}$ و $m_{H,i}$ به ترتیب معرف جرم احتمال اختصاص یافته به درجات ارزیابی H_n و جرم احتمال تخصیص نیافته به هیچ درجه ارزیابی. $m_{H,i}$ به دو بخش تقسیم می‌شود: $\bar{m}_{H,i}$ و $\tilde{m}_{H,i}$ که به ترتیب وبسته به درجه اهمیت و نقص اطلاعات به منظور ارزیابی آلترناتیو a_l بر اساس معیار e_i می‌باشد. جرمهای احتمالی $m_{n,i}$ بر اساس روابط (۱۴-۱۲) ترکیب می‌شوند [۱۰]:

$$m_{n,I(i+1)} = K_{I(i+1)} \left(m_{n,I(i)} m_{n,I(i+1)} + m_{n,I(i)} m_{H,I(i+1)} + m_{H,I(i)} m_{n,i+1} \right) \quad (12)$$

$$n = 1,\ldots, N$$

$$m_{H,I(i+1)} = K_{I(i+1)} m_{H,I(i)} m_{H,(i+1)} \quad (13)$$

$$K_{I(i+1)} = \left[1 - \sum_{t=1}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq t}}^{N} m_{t,I(i)} m_{j,i+1} \right]^{-1} \quad (14)$$

$$i = 1,\ldots, L-1$$

نهایتا با نرمالیزه کردن ترکیب به دست آمده از احتمالات تخصیص یافته می‌توان از روابط (۱۵ و ۱۶) درجه اعتقاد مجموع را برای آلترناتیو a_l به دست آورد.

$$\beta_n = \frac{m_n}{1 - \bar{m}_H}, \quad n = 1,\ldots, N \quad (15)$$

$$\beta_H = \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H}, \quad (16)$$

در روابط بالا β_n و β_H به ترتیب بیانگر درجه اعتقاد نهایی اختصاص یافته و اختصاص نیافته به درجه‌های ارزیابی H_n می‌باشند. همچنین رابطه $\sum_{n=1}^{N} \beta_n + \beta_H = 1$ نیز برقرار است [۱۶].

۳-۱- بازه مطلوبیت مورد انتظار

در روش ER از رابطه زیر به عنوان بازه بهره وری مورد انتظار به منظور رتبه بندی آلترناتیوها بر اساس توزیع ترکیبی ارزیابی به دست آمده استفاده می‌نماید[۹]:

$u(a_l)$ (۱۷) ، $\beta_H = \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H}$ و $\beta_n(a_l)$ و $u(H_n)$ به ترتیب معرف میزان مطلوبیت مورد انتظار، مطلوبیت تخیص یافته شده به درجه ارزیابی H_n و درجه اعتقاد نهایی که آلترناتیو a_l بر اساس درجه ارزیابی H_n مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین فرض شده است که H_1 و H_N معرف کمترین و بیشترین میزان ارجحیت در ارزیابی باشند. بنابراین ماکسیمم مقدار مطلوبیت مورد انتظار با تخصیص $\beta_H(a_l)$ به ارجح ترین درجه ارزیابی H_N به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\sum_{n=1}^{N-1} \beta_n(a_l) u(H_n), u_{max}(a_l) = \left(\beta_N(a_l) + \beta_H(a_l) u(H_N)\right) + \quad l = 1,\ldots,M \quad (18)$$

به همین ترتیب مینیمم مقدار مطلوبیت مورد انتظار با تخصیص $\beta_H(a_l)$ به کم اهمیت ترین درجه ارزیابی H_1 به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\beta_H = \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H} \quad (19)$$

در نهایت با توجه به روابط (۱۸ و ۱۹) می‌توان میانگین مطلوبیت مورد انتظار را به شرح زیر به دست آورد:

$$u_{avg}(a_l) = \frac{u_{min}(a_l) + u_{max}(a_l)}{2}, \quad l = 1,\ldots,M \quad (20)$$

