بهینه‌سازی کاهش اضافه بار در وسایل‌نقلیه با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت

مقاله علمی – پژوهشی

محمدامین ابراهیم‌زاده، دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران، هنرومعماری، علوم وتحقیقات، تهران، ایران
علی عبدی‌کردانی*، استاد، دانشکده عمران ،گروه راه وترابری و برنامه ریزی حمل ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
نوید نخعی، دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران، هنرومعماری، علوم وتحقیقات، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۶– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
صفحه ۲۳۸-۲۲۱

چکیده

سیستم توزین در حال حرکت یکی از کارآمدترین روش‌ها برای کنترل وزن وسایل عبوری از یک مقطع است. سیستم توزین در حال حرکت فناوری مفید و کارآمد برای کنترل وسایل‌نقلیه با اضافه بار و جلوگیری از وارد آمدن آسیب به روسازی راه‌ها است. در این پژوهش مدل بهینه‌سازی کاهش اضافه بار در وسایل‌نقلیه با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. هدف در این پژوهش بهینه‌سازی کاهش اضافه بار در وسایل‌نقلیه با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت می‌باشد برای دستیابی به این این هدف از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی است و این تکنیک برای وزن دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. پارامترها مشخص و میزان اهمیت وزن‌دهی آن‌ها به این ترتیب است: بین معیارهای اصلی، حجم وسایل‌نقلیه سنگین با وزن ۰,۲۲۰ رتبه اول، حجم تردد AADT با وزن ۰,۱۹٤ رتبه دوم، طول مسیر با وزن ۰,۱۶۸ رتبه سوم، سرعت میانگین محور با وزن ۰,۱۲۳ رتبه چهارم تخلفات محور با وزن ۰,۱۱۱ رتبه پنجم، میانگین تعداد خطوط عبوری با وزن ۰,۱۱۰ رتبه ششم و تعداد متوسط بار کامیون با وزن ۰,۰۶۱ رتبه هفتم را کسب کرده است. وزن نهایی گزینه‌ها از ضرب وزن نسبی گزینه‌ها در وزن معیارهای اصلی حاصل می‌شود. محوراراک-سلفچگان با وزن ۰,٤۳۸رتبه اول، محور اراک-بروجرد با وزن ۰,۳۱۳ رتبه دوم و محور اراک- کنار گذر شمالی با وزن ۰,۰۹۳ رتبه سوم را کسب کرده است. با توجه به محدودیت بودجه می‌توان معیارهایی که دارای رتبه بیشتری هستند را نسبت به گزینه‌ها مقایسه نمود.اولویت‌بندی محورها براساس آنچه توسط تحلیل سلسه مراتبی و اطلاعات و داده‌های ترافیکی صورت گرفته نشان می‌دهد که آنچه واقعیت بوده با آنچه که توسط مدل صورت گرفته است یکسان است که اعتبار و صحت مدل و معیارها را نشان می‌دهد. از این مدل در راستای اولویت‌بندی محورها و رتبه‌بندی محورها از لحظ ایمنی می‌توان استفاده کرد. ۳. بکارگیری مدل باعث کاهش هزینه اضافی در آینده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله‌مراتبی، سیستم WIM، بهینه سازی،اضافه بار وسایل‌نقلیه

۱-مقدمه

امروزه یک سیستم و زیرساخت حمل‌ونقلی سالم و ایمن، قابل اعتماد و اقتصادی، اساس رشد اقتصادی توسعه و رفاه‌اجتماعی در هر کشور است. از سوی دیگر، هر امکانات حمل و نقلی مانند راه‌ها، پل‌ها و تونل‌ها نیازمند بودجه‌ای به منظور تعمیر، نگهداری و مدیریت پیشگیرانه است. دلیل اصلی خرابی راه‌ها، عبور وسایل نقلیه با بار بیشتر از حد مجاز است که باعث می‌شود صدمات اساسی و مهمی به راه‌ها وارد شود. جلوگیری از تردد وسایل نقلیه با اضافه بار، کلید اصلی در پیاده سازی یک سیستم مدیریتی خوب برای راه‌ها است. از آن جایی که سیستم‌های سنتی به میزان کافی به منظور کنترل متخلفان و وسایل نقلیه سنگین با اضافه بار اثربخش نیستند، استفاده از سیستم های جدید و مبتنی بر حمل و نقل هوشمند غیرقابل

اجتناب است. سیستم توزین در حال حرکت فناوری مفید و کارآمد برای کنترل وسایل نقلیه با اضافه بار و جلوگیری از وارد آمدن آسیب به روسازی راه‌ها است (Burnos et al,2015). سیستم توزین در حال حرکت یکی از کارآمدترین روش‌ها برای کنترل وزن وسایل عبوری از یک مقطع است. سیستم توزین از سنسورهایی استفاده می‌کند که داخل روسازی راه قرار می‌گیرند یا اینکه روی سطح مسیر واقع می‌شوند که عمود بر مسیرحرکت ترافیک می‌باشند. اصول کارکرد این سیستم بر مبنای تغییر مقدار اندازه‌گیری شده توسط سنسورها با تغییر میزان بارمی‌باشد که این مقدار را همزمان با عبور وسیله نقلیه اندازه گیری می‌کند. این اندازه‌گیری در زمانی نزدیک به میلی ثانیه انجام می‌شود که این محدود بودن زمان، یک نوع محدودیت برای دقت موردنظر به وجود می‌آورد. این سیستم می‌تواند عبوروسایل نقلیه با بار غیرمجاز که تخریب و صدمه به ابنیه راه‌ها مانند پل‌ها و روسازی را موجب می‌شود کنترل نماید. نحوه عملکرد سیستم به این صورت است که سنسورهای وزنی که قابلیت توزین وسیله در حال حرکت را دارند. وزن وسایل نقلیه عبوری را تشخیص می‌دهند و در صورت غیرمجاز بودن وزن، اخطار توقف به راننده وسیله نقلیه از طریق تابلو پیام متغیر یا از طریق سیستم صوتی اعلام می‌شود. شناساگرهای WIM کف معبر نصب شده و نیروی وارده بر کف را از سوی هر محور خودرو به طور مجزا اندازه‌گیری می‌کند. نحوه عملکرد سیستم به این صورت است که سنسورهای وزنی که قابلیت توزین وسیله در حال حرکت را دارند، وزن وسایل‌نقلیه عبوری را تشخیص می‌دهند و در صورت غیرمجاز بودن وزن، اخطار توقف یا از طریق تابلوهای پیام متغیر و یا از طریق سیستم صوتی به راننده وسیله نقلیه اعلام می‌شود و سیگنالی برای مأموران پلیس راه ارسال می‌نماید تا به وضعیت وسیله نقلیه خاطی رسیدگی شود. این شناساگرها علاوه بر توزین خودرو، پارامترهای سرعت، حجم و طبقه بندی خودروهای عبوری براساس تعداد محور و فاصله آنها، درصد وزنی بار جابجا شده به تفکیک انواع وسایل نقلیه را فراهم می‌نماید (Hyun et al,2015) در این پژوهش به ارائه بررسی تاثیرات سیستم توزین در حال حرکت با هدف بهینه سازی کاهش اضافه‌باردر وسایل‌نقلیه پرداخته می‌شود. در این مقاله به ۲ سوال زیر پرداخته می‌شود: ۱-عوامل موثر دراولویت‌بندی سیستم توزین در حال حرکت کدام هستند؟ ۲- مدل پیشنهادی برای سیستم توزین در حال حرکت با توجه به کاهش ظرفیت بار چیست؟

