فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ارائه مدل اولویت‌بندی راه‌های برون‌شهری جهت تجهیز به دوربین‌های کنترل سرعت با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

(مطالعه موردی: راه‌های استان اصفهان)

شهریار افندی‌زاده[۱]، حسن جوانشیر[۲] و حمید شمعانیان[۳]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲ - استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکیده

نرخ بالای تصادفات جاده‌ای و تلفات ناشی از این تصادفات و همچنین نقش عامل سرعت در بروز این حوادث، توجه بیشتر تصمیم‌گیران بخش ایمنی در حمل و نقل جاده‌ای به استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌های برون‌شهری را در پی داشته است. از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع مالی و بودجه در این بخش و همین‌طور هزینه‌های بالا نصب و نگهداری دوربین‌های کنترل سرعت، اولویت‌بندی راه‌ها به منظور تجهیز آن‌ها به دوربین‌های کنترل سرعت از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارائه مدل اولویت‌بندی راه‌های برون‌شهری جهت تجهیز به دوربین‌های کنترل سرعت بر اساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام شده است. بردار ضریب اهمیت حاصل از ماتریس مقایسات زوجی معیارها، نشان می‌دهد معیار "تعداد تصادفات دارای ماهیت سرعت به ازای یک کیلومتر طول محور در سال" با ضریب اهمیت ۰/۲۹۵۷۲ تأثیرگذارترین معیار بر تصمیم‌گیری پیرامون موضوع مورد مطالعه است. همچنین پس از ساخت مدل، راه‌های استان اصفهان به‌عنوان گزینه‌های تصمیم انتخاب شده که خروجی نرم‌افزار Super Decisions اولویت‌بندی محورهای مورد مطالعه را مشخص نمود. نتایج نشان می‌دهد، بزرگراه آزادگان، محور اصفهان- شهرضا- آباده و محور اصفهان- زیار با اختلاف معناداری نسبت به سایر گزینه‌ها، به ترتیب دارای اولویت‌های شماره یک تا سه برای نصب دوربین‌های کنترل سرعت می‌باشند.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی راه‌های برون‌شهری، دوربین‌های کنترل سرعت، فرآیند تحلیل شبکه‌ای

۱– مقدمه

سالانه ۱/۲ میلیون نفر در جهان به علت حوادث جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند [۱]. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۳ پیرامون وضعیت ایمنی جاده‌ها در کشورهای مختلف جهان، ایران با داشتن نسبت فراوانی ۳۴/۱ نفر مرگ و میر به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت، در ردیف کشورهای دارای خطرناک‌ترین جاده‌ها قرار دارد [۲].

سرعت یکی از علل اصلی بروز تصادفات جاده‌ای و افزایش تلفات مربوط به آن می‌باشد. ارتباط بین سرعت و ایمنی بر دو اصل استوار است: اول ارتباط بین سرعت و برخورد شدید (شدت تصادف)، به‌طوریکه ثابت شده است که خطر مرگ سرنشینان خودرو با سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت، ۲۰ برابر بیشتر از برخورد با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت است [۳]. دوم ارتباط بین سرعت و نرخ تصادف؛ نتایج تحقیقات آقای فینچ و همکارانش در سال ۱۹۹۴ میلادی نشان می‌دهد که هر یک کیلومتر در ساعت، افزایش یا کاهش سرعت منجر به سه درصد افزایش یا کاهش در نرخ تصادف می‌گردد [۴].

افزایش تعداد تلفات تصادفات جاده‌ای و نقش عامل سرعت در

بروز این حوادث، تصمیم‌گیران بخش حمل و نقل در کشورها را بر آن داشته است تا با نیم نگاهی به پیشرفت‌های حاصله در تکنولوژی به دنبال راه‌حلی برای غلبه بر مشکلات حمل و نقل بوده و با روشی غیر از روش‌های سنتی گذشته به دنبال حل این مشکلات باشند. استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند و به طور خاص دوربین‌های کنترل سرعت یکی از همین راه‌حل‌ها می‌باشد که امروزه در بسیاری از کشورهای پیشرفته به عنوان یک تجربه موفق در راستای کاهش تصادفات جاده‌ای قلمداد می‌شود. امروزه در کشور ما نیز استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت مورد اقبال تصمیم‌گیران بخش ایمنی در حمل و نقل جاده‌ای قرار گرفته است، لیکن با عنایت به محدودیت منابع مالی و بودجه در این بخش و با توجه به هزینه‌های بالا نصب و نگهداری دوربین‌های کنترل سرعت، اولویت‌بندی راه‌ها به منظور تجهیز آن‌ها به دوربین‌های کنترل سرعت می‌تواند منجر به دستیابی به بیشترین بازدهی در تأمین ایمنی راه‌ها و جلوگیری از بروز تصادفات جاده‌ای و به خصوص تصادفات ناشی از عامل سرعت شود. بنابراین برای اولویت‌بندی محورها جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت بایستی یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره را تعریف نماییم که در این مدل، محورهای مورد مطالعه یا گزینه‌های تحقیق بر اساس معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری اولویت‌بندی خواهد شد.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

الیاسی و همکارانش در پژوهشی پیرامون مکان‌یابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، با قطعه‌بندی رینگ سوم شهر همدان و با تعریف پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری شامل پیشینه تصادفات، حضور پلیس، تجهیزات کنترل ترافیک و کاربری محل، بلوارهای این رینگ را جهت تجهیز به سیستم مذکور اولویت‌بندی نمودند [۱].