اگر $u(H_1) = 0$ فرض گردد، واضح و مبرهن است که $u(a_l) = u_{min}(a_l)$. همچنین اگر در توزیع نهایی ارزیابی $\beta_H(a_l) = 0$ می‌توان دریافت که داده‌های ورودی مسئله کامل بوده است. بنابراین $u(a_l) = u_{min}(a_l) = u_{max}(a_l) = u_{avg}(a_l)$. بر اساس قاعده utility مقایسه رتبه بندی دو آلترناتیو امکان پذیر خواهد بود، به گونه‌ای که اگر $u_{min}(a_l) > u_{max}(a_k)$ آلترناتیو a_l مقدم بر آلترناتیو a_k خواهد بود. مضافا اگر $u_{min}(a_l) = u_{min}(a_k)$ و $u_{min}(a_l) = u_{max}(a_k)$ آنگاه a_l و a_k نسبت به یکدیگر برتری نداشته و اصطلاحا بی تفاوت می‌باشند. غیر از ۲ حالت فوق الذکر جهت الویت بندی آلترناتیوها می‌بایست از رابطه زیر استفاده نمود:

$$P(a_l > a_k) = \frac{\max\left[0, u_{max}(a_l) - u_{min}(a_k)\right] - \max\left[0, u_{min}(a_l) - u_{max}(a_k)\right]}{\left[u_{max}(a_l) - u_{min}(a_l)\right] + \left[u_{max}(a_k) - u_{min}(a_k)\right]} \quad (21)$$

$$l = 1,\ldots,M, \quad k = 1,\ldots,M,$$

بنابراین حالتهای زیر می‌تواند مطرح باشد:

۱- $(P(a_l > a_k) > 0.5)$: a_l ارجح نسبت به a_k است.

۲- $(P(a_l > a_k) = 0.5)$: a_l نسبت به a_k بی تفاوت می‌باشد.

۳- $(P(a_l > a_k) < 0.5)$: a_k ارجح نسبت به a_l است.