۲- پیشینه تحقیق

توزین‌کننده خودروهای در حال حرکت می‌باشد. با نصب این سیستم در نزدیکی پلیس‌راه‌ها می‌توان اطلاعات بسیار مفیدی از ترافیک راه بدست آورد که در شناسایی نقاط ضعف و قوت کنترل مسیر در نگهداری بهینه از راه و حفاظت از جان رانندگان با مشخص نمودن وسایل نقلیهی متخلف (دارای اضافه بار و یا اضافه سرعت) کارا می‌باشد. همچنین این سیستم با ارائه آمارهای دقیق از تردد کلیهی خودروهای عبوری بر اساس کلاس‌بندی خودروها، پلیس راهبر را در برنامه‌ریزی و پیش‌بینی شرایط راه یاری می‌نماید. سیستم‌های توزین در حال حرکت خودروها جهت کنترل بهتر عبور و مرور وسایل نقلیه و وزن محوری و وزن کل آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Farkhideh ,2012) توزین با سرعت بالا بدین معنی می‌باشد که سنسورهای نصب شده در خطوط ترافیک، بار محوری وسایل را در حالی که باسرعت نرمال در جریان ترافیک در حال حرکت می‌باشند اندازه‌گیری می‌کنند و این امکان را فراهم می‌کند تا تمامی کامیون‌های عبوری توزین شوند. این سیستم دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. مهمترین مسئله دقت است که به مقدار قابل توجهی به هموار بودن سطح راه و مشخصات روسازی بستگی دارد. کمتر باشد(Cunagin and Mickler,1997). مشکل زیادی بار کامیون‌ها در چند جنبه سیاست‌های حمل‌ونقلی تاثیر می‌گذارد، که استفاده کننده‌گان از راه را دچار مخاطره می‌کند. برای کاهش کامیون‌های که بار زیادی حمل می‌کنند می‌توان از WIM استفاده کرد. در مطالعه اوسکاربیسکی و کازوبوسکی به استفاده از این سیستم در کاهش آلودگی هوا در ترافیک‌های سنگین راه‌های پرداخته شده است، در این مطالعه با نصب دستگاه در شرق شهر گدینیا در کشور هلند کاهش ترافیک مشاهده شده است. در این مطالعه دستگاه نزدیک بندر مکان‌یابی شده است تا به عنوان اباری برای کامیون‌ها که بیشتر بار می‌زنند به عنوان یک هشدار و مانع تردد در راه و شهر باشد. در یک مطالعه نشان داده است که

افزایش بین ۰٪–۲۰٪ در بارگیری اضافی در کامیون‌ها مشاهده شده است، که این افزایش بارگیری مقدار چرخه زندگی خستگی آسفالت را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد (Judycki and Jaskula, 2016). در مطالعه مروری پشمچی و خواجه ثیان به معیارهای بین‌المللی انتخاب سایت جهت سیستم توزین حین حرکت پرداخته شده است. بر اساس میزان رد خودرو بر راه و انحراف و ناهمواری آن سه کلاس سایتی برای نصب سیستم‌های WIM مشخص شده است (I = عالی، II = خوب، III = قابل قبول) که در جدول شماره ۱ ارائه شده‌اند. در جدول شماره ۲ کلاس بندی دقت WIM که گروه سایتی WIM مورد نظر قابل دسترسی است را ارائه می‌دهد. این طبقه بندی مطابق با نتایج بدست آمده از بسیاری از آزمایشات انجام شده در کشورهای مختلف و در شرایط مختلف راهی است. برای سیستم‌های WIM پل و آبگذر، مشخصات برخی از معیارهای اضافی در مورد نوع پل، طول دهانه، انحراف و یکنواختی سطح ارائه شده‌اند. در این مطالعه، یک الگوریتم رمان برای وزن در حال حرکت که نشانگر سیگنال‌های اهرمی از هوشمند است، سنگفرش‌های کامپوزیت خود سنجش ارائه شد. این الگوریتم با استفاده از یک فیلتر گذر بالا شروع می‌شود روی سیگنال جمع‌آوری شده از روسازی هوشمند و بهینه سازی چند متغیره انجام می‌شود سیگنال را با استفاده از یک بانک از پیش سیگنال‌های پایه مطابقت دهید. این اطلاعات را در مورد وزن به دست می‌آورد و تعداد محورها سپس، سیگنال با استفاده از وزن‌های مشخص شده و سیگنال‌های پایه بازسازی می‌شود (Birgin et al, 2020). یکی از ابزارهای طراحی شده برای وزن و وزن بارهای محوری خودروها را محاسبه کنید. سیستم‌های توزین وسایل نقلیه در حال حرکت. باتوجه به آنها ناممکن بودن اندازه‌گیری، سیستم‌های WIM متشکل از دو خط است. از سنسورها فقط به عنوان سیستم پیش انتخابی استفاده می‌شود. در حال حاضر، تنها گزینه قابل قبول برای کاهش عدم قطعیت اندازه‌گیری در توزین دینامیکی افزایش تعداد سنسورهای بار است. در مطالعه به با استفاده از سیستم وزن گیری در حال حرکت با چند سنسور اشاره شده که دقت اندازه گیری چند برابر شده است (Gajda et al, 2015). استفاده از سیستم‌های وزن در حال حرکت به هوشمند سازی حمل و نقل کمک می‌کند. امروزه در کشوهای مختلف انواع این سیستم‌ها نصب و در حال بهره وری است(Burnos and Sroka, 2016) در مطالعه در کالیفورنیا توانسته‌اند با داده‌های این سیستم حجم کامیون را بدست آورند. تنها در ۸٪ موارد این اختلاف مشاهده شده است. سیستم‌های وزن در حال حرکت حجم کامیون‌ها را اندازه گیری می‌کنند، کمک می‌کنند. طراحی و مدیریت روسازی، و اندازه و وزن کامیون آئین نامه. سیستم‌های وزن بر اساس طبقه‌بندی کامیون‌ها ارائه می‌دهند (Burnosa and Ossowski, 2015).در طرح طبقه بندی پیکربندی محور FHWA، مشخص‌تر است. ویژگی‌های خودرو مانند پیکربندی بدن لازم است(Hyun et al, 2015) استفاده از سیستم‌های توزین در حرکت برای اجرای مستقیم بستگی دارد، دقت ثابت در شرایط اندازه‌گیری متغیر، در میان اثرات اقلیمی عوامل، درجه حرارت پیاده رو تبدیل به یکی از مهم‌ترین این مقاله ارائه می‌دهد. یک تحلیل دقیق از این پدیده تجزیه و تحلیل برای دو سیستم WIM انجام شد. دارای سنسورهای پلیمر و کوارتز بار تغییر درجه حرارت و تاثیر آن برخطای وزن گذاری آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. برخی از روش‌های اصلاح تاثیر درجه حرارت پیاده رو، بر اساس مدل دماسنج سایت WIM و بر روی کالیبراسیون سیستم در چندین درجه حرارت انجام شد. تأثیر یک توزیع دمای غیرمستقیم در سایت WIM که اهمیت خاصی دارد (Gajda and Burnos, 2016).