در خصوص مکان‌یابی نصب تجهیزات هوشمند حمل و نقل، بورانی و همکارانش، مکانیزم و مدل کلی انتخاب مکان بهینه تجهیزات ITS را به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ارائه کرده که تنها شاخص به‌کار رفته در پروسه مکان‌یابی آن‌ها، نرخ تصادفات به عنوان شاخص ایمنی بوده است [۵].

گروه ARRB، با در نظر گرفتن تغییرات نرخ تصادفات به عنوان شاخص اصلی، اقدام به ارزیابی موقعیت مکانی ۱۲۸ دوربین کنترل سرعت در NSW (ایالتی در جنوب شرقی استرالیا) نموده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد بر اساس شاخص مذکور، تعداد ۹۸ دوربین دارای موقعیت مکانی صحیح بوده و در کاهش تصادفات و افزایش ایمنی تأثیرگذار بوده اند [۶].

روانشادنیا و همکارش در تحقیق خود درخصوص استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین اولویت نصب تجهیزات ITS در محورهای پرتردد جاده‌ای کشور، با به‌کارگیری روش ELECTRE و کدنویسی آن در FORTRAN، پرترددترین محورهای کشور را رتبه‌بندی کرده‌اند. نتایج نشان داد که آزادراه تهران- کرج اولویت اول را برای نصب و پیاده سازی تجهیزات حمل و نقل هوشمند جاده‌ای داراست [۷].

سودمند و همکارانش در تحقیقی در خصوص اولویت‌بندی مکانی بر استقرار تجهیزات ITS بر مبنای شاخص‌های ترافیکی از دیدگاه ایمنی و روانی حرکت ضمن ارائه شاخص‌های مکان‌یابی تجهیزات سیستم‌های حمل و نقل هوشمند مانند دوربین‌های نظارت تصویری، تابلوهای سرعت‌نما و دوربین‌های کنترل سرعت و ارزیابی این شاخص‌ها بر اساس دو دیدگاه ایمنی و روانی حرکت، مکان‌های بالقوه جهت استقرار و نصب این تجهیزات را در محورهای استان البرز مشخص کردند [۸].

۳- فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) یکی از انواع مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. محدودیت‌های عمده فرآیند تحلیل سلسله مراتبی باعث شد تا در سال ۱۹۸۶ میلادی توماس ال ساعتی به همراه تاکی زاوا، فرآیند تحلیل شبکه‌ای را ارائه نمایند، به‌گونه‌ای که ارتباطات پیچیده بین عناصر تصمیم از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود. فرآیند تحلیل شبکه‌ای حالت عمومی و شکل گسترده فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌باشد که تمامی ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده، مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به جای ساختار سلسله‌مراتبی در نظر بگیرد [۹].

شکل ۱ تفاوت‌های دو مدل ANP و AHP را از حیث ساختار شبکه و روابط میان معیارها نشان می‌دهد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای هر موضوع و مسأله‌ای را به صورت شبکه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند به هر شکلی دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است. همچنین در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

روابط درونی معیارها در نظر گرفته نمی‌شود درحالیکه در تحلیل شبکه‌ای روابط بین معیارها نیز در تصمیم‌گیری در خصوص اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر اعمال می‌شود. این روابط به صورت کمان‌هایی نشان داده می‌شود که جهت آن‌ها تأثیر هر معیار بر معیار دیگر را مشخص می‌کند [۱۰].

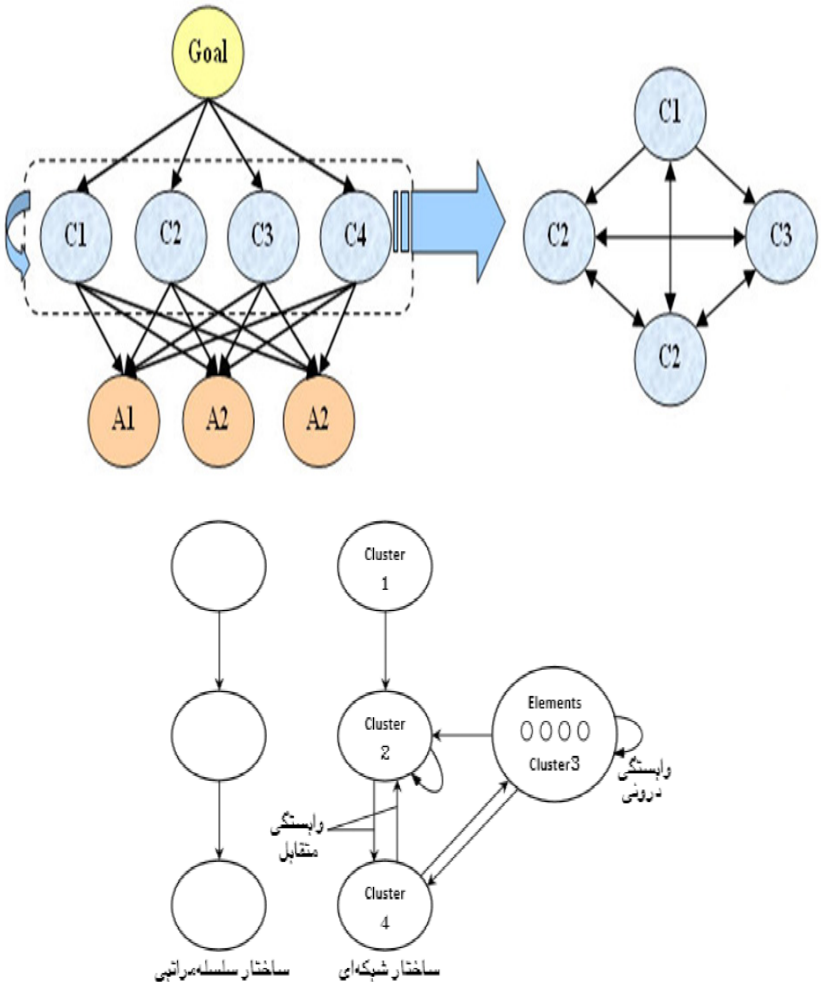
بنابراین فرآیند تحلیل شبکه‌ای ضمن حفظ کلیه خصوصیات مثبت فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها و رفع محدودیت جدی آن در خصوص عدم اعمال وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، می‌تواند گزینه مناسبی برای دست‌یابی به هدف تحقیق حاضر که نوعی از تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد، قلمداد شود.