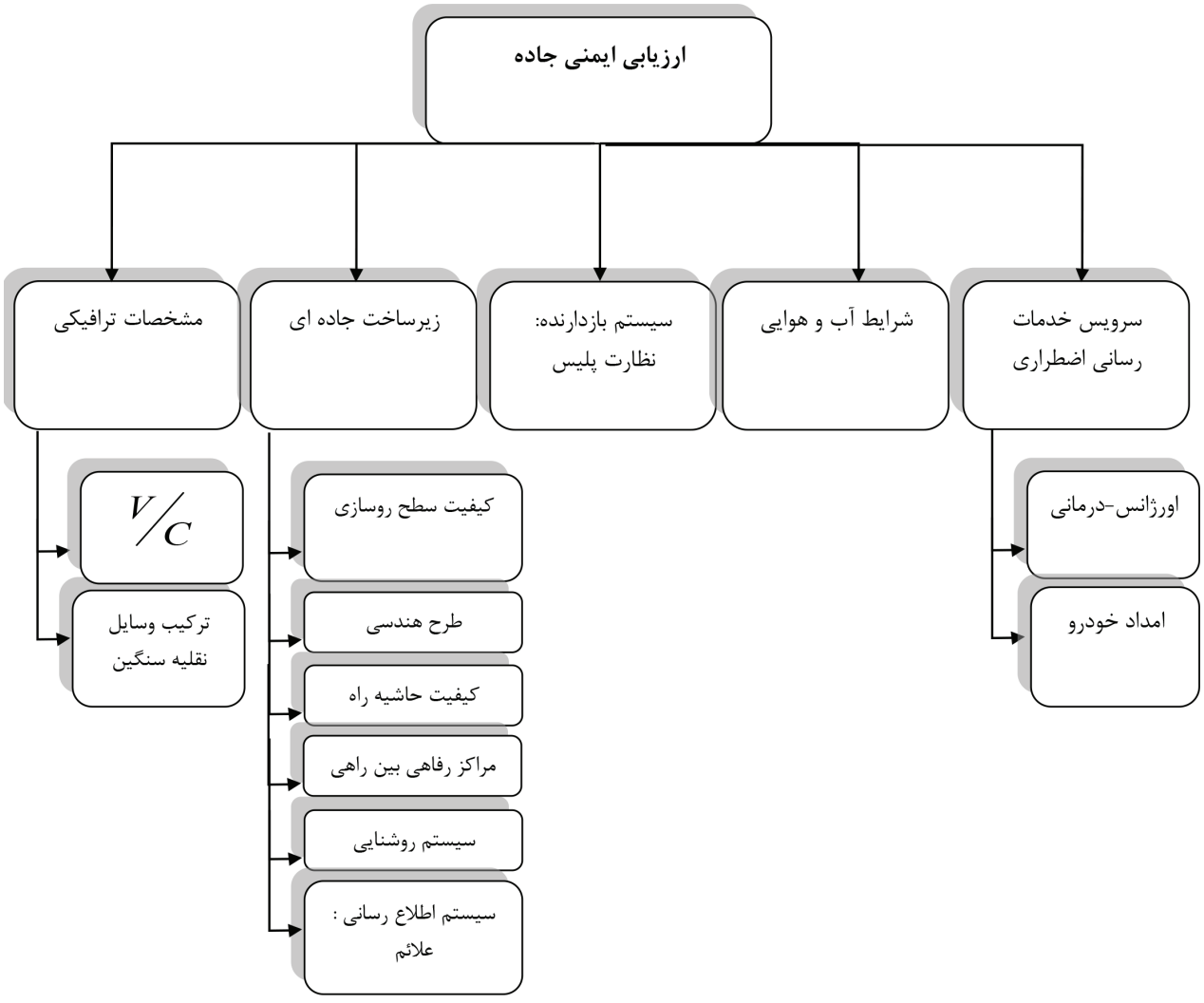
نکته قابل توجه اینست که روابط فوق دارای خاصیت جابجایی می‌باشند۰ به عبارت دیگر اگر $(P(a_1 > a_k) > ۰.۵)$ و $P(a_k > a_q) > ۰.۵$ در نتیجه می‌توان دریافت که $P(a_1 > a_q) > ۰.۵$ [۱۷].

۴- ارزیابی جاده‌های مواصلاتی کشور

ارزیابی جاده‌های مواصلاتی کشور از لحاظ ایمنی یکی از دغدغه‌های مهندسین راه و ترابری استان می‌باشد. همانگونه که می‌دانیم ارزیابی دقیق و قابل اطمینان ایمنی جاده‌ها جز مسائل پیچیده‌ای می‌باشد که مولفه‌های زیادی را در بر می‌گیرد. در این میان کمبود اطلاعات آماری قابل اتکا و نیز نقص اطلاعات موجود سبب شده است که تحلیل آماری بسیاری از این قبیل مسائل با چالشهای عمده‌ای مواجه گردد. از این روی مقاله حاضر در این بخش سعی دارد تا با بهره‌گیری از روش تصمیم گیری ارائه شده جاده‌های مواصلاتی شمال کشور مشتمل بر هراز، فیروزکوه، کندوان و کیاسر را مورد ارزیابی و رتبه بندی قرار دهد. نکته قابل تأکید در این بخش این است که اگرچه داده‌های جمع آوری شده کیفی می‌باشد روش ارائه شده قادر به حل مسائل مشتمل بر هر دو نوع اطلاعات کیفی و کمی می‌باشد.

۴-۱- تعریف معیارها و اوزان مربوطه

به منظور بررسی ایمنی جاده‌ای ضروری است که معیارهای اصلی به درستی تعریف گردد. بدین منظور ارزیابی ایمنی جاده‌ای در قالب نمودار سلسله مرتبی دو مرحله‌ای در شکل (۱) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود تعداد ۵ معیار اصلی به منظور ارزیابی جاده‌ها با استفاده از روش دلفی انتخاب شده است. معیارها مشتمل بر مشخصات ترافیکی, زیرساخت جاده ای، سیستم بازدارنده، شرایط آب و هوایی و سرویس خدمات رسانی اضطراری.