جدول۱. خلاصه مقالات استفاده شده برای تحقیق مورد نظر

ردیف	موضوع	نویسنده	سال انتشار	نتایج تحقیق
۱.	توزین مکانیابی در سیستم‌های در حال حرکت	Burnos, P., Ossowski	۲۰۱۵	با دادهای این سیستم توزین توانسته حجم کامیون را بدست اورند. تنها در ۸٪ موارد این اختلاف مشاهده شده است.
۲.	از بین بردن ایستگاه‌های توزین وزن کامیون‌ها	Cunagin, W., Mickler,	۱۹۹۷	مسئله دقت است که به مقدار قابل توجهی به هموار بودن سطح راه و مشخصات روسازی بستگی دارد. بعلاوه از آنجا که سنسورهای مسیر در معرض بار تمام ترافیک می‌باشند و در سطح مسیر واقع شده‌اند، عمر مفید آنها ممکن است کمتر باشد.
۳.	ارزیابی سیستم‌های توزین در حال حرکت در آلبرتا (کانادا)	Farkhideh	۲۰۱۲	تحقیقاتی درآمریکا انجام گرفت که نشان داده تخریب راه با توان چهارم اضافه تناژ در رابطه است.
٤.	تاثیر دما در سیستم‌های توزین در حال حرکت	Gajda, J., & Burnos	۲۰۱٦	تأثیر یک توزیع دمای غیرمستقیم در سایت WIM که اهمیت خاصی دارد.
۵.	ارزیابی سیستم‌های توزین در حال حرکت در لهستان (پولند)	Gajda, J., & Burnos	۲۰۱٦	مقاله مروری در مورد سیستم‌های توزین در کشور لهستان پرداخته شده است.
٦.	استفاده از چند سنسور در دقت سیستم‌های توزین در حال حرکت	Gajda, J., & Burnos	۲۰۱۵	استفاده از سیستم وزن‌گیری در حال حرکت با چند سنسور سبب شده که دقت اندازه گیری چند برابر شده است.
۷.	تخمین حجم و وزن در سیستم‌های توزین در حال حرکت	Hyun, K., Hernandez, S., Tok, A., & Ritchie	۲۰۱۵	در طرح طبقه بندی پیکربندی محور FHWA، مشخص‌تر است. ویژگی‌های خودرو مانند پیکربندی بدن لازم است.

۳-مطالعه موردی

منظور مکانیابی مناسب برای استقرار و پیاده‌سازی اجزای سیستم حمل ونقل هوشمند در محورهای منتخب استان اراک استفاده از مدل واقعی به منظور تجزیه و تحلیل آمارها و ثبت اطلاعات و نتایج نهایی در پایگاه اطلاعات سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود، با توجه به این نکته که استفاده و بهره‌برداری از اجزای سیستم حمل و نقل هوشمند در سازمان‌ها و ادارات مختلف متنوع می‌باشد. لذا به منظور پوشش کلیه این نیازها و انتظارات برای سیستم توزین در حال حرکت پرسشنامه‌ای تنظیم و توسط کارشناسان مجرب اداره کل حمل‌ونقل و پایانه‌ها، اداره کل راه و ترابری استان تکمیل و در انتها نتایج حاصله به صورت جداگانه جهت هر یک از سازمان مذکور بررسی می‌شود. پرسشنامه مشتمل بر ۲٤ سوال است که این سوالات شامل کلیه ویژگی‌ها و مشخصات محورهای استان و موارد مرتبط با اضافه تناژ و توزین می‌باشد. در مرحله بعدی باید اطلاعات و آمارهای جمع‌آوری شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، در این مرحله با توجه به اینکه آمار و اطلاعات متنوع محورهای حاضر در طرح به صورت عددی موجود می‌باشد.

٤-روش‌شناسی

یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی است و یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌کارگیری این روش مستلزم پنج گام

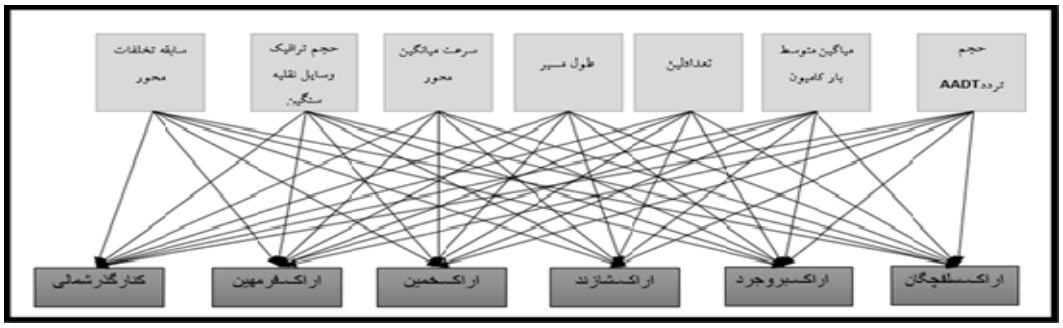
است: ۱- تعیین هدف ۲- قضاوت ترجیحی ۳- محاسبات وزن‌های نسبی٤- ادغام وزن‌های نسبی ۵-سازگاری در قضاوت‌ها.

٤-۱-تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این قسمت مقاله به تجزیه و تحلیل داده‌های پرداخته می‌شود هدف در این پژوهش بهینه‌سازی کاهش اضافه بار در وسایل‌نقلیه با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت می‌باشد برای دستیابی به این این هدف از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شود. ابتدا عوامل موثر شناسایی شده و سپس توسط روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی و تعیین اهمیت می‌شوند.

گام اول: در روش تحلیل سلسله مراتبی

مراتبی در ابتدا هدف نوشته می‌شود و بعدازآن گزینه ها، و در جایگاه بعدی معیارها قرار می‌گیرند. در این پژوهش از ۷ معیار کلی استفاده شده است. برای بدست آورن اولویت بندی محورهای مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱. تحلیل سلسله مراتبی

گام دوم: ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخ دهندگان

در این بخش، جهت آشنایی با تعداد پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه مقایسات زوجی از جنبه: جنسیت، سن، سابقه کار و تحصیلات به توصیف ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان پرداخته خواهدشد.

جنسیت متخصصان

جدول ۱. توزیع فراوانی مربوط به جنسیت متخصصان

جنسیت	فراوانی	درصد فراوانی
مرد	٢٤	٪۷۵,۳۳
زن	٦	٪٢٤,٦٧

با توجه به جدول شماره ۲، ۷۳,۳۳ درصد از پاسخ دهندگان مرد و ۲٦,٦۷ درصد زن بوده‌اند.