۴- روش تحقیق

تحقیق حاضر به منظور ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره با هدف اولویت‌بندی محورهای مورد مطالعه به عنوان گزینه‌های تصمیم، بر اساس معیارهای تأثیرگذار در تصمیم‌گیری، انجام می‌شود. برای ساخت مدل مذکور از فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده شده که در ادامه به تشریح آن می‌پردازیم.

۴-۱- ساخت مدل تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای

برای ارائه مدل اولویت‌بندی راه‌ها جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت در ابتدا بایستی ساختار کلی مدل مشخص شود. برای این کار ابتدا محورها یا گزینه‌های مورد مطالعه تعیین می‌شوند. پس از تعیین محورهای مورد مطالعه، بایستی معیارهای تأثیرگذار بر مدل را مشخص نماییم. برای این منظور و بر اساس اصول متد دلفی، از نظر خبرگان و کارشناسان حوزه ایمنی در حمل و نقل جاده‌ای استفاده می‌شود. لذا در گام بعدی گروه خبرگان، ترکیب و تعداد آن‌ها را تعیین کرده سپس کلیه معیارهای اثرگذار بر مدل را با نظر اعضای گروه مشخص کرده، معیارهای کم اهمیت را حذف و معیارهای اصلی را مشخص می‌نماییم. برای این کار از اعضای گروه خبرگان درخواست می‌شود که ماتریس مقایسات زوجی معیارها



شکل ۱: تفاوت‌های دو مدل ANP و AHP از حیث ساختار شبکه و روابط میان معیارها

را بر اساس مقیاس نه درجه ساعتی تکمیل نمایند. پس از دریافت پاسخ‌های اعضا و محاسبه میانگین هندسی مقادیر، ماتریس نهایی مقایسات زوجی معیارها به دست می‌آید. پس از نرمال‌سازی ماتریس مذکور و تعیین بردار ضرایب اهمیت، می‌توان معیارهای اصلی را مشخص و معیارهای کم اهمیت را حذف نماییم. پس از حذف معیارهای کم اهمیت، ماتریس مقایسات زوجی برای معیارهای اصلی را بر اساس همان مقادیر ماتریس مقایسات زوجی معیارها، تشکیل داده و پس از نرمال سازی و محاسبه بردار ضریب اهمیت، ضرایب اهمیت معیارهای اصلی مشخص می‌شود. به این ترتیب مشخص می‌شود که در این مدل تصمیم‌گیری، چه گزینه‌هایی و بر اساس چه معیارهایی و با چه ضریب اهمیتی، اولویت‌بندی خواهد شد.

همچنین بایستی ارتباطات و وابستگی‌های بیرونی و درونی مدل مشخص شود. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند (تحت تأثیر آن‌ها بوده یا از آن‌ها اثر بگیرند). این ارتباط‌ها (وابستگی بیرونی) با پیکان یا فلش نشان داده می‌شوند. همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه (معیارها) بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی)، که این‌گونه ارتباط‌ها که معرف میزان اثرگذاری یا اثرپذیری معیارها بر یکدیگر می‌باشد، به وسیله یک کمان متصل به خوشه نشان داده می‌شود.

برای تعیین وابستگی میان معیارها، بایستی نقشه روابط شبکه (NRM) که نشان‌دهنده اثرگذاری یا اثرپذیری هر معیار بر معیار دیگر است، رسم شود. برای رسم NRM از اعضای گروه خبرگان خواسته می‌شود تا میزان اثرگذاری هر معیار بر معیار دیگر را بر اساس طیف پنج درجه تکنیک دیمتل مشخص کرده و ماتریس روابط مستقیم میان معیارها را تکمیل نمایند. سپس با محاسبه میانگین حسابی پاسخ‌ها، ماتریس نهایی روابط مستقیم (ماتریس) به دست می‌آید. در ادامه ماتریس نرمال شده ماتریس روابط مستقیم (ماتریس N) را به کمک فرمول‌های شماره ۱و۲ محاسبه می‌کنیم. با یافتن ماتریس N ، ماتریس روابط کل (ماتریس S) قابل محاسبه است. ماتریس روابط کل از رابطه شماره ۳ محاسبه می‌شود [۱۱].