شکل ۱: نمودار سلسله مراتبی ارزیابی ایمنی جاده ای

به منظور محاسبه اوزان روشهای مختلفی قابل استفاده می‌باشد که از مهمترین آنها می‌توان به روش AHP [۱۸] و دلفی [۱۹-۲۰] اشاره نمود که با توجه به اینکه مقاله حاضر بر مسئله انتخاب تأکید دارد از روش دلفی استفاده شده است. اوزان به دست آمده را می‌توان (جدول ۱) مشاهده نمود. همچنین در این روش ارزیابی از ۵ درجه ارزیابی به شرح ذیل استفاده شده است:

(۲۲)

$$H=\{\text{Worse}(H_1),\ \text{Poor}(H_2),\text{Average}(H_3),\ \text{Good}(H_4),\ \text{Best}(H_5)\}$$

جدول (۲) نتایج نهایی قضاوت‌های کارشناسی صورت گرفته در خصوص چهار جاده مورد ارزیابی را به صورت جامع نشان می‌دهد. اعداد درون پرانتز نشان دهنده میزان درجه اعتقاد میانگین کارشناسان در خصوص آلترناتیو مورد نظر (جاده) و معیار مورد ارزیابی می‌باشد. میزان درجه اعتقاد به هر کدام از درجات ارزیابی تخصیص داده شده است. در مواقعی که مجموع درجات اعتقاد برابر عدد ۱ باشد بدین معناست که در مورد خاص اطلاعات کامل و عدم قطعیت موجود نمی باشد. این در حالی است که با دقت در جدول (۲) می‌توان دریافت که مجموع درجات اعتقاد جاده هراز نسبت به معیار پایه‌ای V/C برابر با ۰،۸۵۵ خواهد شد. به عبارت دیگر شرایط عدم قطعیت حاکم است.

۴-۲- ترکیب توزیع‌های ارزیابی با استفاده از روش ER

در این قسمت روند محاسباتی بکارگیری روش ER در ارزیابی جاده هراز توسط معیار کلی "زیرساخت جاده ای" با جزئیات بیشتر ارائه خواهد شد. همانطور که در شکل (۱) نیز قابل رؤیت می‌باشد، زیرساخت جاده‌ای (y_2) متشکل از شش معیار پایه‌ای می‌باشد که عبارتند از: کیفیت سطح روسازی، طرح هندسی، کیفیت حاشیه راه, مراکز رفاهی بین راهی، سیستم روشنایی و سیستم اطلاع رسانی جاده‌ای که به ترتیب e_{21} ، e_{22} ، e_{23} ، e_{24} ، e_{25} و e_{26} می‌نامیم. به بیان دیگر می‌توان $y = e_{21} \oplus e_{22} \oplus e_{23} \oplus e_{24} \oplus e_{26}$. با توجه به وجود شش معیار پایه‌ای تعداد ۵ ترکیب بایستی انجام پذیرد. نتایج مربوط به ترکیب معیارهای پایه‌ای با استفاده از روابط (۱۲-۱۴) به شرح جدول (۳) می‌باشد. درایه‌های جدول (۳) نشان دهنده جرم احتمال اختصاص یافته به درجات ارزیابی $m_{n,i}$ و جرم احتمال تخصیص نیافته به هیچ درجه ارزیابی $m_{H,i}$ می‌باشد. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود جرم نهایی ترکیب شده در ارزیابی زیرساخت جاده هراز در سطر $i = 6$ قابل رؤیت می‌باشد.