سن متخصصان

جدول ۲. توزیع فراوانی مربوط به سن متخصصان

سن	فراوانی	درصد فراوانی
۲۰ تا ۳۵	٦	٪۲۰
۳۵ تا ۵۰	١٤	٪٤٦,٦٧
۵۰ تا ٦۵	۲	٪٦,٦٧
بالاتر از ٦۵	۸	٪۲٦,٦٦

با توجه به جدول شماره ۳، بیشترین فراوانی پاسخ دهندگان مربوط به گروه سنی ۳۵ تا ۵۰ بوده است و کمترین فراوانی مربوط به سن بین ٤٠ تا ۵۰ سال بوده است که تنها ٦,٦٧ درصد از پاسخ دهندگان را تشکیل می‌دهند.

سابقه کار متخصصان

جدول ۳. توزیع فراوانی مربوط به سابقه کارمتخصصان

سابقه خدمت	فراوانی	درصد فراوانی
کمتر از ۵ سال	۸	٪۲٦,٦٧
بین ۵ تا ۱۰ سال	۱۰	٪۳۳,۳۳
بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۸	٪۲٦,٦٧
بیش از ۱۵ سال	٤	٪۱۳,۳۳

با توجه به جدول شماره ۳، بیشترین پاسخ‌دهندگان دارای سابقه کاری بین ۵ تا ۱۰ سال بوده‌اند و کمترین فراوانی مربوط به سابقه کار بیش از ۱۵ سال با ۱۳,۳۳ درصد است.

تحصیلات متخصصان

جدول ٤. توزیع فراوانی مربوط به تحصیلات متخصصان

تحصیلات	فراوانی	درصد فراوانی
کارشناسی	۱٤	٪٤۸,٦۷
کارشناسی ارشد	۱۲	٪۳۸
دکتری	٤	٪۱۳,۳۳

با توجه جدول شماره ٤، بیشترین فراوانی پاسخ‌دهندگان دارای مدرک کارشناسی با ٤۸,٦۷ درصد هستند و کمترین فراوانی مربوط مربوط به مدرک دکتری با ۱۳,۳۳درصد است.

گام سوم

در این بخش ابتدا عوامل موثر بر مکانیابی توزین در سیستم‌های در حال حرکت با هدف بهینه سازی کاهش اضافه بار معرفی می‌شود که شامل ۷ عامل تاثیرگذار می‌شود. همچنین گزینه‌های پژوهش نیز شامل ٦ محور است که در زیر معرفی شده‌اند.

معیارها

۱.تعداد خطوط عبوری (C1) ۲.طول مسیر (C2) ۳.سرعت میانگین محور (C3) ٤.حجم ترافیک وسایل‌نقلیه سنگین (C4) ۵.میانگین متوسط بار کامیون (C5) ٦.حجم تردد AADT (C6) ۷.سابقه تخلفات مسیر (C7)

گزینه‌ها

۱. محور سلفچگان-اراک (A1)۲. محور بروجرد-اراک (A2)۳. محور شازند-اراک (A3)٤. محور خمین-اراک (A4) ۵. محور فرمهین-اراک (A5) ٦.محور کنارگذر شمالی-اراک (A6)

گام چهارم

در مراحل قبل عوامل پژوهش معرفی شدند در این گام نیز جهت تعیین اهمیت و وزن آن‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شود. ابتدا بر اساس جدول شماره ۵ مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها ایجاد شد و در اختیار خبرگان قرار گرفت تعداد خبرگان در این قسمت نیز ٤۰ نفر می‌باشد. بعد از تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری هر کدام

محاسبه شد که همگی کمتر از ۰,۱ بود که نشان از ثبات و سازگار بودن ماتریس‌ها هست. سپس مقایسات زوجی خبرگان، توسط روش میانگین هندسی ادغام شدند و سپس جهت تعیین وزن، وارد نرم افزار اکسل شد. در ادامه نتایج مقایسات زوجی و اوزان آورده شده است. در این بخش مقایسات زوجی ۷ معیار اصلی در جدول شماره ۵ آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰۸ می‌باشد و چون کمتر از ۰,۱ می‌باشد نشان از سازگاری قابل قبول است.

جدول ۵. معیارهای اصلی در مقایسات زوجی

	تعداد خطوط عبوری	طول مسیر	سرعت میانگین محور	حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین	میانگین متوسط بار کامیون	حجم تردد AADT	سابقه تخلفات مسیر
تعداد خطوط عبوری	۱,۰۰۰	۰,۳۹۲	۱,۰٤۱	۰,۳۱۹	۰,۳۸۷	۰,٤٥۲	۰,۳۹۲
طول مسیر	۲,٦٦۱	۱,۰۰۰	۳,۰۰۹	۰,٤٥٤	۲,۳۳٦	۰,٥٦٦	۱,٤۰۹
سرعت میانگین محور	۰,۹٦۱	۰,۳٤۲	۱,۰۰۰	۰,۸۸۷	۱,۲۸۳	۰,۷۸۳	۲,٥۸۹
حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین	۳,۱٤٥	۲,۲۰۳	۱,۱۲۷	۱,۰۰۰	۱,۸۱٦	۰,۳٥٤	۱,۹۷۸
میانگین متوسط بار کامیون	۲,٦۰۲	۰,٤۳۹	۰,۷۷٤	۰,٥٥۰	۱,۰۰۰	۰,٥۸٥	۱,٥٤۷
حجم تردد AADT	۲,۲۲۲	۱,۷۷۷	۱,۲۷۹	۲,۸۲٥	۱,۷٤۹	۱,۰۰۰	۰,۸٥۱
سابقه تخلفات محور	۲,٥٥۱	۰,۷۲۰	۰,۳۸٦	۰,٥۰٦	۰,٦٥۷	۱,۱۷٥	۱,۰۰۰

برای نرمال‌سازی مقایسات زوجی، هر درایه را بر مجموع درایه‌های ستونش تقسیم می‌کنیم. که ماتریس نرمال شده در جدول شماره ٦ آورده شده است.

جدول ٦. ماتریس نرمال شده

	تعداد خطوط عبوری	طول مسیر	سرعت میانگین محور	حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین	میانگین متوسط بار کامیون	حجم تردد AADT	سابقه تخلفات محور
تعداد خطوط عبوری	۰,۰٥٦	۰,۰٤۱	۰,۰۹٥	۰,۰٤۳	۰,۰۳٥	۰,۰٦۲	۰,۰۳۱
طول مسیر	۰,۱٤۳	۰,۱۰٦	۰,۲۷۳	۰,۰٦۲	۰,۲۱۰	۰,۰۷۸	۰,۱۱۳
سرعت میانگین محور	۰,۰٥٤	۰,۰۳٥	۰,۰۹۱	۰,۱۲۱	۰,۱۱٦	۰,۱۰۸	۰,۲۰۸
حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین	۰,۱۷٦	۰,۲۳۳	۰,۱۰۲	۰,۱۳٦	۰,۱٦٤	۰,۰٤۹	۰,۱٥۹
میانگین متوسط بار کامیون	۰,۱٤٦	۰,۰٤٥	۰,۰۷۰	۰,۰۷٥	۰,۰۹۰	۰,۰۸۰	۰,۱۲٤
حجم تردد AADT	۰,۱۲٥	۰,۱۸۷	۰,۱۱٦	۰,۳۸٤	۰,۱٥۷	۰,۱۳۸	۰,۰٦۸
سابقه تخلفات محور	۰,۱٤۳	۰,۰۷٥	۰,۰۳٥	۰,۰٦۹	۰,۰٥۸	۰,۱٦۳	۰,۰۸۰