رابطه ۱
$$\alpha = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^{n} a_{ij}}$$

رابطه ۲
$$N = \alpha . M$$

رابطه ۳
$$S = N + N^2 + N^3 + \ldots + N^t = \frac{N\left(I - N^t\right)}{I - N} = \frac{N}{I - N} = N\left(I - N\right)^{-1}$$

$$\lim_{t \to \infty} N^t = 0$$

که در آن:

a_{ij}: درایه‌های ماتریس روابط مستقیم؛

I: ماتریس همانی از مرتبه ماتریس روابط مستقیم.

سپس با محاسبه ارزش آستانه در ماتریس S (میانگین مقادیر درایه‌های این ماتریس) و حذف روابط کم اهمیت که مقدار درایه متناظر آن‌ها در ماتریس S کمتر از ارزش آستانه است، ماتریس نهایی روابط کل به دست می‌آید. این ماتریس نمایش‌دهنده میزان اثرگذاری و اثرپذیری معیارها از یکدیگر بوده که بر اساس آن می‌توان نقشه روابط شبکه را ترسیم کرد [۱۱].

۴– ۲– تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی

ماتریس مقایسات زوجی معیارها و بردار ضریب اهمیت حاصل از آن، با استفاده از نظر گروه خبرگان و بر اساس اصول متد دلفی در مرحله قبل به دست آمد. برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها بر اساس هر یک از معیارها، ابتدا آمار و اطلاعات مورد نیاز مربوط به محورهای مورد مطالعه برای هر یک از معیارها جمع‌آوری شده، سپس بر اساس اطلاعات موجود گزینه‌ها را دو به دو مقایسه کرده و به کمک مقیاس نه درجه ساعتی ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها را برای هر معیار تکمیل می‌نماییم.

همان‌طور که گفته شد، در فرآیند تحلیل شبکه‌ای علاوه بر تعیین وابستگی میان معیارها و گزینه‌ها، وابستگی‌های میان معیارها با یکدیگر را نیز، مشخص می‌نماییم. برای این منظور و با توجه به نقشه روابط شبکه، پس از اینکه مشخص شد هر معیار بر چه معیارهایی اثرگذار بوده و از چه معیارهایی اثرپذیر است، ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی معیارها را با کنترل هر معیار و بر اساس ماتریس روابط کل محاسبه شده، با کمک مقیاس نه درجه ساعتی، تشکیل می‌دهیم.

۴– ۳– تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد

برای دست‌یابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه یک سوپر ماتریس که هر بخش از آن ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. این ماتریس را سوپر ماتریس اولیه می‌نامند. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سوپر ماتریس ناموزون به دست می‌آید. در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. در مرحله سوم و نهایی، سوپر ماتریس حد با به

توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که همگرایی حاصل شود، یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود [۹].

۴- ۳- اولویت‌بندی گزینه‌ها

اگر سوپر ماتریس تشکیل شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر گرفته باشد، یعنی گزینه‌ها نیز در سوپر ماتریس لحاظ شده باشند، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپر ماتریس حد نرمالیزه شده قابل حصول است. اگر سوپر ماتریس، فقط بخشی از شبکه که وابستگی متقابل دارند را شامل شود و گزینه‌ها در سوپر ماتریس در نظر گرفته نشوند، بایستی محاسبه بعدی صورت بگیرد تا اولویت کلی گزینه‌ها به دست آید. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را داشته باشد، به عنوان برترین گزینه برای موضوع مورد نظر انتخاب می‌شود [۹].

۴- مطالعه موردی و ارائه نتایج

بر اساس اطلاعات دریافتی از اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان و تا پایان سال ۱۳۹۳، استان اصفهان دارای ۳۹۹ کیلومتر آزادراه، ۱۶۴۶ کیلومتر بزرگراه، ۲۱۹۸ کیلومتر راه اصلی و ۱۲۶۸ کیلومتر راه فرعی می‌باشد. با حذف محورهای فرعی‌تر که دارای تردد بسیار کمتری نسبت به سایر محورها بوده و با تقسیم برخی محورهای اصلی به محورهایی با طول کمتر برای افزایش دقت در تحقیق، تعداد ۱۵ محور اصلی به عنوان محورهای مورد مطالعه انتخاب شده که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شده است. لازم به ذکر است که تعداد شش محور از این پانزده محور در حال حاضر مجهز به دوربین‌های کنترل سرعت می‌باشند که با وجود برخورداری از دوربین‌های کنترل سرعت در کنار سایر محورها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در صورتی که در پایان، هریک از این شش محور با وجود برخورداری از دوربین‌های کنترل سرعت، در اولویت‌های بالا قرار گیرند، این امر نشان‌دهنده کارایی ضعیف عملکردی دوربین‌های کنترل سرعت در این محورها بوده که بایستی علل آن بررسی شود.