جدول ۱: اوزان مربوط به معیارهای تعریف شده جهت ارزیابی ایمنی جاده ای

ω	معیار پایه ای	ω	معیار اصلی
$\omega_{11}=0.55$	V/C	$\omega_1=0.3$	مشخصات ترافیکی
$\omega_{12}=0.45$	ترکیب وسایل نقلیه سنگین		
$\omega_{21}=0.2$	کیفیت سطح روسازی	$\omega_1=0.4$	زیرساخت جاده ای
$\omega_{22}=0.23$	طرح هندسی		
$\omega_{23}=0.17$	کیفیت حاشیه راه		
$\omega_{24}=0.11$	مراکز رفاهی بین راهی		
$\omega_{25}=0.17$	سیستم روشنایی		
$\omega_{26}=0.12$	سیستم اطلاع رسانی : علائم		
		$\omega_3=0.1$	سیستم بازدارنده: نظارت پلیس
		$\omega_4=0.1$	شرایط آب و هوایی
$\omega_{51}=0.5$	اورژانس- درمانی	$\omega_5=0.1$	سرویس خدمات رسانی اضطراری
$\omega_{52}=0.5$	امداد خودرو		

جدول ۲: ماتریس تصمیم ارزیابی ایمنی جاده ای

معیار اصلی	معیار پایه ای	هراز	فیروزکوه	کندوان	کیاسر
مشخصات ترافیکی	V/C	P (۰.۲۸۵) A (۰.۱۴) G (۰.۴۳)	I (۰.۱۴) G (۰.۴۳) B (۰.۴۳)	W (۰.۳۷۵) P (۰.۲۵) I (۰.۳۷۵)	P (۰.۴۳) I (۰.۱۴) G (۰.۴۳)
	ترکیب وسایل نقلیه سنگین	P (۰.۴۳) A (۰.۴۳)	A (۰.۲۹) G (۰.۴۳) B (۰.۱۴)	W (۰.۱۲۵) P (۰.۳۷۵) A (۰.۲۵)	P (۰.۲۸۵) A (۰.۲۸۵) G (۰.۴۳)
زیرساخت جاده ای	کیفیت سطح روسازی	P (۰.۲۹) A (۰.۷۱)	A (۰.۲۹) G (۰.۷۱)	P (۰.۳۷۵) A (۰.۳۷۵)	P (۰.۲۹) A (۰.۵۷)
	طرح هندسی	P (۰.۲۹) A (۰.۷۱	A (۰.۲۹) G (۰.۷۱)	W (۰.۲۵) P (۰.۵) A (۰.۲۵)	P (۰.۷۱) A (۰.۲۹)
	کیفیت حاشیه راه	P (۰.۵۷) A (۰.۲۹) G (۰.۱۴)	A (۰.۴۳) G (۰.۴۳)	W (۰.۲۵) P (۰.۲۵) A (۰.۲۵)	W (۰.۱۴) P (۰.۸۶)
	مراکز رفاهی بین راهی	A (۰.۴۳) G (۰.۴۳)	P (۰.۲۹) A (۰.۵۷) G (۰.۱۴)	A (۰.۳۷۵) G (۰.۳۷۵)	W (۰.۷۱) P (۰.۲۹)
	سیستم روشنایی	P (۰.۲۹) A (۰.۵۷) G (۰.۱۴)	A (۰.۲۹) G (۰.۷۱)	W (۰.۱۲۵) P (۰. ۵) A (۰.۱۲۵)	W (۰.۷۱) P (۰.۲۹)
	سیستم اطلاع رسانی : علائم	A (۰.۵۷) G (۰.۴۳)	A (۰.۲۹) G (۰.۵۷)	A (۰.۵) G (۰.۲۵)	W (۰.۲۹) P (۰.۴۳) A (۰.۱۴)
سیستم بازدارنده: نظارت پلیس		A (۰.۱۴) G (۰.۵۷) B (۰.۲۹)	A (۰.۴۳) G (۰.۱۴) B (۰.۴۳)	W (۰.۴۳) P (۰.۵۷) A (۰.۲۹)	W (۰.۴۳) P (۰.۱۴) A (۰.۲۹)
شرایط آب و هوایی		P (۰.۲۹) A (۰.۵۷) G (۰.۱۴)	A (۰.۲۹) G (۰.۵۷) B (۰.۱۴)	W (۰.۱۴) P (۰.۵۷) A (۰.۲۹)	W (۰.۲۸۵) P (۰.۴۳) A (۰.۲۸۵)
سرویس خدمات رسانی اضطراری	اورژانس- درمانی	P (۰.۱۴) A (۰.۵۷) G (۰.۱۴)	P (۰.۴۳) A (۰.۲۸۵) G (۰.۲۸۵)	W (۰.۱۲۵) P (۰.۱۲۵) A (۰.۵)	W (۰.۲۸۵) P (۰.۴۳) A (۰.۲۸۵)
	امداد خودرو	P (۰.۲۹) A (۰.۷۱)	P (۰.۲۹) A (۰.۵۷)	W (۰.۱۲۵) P (۰.۲۵) A (۰.۳۷۵)	W (۰.۴۳) P (۰.۲۹) A (۰.۱۴)