برای محاسبه وزن کافیست از درایه‌های جدول ٦ به صورت سطری میانگین حسابی گرفته شود تا وزن معیارها حاصل شود که برای معیار اول به صورت زیر محاسبه می‌شود: نتیجه نهایی در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷. وزن معیارها اصلی

معیارها	وزن معیار
تعداد خطوط عبوری	۰,۱۱۰
طول مسیر	۰,۱٦۸
سرعت میانگین محور	۰,۱۲۳
حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین	۰,۲۲۰
میانگین متوسط بار کامیون	۰,۰٦۱
حجم تردد AADT	۰,۱۹٤
سابقه تخلفات مسیر	۰,۱۱۵

با توجه به نتایج در بین معیارهای اصلی، حجم ترافیک وسایل‌نقلیه سنگین با وزن ۰,۲۲۰ رتبه اول، حجم ترددAADT با وزن ۰,۱۹٤ رتبه دوم، طول مسیر با وزن ۰,۱٦۸ رتبه سوم، سرعت میانگین محور با وزن ۰,۱۲۳ رتبه چهارم سابقه تخلفات مسیر با وزن ۰,۱۱۱ رتبه پنجم، میانگین تعداد خطوط عبوری با وزن ۰,۱۱۰ رتبه ششم ومتوسط بار کامیون با وزن ۰,۰٦۱ رتبه هفتم را کسب کرده است.

گام ششم مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار تعداد خطوط عبوری (C1)

در جدول ۸، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار تعداد خطوط عبوری (C1) آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰۷ می‌باشد. به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۹ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار تعداد خطوط عبوری (C1)، محور اراک – سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محور اراک- بروجرد رتبه دوم و محور اراک-شازند رتبه سوم را کسب کرده است.

گام هفتم: مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار طول مسیر (C2)

در جدول شماره ۹، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار طول مسیر (C3) آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰٤ است.

جدول ۸ مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار تعداد خطوط عبوری (C1)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محور اراک- خمین	محور اراک- فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	۲,٤٤۹	۱,۱۳۱	۳,۱۸۵	٤,۲٦۸	٤,۱٦۳
محور اراک-بروجرد	۰,٤۰۸	۱,۰۰۰	۱,٦۳۹	۲,۲۱۱	۲,۵۸٦	۲,۹۱۰
محور اراک-شازند	۰,۸۸٤	۰,٦۱۰	۱,۰۰۰	۲,۳۹۷	۱,۵۵۹	۰,٤۵۰
محور اراک- خمین	۰,۳۱٤	۰,٤۵۲	۰,٤۱۷	۱,۰۰۰	۲,۰۰۷	۰,٤۸٦
محور اراک- فرمهین	۰,۲۳٤	۰,۳۸۷	۰,٦٤۱	۰,٤۹۸	۱,۰۰۰	۰,٦۱٦
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۲٤۰	۰,۳٤٤	۲,۲۲۲	۲,۰۵۸	۱,٦۲۳	۱,۰۰۰

جدول ۹. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار تعداد خطوط عبوری (C1)

نام محور	وزن معیار
محور اراک-سلفچگان	۰,۳۳۲
محور اراک-بروجرد	۰,۲۰۹
محور اراک-شازند	۰,۱۵٤
محور اراک-خمین	۰,۰۹۰
محور اراک-فرمهین	۰,۰۷۱
محور اراک-کنارگذرشمالی	۰,۱٤٥

به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱۰ آورده شده است.

بر این اساس با در نظر گرفتن معیار طول مسیر (C2)، محور اراک- سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است.

محور اراک- بروجرد رتبه دوم و محور اراک-کنارگذر شمالی رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۹. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار طول مسیر (C2)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محور اراک-خمین	محور اراک-فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	۲,۷۵۹	۲,۹۱٥	۳,۹۳٤	۲,٦۲٥	۲,۸٥٤
محور اراک-بروجرد	۰,۳٦۲	۱,۰۰۰	۲,۲۹۷	۲,٥۸٥	۲,۳۲۹	۲,۱٦۷
محور اراک-شازند	۰,۳٤۳	۰,٤۳٥	۱,۰۰۰	۰,٤٤۱	۱,۸۰۸	۰,٤۳۳
محور اراک-خمین	۰,۲٥٤	۰,۳۸۷	۲,۲٦۸	۱,۰۰۰	۱,۷٥۹	۰,۸٤٥
محور اراک-فرمهین	۰,۳۸۱	۰,٤۲۹	۰,٥٥۳	۰,٥٦۹	۱,۰۰۰	۰,٥۷۷
محوراراک-کنارگذر شمالی	۰,۳٥۰	۰,٤٦۱	۲,۳۰۹	۱,۱۸۳	۱,۷۳۳	۱,۰۰۰

جدول ۱۰. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار طول مسیر (C2)

نام محور	وزن معیار
محوراراک- سلفچگان	۰,۳٥٦
محوراراک- بروجرد	۰,۲۱۱
محوراراک- شازند	۰,۰۹۳
محور اراک-خمین	۰,۱۲۲
محوراراک- فرمهین	۰,۰۸۲
محوراراک- کنارگذر شمالی	۰,۱۳۷

جدول ۱۱. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت میانگین محور (C3)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محور اراک-خمین	محور اراک-فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	۲,٤٤۹	۱,۲۲۰	۳,۱۸۵	٤,۲٦۸	٤,۱٦۳
محور اراک-بروجرد	۰,٤۰۸	۱,۰۰۰	۱,۷۰۰	۲,۲۱۱	۲,٥۸٦	۲,۹۱۰
محور اراک-شازند	۰,۸۲۰	۰,٥۸۸	۱,۰۰۰	۲,۳۹۷	۱,٥٥۹	۰,٤٥۰
محور اراک-خمین	۰,۳۱٤	۰,٤٥۲	۰,٤۱۷	۱,۰۰۰	۲,۰۰۷	۰,٤۸٦
محور اراک-فرمهین	۰,۲۳٤	۰,۳۸۷	۰,٦٤۱	۰,٤۹۸	۱,۰۰۰	۰,٦۱٦
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۲٤۰	۰,۳٤٤	۲,۲۲۲	۲,۰٥۸	۱,٦۲۳	۱,۰۰۰

گام هشتم: مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت میانگین محور (C3)

در جدول شماره ۱۱، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت میانگین محور (C3) آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰۷ می‌باشد.

به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱۲ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار سرعت میانگین محور (C3)، محور اراک-سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محوراراک- بروجرد رتبه دوم و محور اراک-شازند رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۱۲. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت میانگین محور (C3)

نام محور	وزن معیار
	۰,۳۳٥
محور اراک-بروجرد	۰,۲۱۰
محوراراک- شازند	۰,۱٥۰
محور اراک-خمین	۰,۰۹۰
محوراراک- فرمهین	۰,۰۷۱
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۱٤٤

گام نهم: مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین (C4)

در جدول شماره ۱۳، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین (C4) آورده شده است، نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰٤ می‌باشد.

جدول ۱۳. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین (C4)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محور اراک-خمین	محور اراک-فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	۳,۷۴۹	۳,۷۸۰	۵,۲۹۲	٦,۱۹۹	۳,۸۱٤
محور اراک-بروجرد	۰,۲٦۷	۱,۰۰۰	۱,۵۲٤	۱,۹۰٦	۲,۳٤۹	۲,۵۱٤
محور اراک-شازند	۰,۲٦۵	۰,٦۵٦	۱,۰۰۰	۰,٤۵۹	۰,۸۳۲	۱,۰۲۷
محور اراک-خمین	۰,۱۸۹	۰,۵۲۵	۲,۱۷۹	۱,۰۰۰	۰,۷٦۵	۲,۲۹۵
محور اراک-فرمهین	۰,۱٦۱	۰,٤۲٦	۱,۲۰۲	۱,۳۰۷	۱,۰۰۰	۲,۳۱۱
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۲٦۲	۰,۳۹۸	۰,۹۷٤	۰,٤۳٦	۰,٤۳۳	۱,۰۰۰

به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱٤ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین (C4)، محور اراک-سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محور اراک-بروجرد رتبه دوم و محور اراک-خمین رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۱٤. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین (C4)

نام محور	وزن معیار
محوراراک- سلفچگان	۰,٤۵۲
محوراراک- بروجرد	۰,۱٦٦
محوراراک- شازند	۰,۰۸۵
محوراراک- خمین	۰,۱۱۸
محور اراک-فرمهین	۰,۱۰۷
محوراراک- کنارگذر شمالی	۰,۰۷۱

گام دهم :مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار میانگین متوسط بار کامیون (C5)

در جدول شماره ۱۵، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار میانگین متوسط بار کامیون (C5)آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰۵ می‌باشد.

به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱٦ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار میانگین متوسط بار کامیون (C5)، محور اراک-سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محوراراک-بروجرد رتبه دوم و محور اراک-خمین رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۱۵. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار میانگین متوسط بار کامیون (C5)

	محور اراک-سلفچگان	محوراراک- بروجرد	محور اراک-شازند	محوراراک-خمین	محور اراک-فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	٤,۱٤٤	۳,۷۸۰	٥,٤۳۷	۷,۸۲٤	۳,۲٥۰
محوراراک- بروجرد	۰,۲٤۱	۱,۰۰۰	۱,٤۲٥	۱,۹٦٥	۲,٤۲۱	۲,٦۸۲
محور اراک-شازند	۰,۲٦٥	۰,۷۰۲	۱,۰۰۰	۰,٤٤۹	۰,۸۳۲	۱,۰۲۷
محوراراک- خمین	۰,۱۸٤	۰,٥۰۹	۲,۲۲۷	۱,۰۰۰	۱,٤۷۳	۲,۲۹٥
محوراراک- فرمهین	۰,۱۲۸	۰,٤۱۳	۱,۲۰۲	۰,٦۷۹	۱,۰۰۰	۲,۳۱۱
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۳۰۸	۰,۳۷۳	۰,۹۷٤	۰,٤۳٦	۰,٤۳۳	۱,۰۰۰

جدول ۱٦. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار میانگین متوسط بار کامیون (C5)

نام محور	وزن معیار
محور سلفچگان-اراک	۰,٤٦۲
محور بروجرد-اراک	۰,۱٦۲
محور شازند-اراک	۰,۰۸٤
محور خمین-اراک	۰,۱۲٦
محور فرمهین-اراک	۰,۰۹۲
محور کنارگذر شمالی-اراک	۰,۰۷٤

گام یازدهم :مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم تردد AADT (C6)

در جدول شماره ۱۷ مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم تردد AADT (C7) آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰۵ می‌باشد. به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱۸ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار حجم تردد AADT (C6)، محور اراک-سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محوراراک- بروجرد رتبه دوم و محور اراک-خمین رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۱۷. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار حجم تردد AADT (C6)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محوراراک- خمین	محور اراک-فرمهین	محور اراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	٤,۱٤٤	۳,۷۸۰	٥,۲۹۲	۷,۸۲٤	۳,٥٦٥
محور اراک-بروجرد	۰,۲٤۱	۱,۰۰۰	۱,۲۹۸	۱,۹٦٥	۲,۳۰۹	۲,٦۸۲
محور اراک-شازند	۰,۲٦٥	۰,۷۷۰	۱,۰۰۰	۰,٤٤۹	۰,۸۳۲	۱,۰۲۷
محور اراک-خمین	۰,۱۸۹	۰,٥۰۹	۲,۲۲۷	۱,۰۰۰	۱,۷٦٥	۲,۲۹٥
محور اراک-فرمهین	۰,۱۲۸	۰,٤۳۳	۱,۲۰۲	۰,٥٦۷	۱,۰۰۰	۲,۳۱۱
محوراراک- کنارگذر شمالی	۰,۲۸۱	۰,۳۷۳	۰,۹۷٤	۰,٤۳٦	۰,٤۳۳	۱,۰۰۰

جدول ۱۸. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار حجم تردد AADT (C6)

نام محور	وزن معیار
محور سلفچگان-اراک	۰,٤٦٤
محور بروجرد-اراک	۰,۱۵۸
محور شازند-اراک	۰,۰۸۵
محور خمین-اراک	۰,۱۳۰
محور فرمهین-اراک	۰,۰۹۱
محور کنارگذر شمالی-اراک	۰,۰۷۲

گام دوازدهم: مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سابقه تخلفات محور (C7)

در جدول ۱۸، مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سابقه تخلفات محور (C7) آورده شده است نرخ ناسازگاری این مقایسه زوجی برابر با ۰,۰٤ می‌باشد. به طریق مشابه مقایسه زوجی را نرمال کرده و سپس از درایه‌های ماتریس نرمال میانگین حسابی گرفته تا وزن گزینه‌ها حاصل شود که در جدول شماره ۱۹ آورده شده است. بر این اساس با در نظر گرفتن معیار سابقه تخلفات محور (C7)، محور اراک- سلفچگان رتبه اول را کسب کرده است. محور اراک- بروجرد رتبه دوم و محور اراک-کنارگذر شمالی رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۱۸. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سابقه تخلفات محور (C7)