۰.۱۱۰۶۷برای انجام مطالعه حاضر تعداد ۱۲ نفر به عنوان اعضای گروه خبرگان انتخاب شده اند. برای انتخاب اعضای گروه از روش نمونه گیری غیراحتمالی سهمیه‌ای در گزینش افراد استفاده شده است، بنابراین این اطمینان وجود خواهد داشت که از گروه‌های مختلف جامعه (متخصصان بخش حمل و نقل جاده‌ای) که مشخصات متفاوتی با یکدیگر دارند، تعداد معینی در نمونه وجود خواهد داشت. تعداد ۵ نفر از متخصصان از افراد دارای تحصیلات آکادمیک در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل و دارای تجربه کاری در سازمان حمل و نقل و پایانه‌های استان اصفهان در اداره ایمنی و ترافیک و مرکز مدیریت راه‌های این سازمان انتخاب شده‌اند. تعداد ۴ نفر از این متخصصان از افراد دارای تحصیلات دانشگاهی در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل و راه و ترابری که دارای تجربه کاری در اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان در اداره ایمنی راه‌ها و مرکز مدیریت راه‌های این اداره کل می‌باشند، گزینش شده اند. تعداد ۳ نفر نیز از بین درجه‌داران و کارشناسان فرماندهی پلیس راه استان اصفهان انتخاب شده‌اند. این افراد همگی از تصمیم‌گیران بخش ایمنی در حمل و نقل جاده‌ای استان اصفهان می‌باشند.

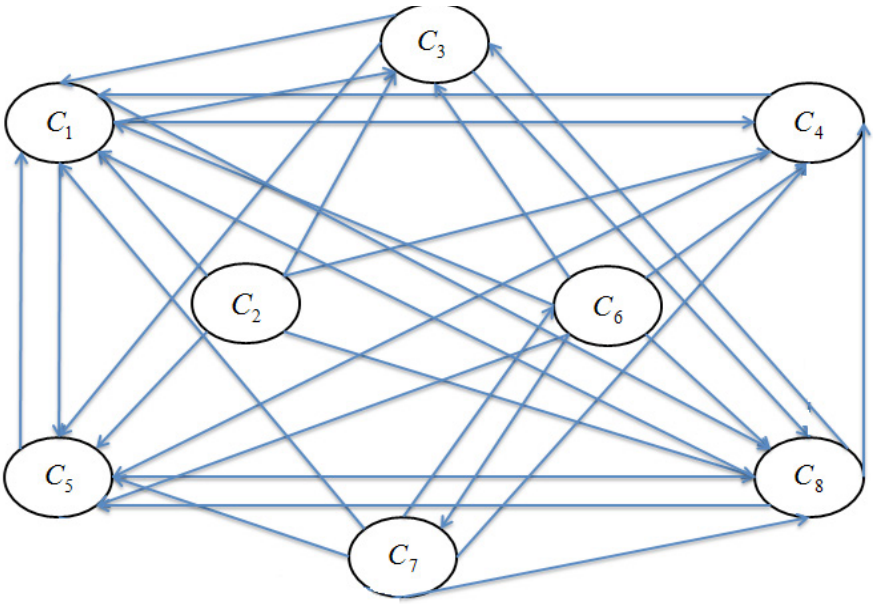
پس از نظرخواهی از اعضای گروه خبرگان در خصوص عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری در خصوص موضوع مورد مطالعه، فهرستی از این عوامل تهیه شد. سپس پاسخ‌های اعضا پیرامون مقایسات زوجی معیارها که بر اساس مقیاس نه درجه ساعتی بوده، جمع‌آوری شده و با محاسبه میانگین هندسی پاسخ‌ها، ماتریس مقایسات زوجی معیارها و بردار ضریب اهمیت آن‌ها به دست آمد. پس از حذف معیارهای کم اهمیت و تشکیل

جدول ۱: معرفی محورهای مورد مطالعه

شناسه	نام محور	شناسه	نام محور
A_1	آزادراه امیرکبیر	A_9	نائین- خوروبیابانک
A_2	اصفهان- شهرضا- آباده	A_{10}	نجف‌آباد- داران- الیگودرز
A_3	بزرگراه آزادگان	A_{11}	فولادشهر- نجف‌آباد
A_4	آزادراه معلم	A_{12}	اصفهان- فولادشهر- شهرکرد
A_5	پلیس‌راه (اصفهان- تهران)- دلیجان	A_{13}	پلیس‌راه (اصفهان- شیراز)- مبارکه- بروجن
A_6	آزادراه شهید کاظمی	A_{14}	شهرضا- سمیرم
A_7	اصفهان- نائین	A_{15}	اصفهان- زیار
A_8	نائین- اردستان		

جدول ۲: معیارهای تصمیم‌گیری در مسئله و ضریب اهمیت این معیارها

معیار	شناسه	ضریب اهمیت
تعداد تصادفات دارای ماهیت سرعت به ازای یک کیلومتر طول محور در سال	C_1	۰.۲۹۵۷۲
درصد خودروهای تجاوزکننده از سرعت مجاز در سال در هر محور		۰.۲۲۶۹۰
تعداد تصادفات فوتی دارای ماهیت سرعت به ازای یک کیلومتر طول محور در سال	C_3	۰.۱۵۷۴۲
تعداد تصادفات جرحی دارای ماهیت سرعت به ازای یک کیلومتر طول محور در سال	C_4	
تعداد کل تصادفات به ازای یک کیلومتر طول محور در سال	C_5	۰.۰۹۲۲۱
حجم ترافیک عبوری به ازای هر خط عبور محور در سال	C_6	۰.۰۶۶۶۰
نوع راه در هر محور	C_7	۰.۰۲۸۷۰
تعداد نقاط پر حادثه به ازای یک کیلومتر طول محور	C_8	۰.۰۲۱۷۷