* W, P, A, G, B به ترتیب معرف Worst, Poor, Average, Good, Best می‌باشند.

جدول ۳: نتایج مربوط به ترکیب توزیع‌های ارزیابی جاده هراز بر اساس معیار پایه اییرسجه

		$m_{۱,I(i)}$	$m_{۲,I(i)}$	$m_{۳,I(i)}$	$m_{۴,I(i)}$	$m_{۵,I(i)}$	$\tilde{m}_{H,I(i)}$	$\bar{m}_{H,I(i)}$
i = ۲	۱.۰۱۹	۰.۰۰	۰.۱۰۴	۰.۲۶۸	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۶۲۸
i = ۳	۱.۰۴۲	۰,۰۰	۰.۱۶۴	۰.۲۷۸	۰.۰۱۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۵۴۳
i = ۴	۱.۰۳۰	۰,۰۰	۰.۱۵۳	۰.۲۹۹	۰.۰۴۲	۰.۰۰	۰.۰۰۹	۰.۴۹۸
i = ۵	۱.۰۴۹	۰,۰۰	۰.۱۶۷	۰.۳۴۲	۰.۰۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰۷	۰.۴۳۳
i = ۶	۱.۰۴۳	۰,۰۰	۰.۱۵۳	۰.۳۷۰	۰.۰۷۲	۰.۰۰	۰.۰۰۷	۰.۳۹۸

نهایتا با استفاده از روابط (۱۵-۱۶) می‌توان درجات اعتقاد ترکیب شده جهت زیرساخت جاده هراز را به صورت زیر تعریف نمود:

$$S(y_2) = e_{21} \oplus e_{22} \oplus e_{23} \oplus e_{24} \oplus e_{25} \oplus e_{26} = \{(P,.254),(A,.615),(G,.12)\} \quad (23)$$

به همین ترتیب می‌توان درجات اعتقاد ترکیب شده جهت معیارهای کلی مشخصات ترافیکی y_1 و سرویس خدمات رسانی اضطراری y_5 را نیز به شرح زیر به دست آورد.

$$S(y_1) = e_{11} \oplus e_{12} \oplus e_{13} \oplus e_{14} \oplus e_{15} \oplus e_{16} = \{(P,.372),(A,.267),(G,.235)\} \quad (24)$$

$$S(y_3) = e_{31} \oplus e_{32} \oplus e_{33} \oplus e_{34} \oplus e_{35} \oplus e_{36} = \{(P,.198),(A,.69),(G,.054)\} \quad (25)$$

به دلیل عدم وجود معیارهای پایه‌ای برای معیارهای کلی سیستم بازدارنده y_3 و شرایط آب و هوایی y_4 بنابراین ترکیب درجات اعتقاد مورد نیاز نمی باشد. در نهایت توزیع ارزیابی برای جاده هراز به صورت زیر خواهد بود:

$$S(Haraz) = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3 \oplus y_4 \oplus y_5 = \{(P,.26),(A,.504),(G,.177),B(.002)\}, \quad (26)$$

میزان نقص اطلاعات در خصوص جاده هراز $\beta_H \cong .04$ می‌باشد.