	محور اراک-سلفچگان	محور اراک-بروجرد	محور اراک-شازند	محور اراک-خمین	محور اراک-فرمهین	محوراراک-کنارگذر شمالی
محور اراک-سلفچگان	۱,۰۰۰	۲,۹۱۷	۳,۰۷٦	۳,۵۲۵	۲,٦۲۵	۲,۵۰٦
محور اراک-بروجرد	۰,۳٤۳	۱,۰۰۰	۲,۱۸۳	۲,٦۳٤	۲,۲٦۳	۲,۱٦۷
محوراراک- شازند	۰,۳۲۵	۰,٤۵۸	۱,۰۰۰	۰,۵۰۰	۱,۷۷۳	۰,٤۱۷
محور اراک-خمین	۰,۲۸٤	۰,۳۸۰	۲,۰۰۰	۱,۰۰۰	۲,۰۷٦	۰,۸٤۵
محور اراک-فرمهین	۰,۳۸۱	۰,٤٤۲	۰,۵٦٤	۰,٤۸۲	۱,۰۰۰	۰,۵۷۷
محوراراک- کنارگذر شمالی	۰,۳۹۹	۰,٤٦۱	۲,۳۹۸	۱,۱۸۳	۱,۷۳۳	۱,۰۰۰

جدول ۱۹. وزن گزینه ها نسبت به معیار سابقه تخلفات محور (C7)

نام محور	وزن معیار
محور اراک-سلفچگان	۰,۳٤۹
محوراراک- بروجرد	۰,۲۱۱
محور اراک-شازند	۰,۰۹۲
محوراراک- خمین	۰,۱۲۵
محور اراک-فرمهین	۰,۰۸۱
محور اراک-کنارگذر شمالی	۰,۱٤۲

گام دوازدهم: وزن و رتبه نهایی گزینه‌ها

وزن نهایی گزینه‌ها از ضرب وزن نسبی گزینه‌ها در وزن معیارهای اصلی حاصل می‌شود که در جدول شماره ۲۰آورده شده است. بر این اساس محور اراک–سلفچگان با وزن ۰,۴۰۳ رتبه اول را کسب کرده است. محوراراک– بروجرد با وزن ۰,۱۸۶ رتبه دوم و محوراراک– خمین با وزن ۰,۱۱۷ رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول ۲۰. وزن نهایی گزینه‌ها

	وزن نسبت به تعداد خطا(C1)	وزن نسبت به طول مسیر(C2)	وزن نسبت به سرعت میانگین محور(C3)	وزن نسبت به حجم رافیک وسیله نقلیه سنگین(C4)	وزن نسبت به میانگین متوسط بار کامیون(C5)	وزن نسبت به حجم تردد AADT(C6)	وزن نسبت به سابقه تخلفات محور(C7)		وزن معیارها	=	وزن نهایی محورها
محور اراک–سلفچگان	۰,۳۳۲	۰,۳۵۶	۰,۳۳۵	۰,۴۵۲	۰,۴۶۲	۰,۴۶۴	۰,۳۴۹	×	۰,۱۷۸		۰,۳۰۲۹۹۶۳
محور اراک–بروجرد	۰,۲۰۹	۰,۲۱۱	۰,۲۱	۰,۱۶۶	۰,۱۶۲	۰,۱۵۸	۰,۲۱۱		۰,۱۵۶		۰,۴۷۸۱۷
محور اراک–شازند	۰,۱۵۴	۰,۰۹۳	۰,۱۵	۰,۰۸۵	۰,۰۸۴	۰,۰۸۵	۰,۰۹۲		۰,۱۳۱		۰,۰۸۹۲۹۱۹
محور اراک–خمین	۰,۰۹	۰,۱۲۲	۰,۰۹	۰,۱۱۸	۰,۱۲۶	۰,۱۳	۰,۱۲۵		۰,۱۰۱		۰,۰۸۷۲۷۹۶
محور اراک–فرمهین	۰,۰۷۱	۰,۰۸۲	۰,۰۷۱	۰,۱۰۷	۰,۰۹۲	۰,۰۹۱	۰,۰۸۱		۰,۰۹۳		۰,۰۶۵۶۲۹۳
محور اراک–کنارگذر شمالی	۰,۱۴۵	۰,۱۳۷	۰,۱۴۴	۰,۰۷۱	۰,۰۷۴	۰,۰۷۲	۰,۱۴۲		۰,۰۸۷		۰,۰۹۲۴۱۱۹
									۰,۰۵۱		

جدول ۲۱. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

نام محور	وزن نهایی	رتبه
محور اراک–سلفچگان	۰,۴۳۸	۱
محور اراک–بروجرد	۰,۳۱۳	۲
محور اراک–کنارگذر شمالی	۰,۰۹۳	۳
محور اراک–شازند	۰,۰۸۸	۴
محور اراک–خمین	۰,۰۸۴	۵
محور اراک–فرمهین	۰,۰۶۱	۶

۵-نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به معرفی مطالعه موردی و سپس محورهای اصلی آن پرداخته شد و پس از آن به جمع بندی کل تردد وسیله نقلیه در ماه‌های مختلف سال و در یک سال صورت گرفت. با توجه به تردد وسیله نقلیه متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه بررسی شد. در این پژوهش هدف اصلی بهینه‌سازی کاهش اضافه بار در وسایل‌نقلیه با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت است و با توجه به هدف اصلی این پژوهش به بررسی حجم تردد وسیله نقلیه سنگین در ماه‌های مختلف سال و حجم ترافیک روزانه وسیله نقلیه سنگین بررسی شد و پس از آن حجم تردد محورها در ٢٤ ساعت نسبت به متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه کل وسیله نقلیه به متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه کل وسیله نقلیه سنگین محاسبه شد و در ادامه میانگین متوسط بار وسیله نقلیه سنگین و سابقه تخلفات محورها با توجه به آمار و اطلاعات مورد نظر در نظر گرفته شد و در نهایت به تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شد که مراحل کلی آن به صورت زیر می‌باشد.

۱. تصویر سلسله مراتبی تصمیم ۲. جمعیت شناختی پاسخ دهندگان ۳. معرفی گزینه‌ها و معیارها ٤. تشکیل مقایسه زوجی معیارها ۵. مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها ٦. وزن دهی و رتبه بندی گزینه ها

با توجه به نتایج در بین معیارهای اصلی، حجم وسایل‌نقلیه سنگین با وزن ۰,۲۲۰ رتبه اول، حجم تردد ترافیک روزانه با وزن ۰,۱۹٤ رتبه دوم، طول مسیر با وزن ۰,۱٦۸ رتبه سوم، سرعت میانگین محور با وزن ۰,۱۲۳ رتبه چهارم تخلفات محور با وزن ۰,۱۱۱ رتبه پنجم، میانگین تعداد خطوط عبوری با وزن ۰,۱۱۰ رتبه ششم و تعداد متوسط بار کامیون با وزن ۰,۰٦۱ رتبه هفتم را کسب کرده است. وزن نهایی گزینه‌ها از ضرب وزن نسبی گزینه‌ها در وزن معیارهای اصلی حاصل می‌شود که در جدول شماره ۲۱ آورده شده است. بر این اساس را کسب کرده است.