شکل ۲: نقشه روابط شبکه برای معیارها

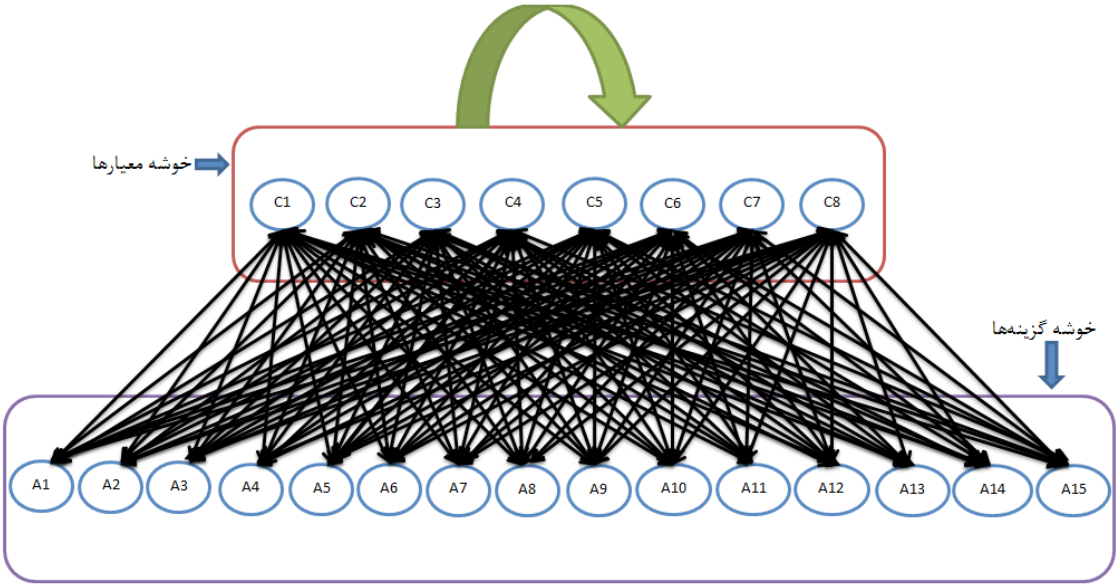
ماتریس مقایسات زوجی معیارهای اصلی بر اساس همان مقادیر ماتریس مقایسات زوجی معیارها، معیارهای اصلی و ضریب اهمیت آن‌ها مطابق جدول ۲ به دست آمد.

برای تعیین وابستگی‌ها و ارتباطات درونی مدل که معرف میزان تأثیرگذاری هر معیار بر معیار دیگر است، به نقشه C_2 روابط شبکه نیاز داریم. بنابراین از اعضای گروه خبرگان خواسته شده است که با تعیین میزان اثرگذاری هر معیار بر معیار دیگر به کمک طیف پنج درجه تکنیک دیمتل، ماتریس روابط مستقیم معیارها را کامل نمایند. سپس پاسخ‌های اعضا جمع‌آوری شده و با محاسبه میانگین حسابی پاسخ‌ها، ماتریس روابط مستقیم (ماتریس M) به دست آمد. با توجه به روابط شماره ۱ تا ۳ و با تعیین مقدار ارزش آستانه، ماتریس نهایی روابط کل (ماتریس S) به دست می‌آید.

$$S=\begin{bmatrix}
۰.۴۱۸۶۲ & ۰ & ۰ & ۰.۶۲۶۹۱ & ۰.۴۲۷۳۲ & ۰.۳۵۰۴۳ & ۰ & ۰ \\
۰.۳۵۰۱۸ & ۰ & ۰ & ۰.۷۳۳۸۶ & ۰.۵۲۱۹۴ & ۰.۴۱۹۱۲ & ۰ & ۰.۶۸۱۶۲ \\
۰.۳۴۳۰۷ & ۰ & ۰ & ۰.۴۸۵۷۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰.۴۳۳۹۸ \\
۰ & ۰ & ۰ & ۰.۴۶۳۵۴ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰.۴۰۰۷۳ \\
۰.۳۴۷۲۲ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰.۳۸۴۵۹ \\
۰.۳۹۷۳۴ & ۰.۴۲۹۷۶ & ۰ & ۰.۷۵۴۴۴ & ۰.۴۲۷۶۶ & ۰.۳۳۹۴۸ & ۰ & ۰.۶۵۵۸۲ \\
۰.۴۵۹۶۴ & ۰ & ۰.۳۶۳۹۳ & ۰.۶۵۴۱۶ & ۰.۳۷۷۸۲ & ۰ & ۰ & ۰.۵۴۷۳۶ \\
۰ & ۰ & ۰ & ۰.۷۷۷۶۱ & ۰.۵۲۱۸۲ & ۰.۴۱۵۶۲ & ۰ & ۰.۶۶۸۲۴
\end{bmatrix}$$

بر اساس ماتریس نهایی روابط کل نقشه روابط شبکه به صورت زیر است:

به این ترتیب ساختار کلی مدل به صورت شکل ۳ خواهد بود. توجه کنید که پیکان‌های بین هر زوج گزینه و معیار دوطرفه است. همچنین پیکان سبز رنگ نشان‌دهنده وابستگی‌ها و ارتباطات درونی میان معیارها می‌باشد. در واقع پیکان سبز رنگ شامل کلیه پیکان‌های شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۳: ساختار مدل موضوع مورد مطالعه

در گام بعد ماتریس‌های مقایسات زوجی را تشکیل می‌دهیم. ماتریس مقایسات زوجی معیارها با توجه به پاسخ‌های اعضا گروه خبرگان به دست آمد. برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها بر اساس هر یک از معیارها، اطلاعات و آمار مربوط به هر یک از معیارهای هشت‌گانه برای همه پانزده محور مورد مطالعه از سازمان حمل و نقل و پایانه‌های استان اصفهان، اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان و پلیس راه استان اصفهان جمع‌آوری گردید. سپس با توجه به مقادیر هر یک از معیارها (معیارهای کمی) برای محورهای مورد مطالعه، ماتریس‌های مقایسات زوجی این محورها برای هر معیار با استفاده از مقیاس نه درجه ساعتی تعریف شد. تنها برای معیار نوع راه که از نوع معیارهای کیفی می‌باشد، ماتریس مقایسات زوجی محورها بر اساس نظر خبرگان تعریف شده است.

همچنین ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی معیارها با کنترل هر معیار، با استخراج روابط قابل اعتنا میان هر زوج معیار از نقشه روابط شبکه معیارها و بر اساس ماتریس نهایی روابط کل به دست آمد.

برای انجام فرآیند تحلیل شبکه‌ای و ساخت مدل موضوع مورد مطالعه از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شده است. با آگاهی از معیارها، گزینه‌ها، ارتباطات بیرونی و درونی شبکه، ماتریس مقایسات زوجی معیارها، ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها بر اساس هر معیار و ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی معیارها با کنترل هر معیار مدل در نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شود. خروجی نرم‌افزار پیرامون اولویت‌بندی محورهای مورد مطالعه جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت بر اساس معیارهای تعیین شده و بر اساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است.

در مدل‌هایی که حاصل قضاوت ترجیحی یا مقایسات زوجی گروهی از خبرگان و کارشناسان می‌باشد، برای بررسی قابلیت اعتماد مدل، شاخص ناسازگاری حاصل از ماتریس مقایسات زوجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فرآیند تحلیل شبکه‌ای مقدار شاخص ناسازگاری حاصل از ماتریس مقایسات زوجی معیارها و همین‌طور ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها برای هر معیار و ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی معیارها با کنترل هر معیار، بایستی کمتر از ۰/۱ باشد. مقدار شاخص مذکور برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی توسط نرم‌افزار Super Decisions قابل محاسبه بوده که در مدل ساخته شده مقدار این شاخص برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی ذکر شده در بالا کمتر از ۰/۱ به دست آمد.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف ارائه مدل اولویت‌بندی راه‌های برون‌شهری جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت و بر اساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای انجام شده است. در این مدل، محورهای مورد مطالعه یا گزینه‌های تحقیق بر اساس معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری اولویت‌بندی شده اند. همچنین پس از ساخت مدل، راه‌های استان اصفهان به‌عنوان گزینه‌های تصمیم انتخاب شده که خروجی نرم‌افزار Super Decisions اولویت‌بندی محورهای مورد مطالعه را تعیین نمود. نتایج حاصل از این

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
A1		0.277778	0.049676	0.016559
A2		0.933112	0.166873	0.055624
A3		1.000000	0.178835	0.059612
A4		0.473076	0.084602	0.028201
A5		0.200353	0.035830	0.011943
A6		0.201025	0.035950	0.011983
A7		0.166537	0.029783	0.009928
A8		0.090461	0.016178	0.005393
A9		0.093852	0.016784	0.005595
A10		0.172313	0.030816	0.010272
A11		0.344984	0.061695	0.020565
A12		0.496368	0.088768	0.029589
A13		0.262741	0.046987	0.015662
A14		0.120981	0.021636	0.007212
A15		0.758166	0.135587	0.045196

شکل ۴: خروجی نرم‌افزار برای اولویت‌بندی محورهای مورد مطالعه جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت

مطالعه به شرح زیر است:

- بردار ضریب اهمیت معیارهای تأثیرگذار بر تصمیم نشان می‌دهد معیار "تعداد تصادفات دارای ماهیت سرعت به ازای یک کیلومتر طول محور در سال" با ضریب اهمیت ۰/۲۹۵۷۲ تأثیرگذارترین معیار بر تصمیم‌گیری پیرامون موضوع مورد مطالعه است. همچنین معیار "درصد خودروهای تجاوزکننده از سرعت مجاز در سال در هر محور" با ضریب اهمیت ۰/۲۲۶۹ معیار دیگری است که نسبت به سایر معیارها، تأثیر بیشتری بر تصمیم‌گیری در موضوع مورد مطالعه دارد. آنالیز حساسیت مدل نیز تأثیر بالای این دو معیار را تأیید می‌کند.
- نتایج حاصل از مدل برای اولویت‌بندی راه‌های استان اصفهان جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت نشان می‌دهد، بزرگراه آزادگان، محور اصفهان- شهرضا- آباده و محور اصفهان- زیار با اختلاف معناداری نسبت به سایر گزینه‌ها، به ترتیب دارای اولویت‌های شماره یک تا سه برای نصب دوربین‌های کنترل سرعت می‌باشند.
- محور اصفهان- شهرضا- آباده که در حال حاضر نیز مجهز به تعدادی دوربین کنترل سرعت می‌باشد، به عنوان اولویت دوم شناخته شده است. این موضوع نشان‌دهنده کارایی نه چندان قابل توجه دوربین‌های کنترل سرعت در این محور است. یکی از علل این امر می‌تواند عملکرد ضعیف نهاد مسئول در صدور قبض‌های جریمه باشد. به عبارت دیگر زمانی که راننده متخلف بازخورد تخلف خود که همان تخطی از سرعت مجاز است را نبیند، بازهم مرتکب این تخلف خواهد شد. همچنین تعداد کم دوربین‌های کنترل سرعت در محور یا عدم مکان‌یابی صحیح، می‌تواند از علل دیگر این امر باشد. گاهی نیز برخی از دوربین‌ها معیوب بوده و رانندگان با آگاهی از این مسئله مرتکب تخلف تخطی از سرعت مجاز می‌شوند. نمونه این مورد وضعیت کنونی دوربین‌های کنترل سرعت در آزادراه امیرکبیر (اولویت شماره ۷) می‌باشد.

۷- مراجع

۱- الیاسی، م. صفارزاده، م. میرزابروجردیان، ا. و مظاهری، م. ارائه مدل مکانیابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: رینگ سوم شهر همدان)، ۱۳۹۳، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.

2- Global Status Report on Road Safety 2013 Supporting a Decade of Action, 2013, Published by the World Health Organization, Geneva.

۳- حاج‌هاشمی، ا. تشکری‌هاشمی، م. و سودمند، س. بررسی نقش بازدارندگی دوربین‌های کنترل سرعت در تصادفات

جاده‌ای: (بکارگیری روش PSM با استفاده از نرم افزار STATA)، ۱۳۹۳، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ایران.

۴- صفارزاده، م. سیدابریشمی، ا. و خسروی، ه. روشی برای ارزیابی کارایی دوربین‌های کنترل سرعت در محورهای برون‌شهری (مطالعه موردی: محورهای استان سمنان)، ۱۳۹۱، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.

5- Bevrani, k., shariat mohaymany, A., & Bargegol, I. (2008). A control and surveillance ITS location model to improve safety. In AATT 2008 : 10th International In AATT, 10th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation. Brisbane Australia.

6- ARRB Group (2011). Crash Analysis of the NSW Fixed Speed Camera Program. Transport Center for Road Safety, NSW.

۷- روانشادنیا، م. و وزیری، ف. استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ELECTERE برای تعیین اولویت نصب تجهیزات ITS در محورهای پرتردد جاده‌ای کشور، ۱۳۹۳، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ایران.

۸- سودمند، س. تشکری‌هاشمی، م. و ابوالقاسمی، ن. اولویت‌بندی مکانی بر استقرار تجهیزات ITS بر مبنای شاخص‌های ترافیکی از دیدگاه ایمنی و روانی حرکت (مطالعه موردی: استان البرز)، ۱۳۹۳، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ایران.

۹- زبردست، ا. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، ۱۳۸۹، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی. شماره ۴۱: ۹۰-۷۹.

۱۰- افندی‌زاده، ش. رحیم‌اف، ک. و نیکتاش، ح. ارائه الگوی تصمیم‌گیری جهت افزایش پایداری شبکه حمل و نقل شهری با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، ۱۳۹۱، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.

۱۱- تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، (۱۳۹۳)، حبیبی، آ. ایزدیار، ص. انتشارات کتیبه گیل، رشت.

Prioritization Model of Equipping Rural Roads with Speed Cameras Based on Network Analysis Process (ANP)
(Case Study: Rural Roads of Isfahan Province)

Shahriar Afandizadeh, Hassan Javanshir, Hamid Shamanian

1-Associate Professor of Civil Engineering Department, University of Science and Technology, Tehran, Iran
2-Assistant Professor of Industrial Engineering Department, South Tehran Branch, Islamic Azad University,
3-M.Sc Student of Transportation Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University,

Abstract

The high rate of road accidents and fatalities caused by these accidents and also the role of speed as a factor in Occurrence of these incidents, Cause decision-makers of safety of road transportation issue to pay more attention to use speed cameras in rural roads. On the other hand, Due to limited financial resources and budget As well as the high costs of installation and maintenance of speed cameras, Prioritization of Equipping rural Roads with speed cameras, is very important. So this study is conducted aims to provide Prioritization Model of Equipping rural Roads with speed cameras based on network analysis process (ANP). Vector of important coefficient obtained from matrix of Paired comparisons show that the important coefficient of "the annual number of Accidents caused by speed factor per one kilometer" criterion is 0.29572. So this is the most effective criterion on decision on the subject of this study. Also after modeling, Rural Roads of Isfahan Province were selected as alternatives of decision and the output of Super Decisions, Prioritize the alternatives. The results show that Azadegan highway is priority number one, Isfahan-Shahreza-Abadeh road is priority number two and Isfahan-Ziar road is priority number three and these alternatives are preferred with a significant difference compared to other alternatives.

Keywords: Prioritization of Rural Roads, Speed Cameras, Network Analysis Process