با استفاده از روند مشابه می‌توان نتایج مربوط به جاده‌های فیروزکوه ، کندوان و کیاسر را نیز به دست آورد. نتایج نهایی مربوط به جاده‌های فیروزکوه ، کندوان و کیاسر به صورت زیر می‌باشد.

$$S(Firouzkuh) = \{(P,.351),(A,.297),(G,.515),B(.124)\} \quad (27)$$
$$\beta_H = .0283$$

$$S(Kandwan) = \{(W,.193),(P,.332),(A,.344),G(.025)\} \quad (28)$$
$$\beta_H = .106$$

$$S(Kiasar) = \{(W,.186),(P,.466),(A,.199),G(.12)\} \quad (29)$$
$$\beta_H = .0284$$

۴-۳- اندازه گیری مطلوبیت

همانطور که در قسمت ۳-۱ بیان شده است به منظور رتبه بندی دقیق از روش بازه مطلوبیت استفاده می‌شود. بدین منظور فرض می‌کنیم که ارزش هر کدام از ۵ درجه ارزیابی به صورت زیر باشد:

$$u(H_1) = u(\text{Worst}) = 0$$

$$u(H_2) = u(\text{Poor}) = .25 .$$

$$u(H_3) = u(\text{Average}) = .5 .$$

$$u(H_4) = u(\text{Good}) = .75 .$$

$$u(H_4) = u(\text{Best}) = 1.0 .$$

بنابراین مقدار مطلوبیت مینیمم، ماکسیمم و متوسط به دست آمده برای جاده هراز به ترتیب برابر با ۰،۴۶۹، ۰،۵۰۹ و ۰،۴۸۹ خواهد بود. نتایج نهایی الویت بندی جاده‌های هراز، فیروزکوه، کندوان و کیاسر در جدول (۴) نشان داده شده است.. با توجه به جدول (۴) می‌توان دریافت که جاده فیروزکوه با اختلاف قابل توجهی ایمن تر نسبت به سایر جاده‌ها بوده و وضعیت جاده‌های کندوان و کیاسر تقریبا مشابه و جزء جاده‌های پرخطر محسوب می‌گردند.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با معرفی روش تحلیلی Evidential Reasoning (به صورت مخفف ER) دریچه‌ای جدید برای حل مسائل پیچیده تصمیم گیری چند معیاره در شرایط عدم قطعیت و وجود اطلاعات ناقص به روی مقین گشوده است. روش ER با بهره‌گیری از روش ترکیب دمپستر-شیفر و ماتریس درجه اعتقاد تصمیم، معیارهای پایه‌ای را ترکیب و به یک توزیع ارزیابی برای هر آلترناتیو دست پیدا می‌کند. با توجه به عدم وجود اطلاعات جامع و کامل در خصوص ارزیابی ایمنی جاده‌ای نویسندگان روش فوق الذکر را به عنوان روش تحقیق برگزیدند. بر اساس نتایج به دست آمده جاده فیروزکوه و هراز از الویت بیشتری از نظر ایمنی برخوردار می‌باشند و از سوی دیگر مطلوبیت سفر از جاده‌های کندوان و کیاسر با رویکرد ایمنی چندان قابل قبول نمی باشد. لذا انتظار می‌رود با هدایت اصولی بودجه‌های عمرانی در استان سطح کیفی جاده‌ها به یکدیگر نزدیکتر گردد.

جدول ۴: الویت بندی جاده‌های مواصلاتی کشور

	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	الویت
هراز	۰/۴۶۹	۰/۵۰۹	۰/۴۸۹	۲
فیروزکوه	۰/۶۶۹	۰/۶۹۶	۰/۶۸۲	۱
کندوان	۰/۲۷۴	۰/۳۸۰	۰/۳۲۷	۳
کیاسر	۰/۳۰۶	۰/۳۳۵	۰/۳۲۱	۴

۶- مراجع

1- B. Vahdani, S.M. Mousavi, and R. Tavakkoli-Moghaddam, 2011, Group decision making based on novel fuzzy modified TOPSIS method. Applied Mathematical. Modeling. 35, 4257–4269.

2- F.E. Boran, S. Genc, M. Kurt and D. Akay, 2009, A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. Expert Systems with Applications, 36 (8) 11363–11368.