محور اراک- سلفچگان با وزن ۰,٤۳۸ رتبه اول، محور اراک-بروجرد با وزن ۰,۳۱۳ رتبه دوم و محور اراک- کنار گذر شمالی با وزن ۰,۰۹۳ رتبه سوم را کسب کرده است .هدف این تحقیق ارزیابی و اولویت‌بندی محورها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی است، در این پژوهش ابتدا به شناسایی منطقه و شناسایی محورهای اصلی و سپس به تهیه چک‌لیست و بازدیدهای میدانی پرداخته شد.پس از آن محورها بررسی و با توجه به معیارهای انتخاب شده که عبارتند از: حجم تردد ترافیک روزانه، حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین، طول مسیر، سرعت میانگین محور تخلفات محور، میانگین متوسط بار کامیون و تعداد خطوط عبوری می‌باشد. نظرسنجی توسط خبرگان صورت گرفت. با استفاده از مدل انتخاب شد، وزن‌دهی عوامل مورد نظر، کالیبره‌کردن، اولویت‌بندی، اعتبارسنجی، نرمال‌سازی و آزمون سازگاری و رتبه بندی برای گزینه‌ها صورت گرفت. نتایج بدست آمده در این مطالعه اهمیت معیارها براساس امتیازبندی کارشناسان به ترتیب برابر است با حجم تردد ترافیک روزانه، حجم ترافیک وسایل‌نقلیه سنگین، طول مسیر، سرعت میانگین محور تخلفات محور، میانگین متوسط بار کامیون و تعداد خطوط عبوری است. با توجه به محدودیت بودجه در راستای استفاده از دستگاه سیستم‌های توزین حین حرکت، با توجه به این‌که این شش محور تقریبا از اهمیت یکسانی برخوردار هستند و جز محورهای اصلی شهر اراک است.

۱-محور اراک- سلفچگان که دارای بیشترین رتبه بین گزینه‌های دیگر می‌باشد و از لحاظ معیار تردد وسایل نقلیه سنگین و از لحاظ سابقه تخلفات محور بیشترین رتبه را کسب کرده است این دستگاه در این محور قرار داده شود.

۲-با توجه به محدودیت بودجه می‌توان معیارهایی که دارای رتبه بیشتری هستند را نسبت به گزینه‌ها مقایسه نمود. اولویت‌بندی محورها براساس آنچه توسط تحلیل سلسه مراتبی و اطلاعات و داده های ترافیکی صورت گرفته نشان می‌دهد که آنچه واقعیت بوده با آنچه که توسط مدل صورت گرفته است یکسان است که اعتبار و صحت مدل و معیارها را نشان می‌دهد، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان:

۱-از این مدل در راستای اولویت‌بندی محورها می‌توان استفاده کرد.

۲-از این مدل برای رتبه بندی محورها از لحظ ایمنی می‌توان استفاده کرد.

۳-بکارگیری مدل باعث کاهش هزینه اضافی در آینده می‌گردد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1-Annual Average Daily Traffic (AADT)

2-Weigh in Motion (WIM)

3-Federal Highway Administration (FHWA)

۷- مراجع

-پشمچی، سیاوش و خواجه ییان، محمدباقر (۱۳۹۵). معیارهای انتخاب سایت جهت سیستم‌های توزین حین حرکت، *دومین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای*، تهران.

-Burnos, P., and Ossowski, L., (2015). Weighing vehicles in motion. The present state and prospects of Weigh-in-Motion systems application for law-enforcement.

-Farkhideh, N., (2012). Evaluation of Weigh-in-motion Systems in Alberta. University of Alberta.

- Gajda, J., & Burnos, P., (2016). Temperature properties of Weigh-in-Motion systems. *Paper presented at the 7 International Conference on Weigh-in-Motion and PIARC workshop.*

- Gajda, J., Burnos, P., and Sroka, R., (2016). Weigh-in-Motion systems for direct enforcement in Poland. *Paper presented at the 7 International Conference on Weigh-in-Motion and PIARC workshop.*

- He, W., Ling, T., OBrien, E. J., and Deng, L., (2019). Virtual axle method for bridge weigh-in-motion systems requiring no axle detector. *Journal of Bridge Engineering*. 24(9), 04019086.

- Gajda, J., Sroka, R., Stencel, M., Zeglen, T., Piwowar, P., Burnos, P., & Marszalek, Z. (2015). Design and accuracy assessment of the multi-sensor weigh-in-motion system. *Paper presented at the 2015 IEEE international Instrumentation and Measurement Technology Conference,* Włochy.

- Lu, C. C., Yan, S., Ko. H. C., and Chen, H. J. (2018). A bilevel model with a solution algorithm for locating weigh-in-motion stations. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(2), 380-389.

-Radoičić, G., Jovanović, M., and Arsić, M., (2016). Experience with an on board Weighing System Solution for Heavy Vehicles.

-Birgin, H. B., Laflamme, S., D'Alessandro, A., Garcia-Macias, E., and Ubertini, F., (2020). A Weigh-in-Motion Characterization Algorithm for Smart Pavements Based on Conductive Cementitious Materials.

-Berman, O., Larson, R. C., and Fouska, N., (1992). Optimal location of discretionary service facilities. *Transportation Science*. 26(3), 201-211.

-Oehry, B., Haas, L., and van Driel, C., (2013). Study on Heavy Vehicle On-Board Weighing-Final Report. *RappTrans AG*, Basel, Switzerland, Dec.

-Niedźwiecki, M., and Wasilewski, A., (1996). Application of adaptive filtering to dynamic weighing of vehicles.

-Hyun, K., Hernandez, S., Tok, A., and Ritchie, S. G., (2015). Truck Body Configuration Volume and Weight Distribution.

Optimizing Overload Reduction in Vehicles Using Moving Weighing System

Mohammd Amin Ebrahimzadeh, Ph.D., Candidate, Majoring in Transportation Planning, Faculty of Civil Engineering, Arts and Architecture, Tehran Science and Research, Tehran, Iran.

Ali Abdi Kordani, Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Navid Nakhaei, Ph.D., Candidate, Majoring in Transportation Planning, Faculty of Civil Engineering, Arts and Architecture, Tehran Science and Research, Tehran, Iran.

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

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

The moving weighing system is one of the most efficient methods to control the weight of vehicles passing through a section. ongoing weighing system is a useful and efficient technology to control overloaded vehicles and prevent road pavement damage. In this research, the optimization model of overload reduction in vehicles by using ongoing weighing system, Analytical Hierarchy process has been used. The aim of the Hierarchical Analysis Process technique is to select the best option based on different criteria through pairwise comparison. This technique is also used to weight the criteria. The parameters are clear and the importance of their weighting is as follows: among the main criteria, the volume of heavy vehicles with a weight of 0.220 ranks first, the traffic volume of AADT with a weight of 0.194 ranks second, the length of the route with a weight of 0.168 ranks third, the average axis speed with a weight of 0.123 ranks fourth, violations With a weight of 0.111, it ranks fifth, the average number of crossing lanes with a weight of 0.110 ranks sixth, and the average number of truck loads with a weight of 0.061 ranks seventh. The final weight of the options is obtained by multiplying the relative weight of the options by the weight of the main criteria. Arak-Salfachegan axis has won the first rank with a weight of 0.438, Arak-Broujerd axis has won the second rank with a weight of 0.313, and Arak-Kanar Gozur North axis has won the third rank with a weight of 0.093.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, WIM System, Optimization, Vehicle Overload