3- D. Y. Chang, 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655.

4- C.-W. Chang, C.-R. Wu and H.-C. Chen, 2008, Using expert technology to select unstable slicing machine to control wafer slicing quality via fuzzy AHP. Expert Systems with Applications, 34(3), 2210–2220.

5- A. H. Hatami- Marbini and M. Tavana, 2011, An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment, Omega 39 (2011) 373–386.

6- M. Sevkli, 2010, An Application of the Fuzzy ELECTRE Method for Supplier Selection, International Journal of Production Research, 48(12), 3393–3405.

7- M. J. Beynon, 2002, DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty. European Journal of Operation Research, 140(1), 148–164.

8- M. J. Beynon, B. Curry, and P. Morgan, 2000, The Dempster–Shafer theory of evidence: An alternative approach to multicriteria decision modeling. OMEGA, 28(1), 37–50.

9- J.B. Yang, 2001. Rule and utility based evidential reasoning approach for multiattribute decision analysis under uncertainties. European Journal of Operational Research 131, 31–61.

10- J.B. Yang and P. Sen, 1994, A general multi-level evaluation process for hybrid MADM with uncertainty. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 24 (10), 1458–1473.

11- J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu and K.S. Chin, 2006, The evidential reasoning approach for MCDA under both probabilistic and fuzzy uncertainties. European Journal of Operational Research 171 (1), 309–343.

12- E. Ayati, M. A. Pirayesh-Neghab, A. A. Sadeghi, and A. Mohammadzadeh-Moghaddam, 2012, Introducing roadside hazard severity indicator based on evidential reasoning approach, Safety Science 50, 1618–1626

13- A. P., Dempster, 1967, Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. Annals of Mathematical Statistics, 38(2), 325–339.

14- G. Shafer, 1976, A mathematical theory of evidence. Princeton: Princeton University Press.

15- T. George and N.R. Pal, 1996, Quantification of conflict in Dempster–Shafer framework: A new approach. International Journal of General Systems 24 (4), 407–423.

16- J.B. Yang and D.L. Xu, 2002a, On the evidential reasoning algorithm for multiple attribute decision analysis under uncertainty. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A 32 (2), 289–304.

17- Y.M. Wang, J.B. Yang and D.L. Xu, 2005. A preference aggregation method through the estimation of utility intervals. Computers & Operations Research 32 (8), 2027–2049.

18- T.L. Saaty, 1998, The analytic hierarchy process. University of Pittsburgh.

19- P. T. Chang, L. C. Huang and H. J. Lin, 2000, The fuzzy Delphi method via fuzzy statistics and membership function fitting and an application to the human resources. Fuzzy Sets and Systems, 112(3), 511–520.

20- I. A. Curtis, 2004, Valuing ecosystem goods and services: a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes. Ecological Economics, 50(3–4), 163–194.

Safety assessment of the northern roads using a multi attribute decision analysis under uncertain environment

Amir Abbas Rassafi[1] , **Seyedreza Seyedalizadeh Ganji**[2], **Houssein Pourkhani**[2]

1Associate Professor, Department of Highway and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

1PhD Student, Department of Highway and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

Abstract

Nowadays with the increase of transportation demand and according to the fact that there is a limit to financial budget to optimally assign to transportation infrastructure, safety is considered as a crucial issue faced by transport experts and also the people. One of the short time solutions to enhance safety level is to attend to drivers' behavior in road selection. In other words, road users are usually forced to select. According to the development of multi attribute decision making methods, it is possible to assess complex problems. However, in actual fact, much more problems are introduced in uncertainty environment. In the other words, experts' judgments are often incomplete and unreliable. In such situations, the present MADM methods are not able to evaluate. So, the present research study aims at introduce a novel method dealing with uncertain conditions namely Evidential reasoning (ER) approach, and assess the roads located in the north of Iran including Haraz, Firouzkuh, Kandwan, and Kiasar in terms of safety.

Keywords: Safety, Transportation, Decision Making, Uncertainty