



Selecting the best option for traffic congestion control system at intersections in Kabul city using AHP and WASPAS methods

Engineer Najibullah Khaliqi¹, Seyed Anwar Shah Mousawi²

Abstract

A traffic control system refers to a set of technological tools and methods designed to manage and improve traffic flow on public thoroughfares, intersections, or intersection points. The main goal of these systems is to reduce traffic, increase safety, and improve the efficiency of transportation networks. The issues that make this difficult are population growth, the increase in vehicles, technological limitations of traffic signal control devices, lack of traffic congestion management on roads and intersections, and inadequate urban infrastructure, which has become one of the critical problems and challenges in improving traffic and traffic management in Kabul city.

Increased road congestion, travel time, number of accidents, carbon dioxide emissions, and fuel consumption are some of the messages of the aforementioned problems and challenges, because currently, traffic control in Kabul is mostly done through traditional and manual methods. Traffic police control traffic at key points, but these methods are not as effective as they should be. On the one hand, traffic congestion control systems are not smart and up-to-date, and on the other hand, there are numerous other complexities, options, and criteria that affect Kabul's traffic control systems. Therefore, methods and systems for controlling traffic congestion in Kabul city require a research approach with a combination of multi-

¹ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khatam al-Nabieein University, Afghanistan
najib.khaliqi@knu.edu.af, +93(0) 788726289

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khatam al-Nabieein University, Afghanistan
+93(0) 744384228, sa.mousawi@knu.edu.af

criteria decision-making techniques (Analytic Hierarchy Process and WASPAS).

In this research, 22 types of traffic congestion control systems for Kabul city were examined and analyzed, and each system was compared with different options and criteria, including: cost, lifespan, accessibility, ease of use, flexibility, electricity consumption, internet consumption, performance, and intelligence of the systems. In this research, the necessary information was collected mainly through library study and consultation with experts, predictions of a group of experts, and in cases of necessity, by in-person interviews with them, for the analysis of the hierarchical method. After collection, the expected criteria and options were identified and weighted, and finally, with the help of the WASPAS technique, the various criteria and options were analyzed and ranked, better and expected solutions were proposed in the traffic congestion control system of Kabul city. This research shows that among 22 types of traffic congestion control systems, the LED traffic signal control system, ranked first, is the best option in the long term. The automatic traffic signal controller using Arduino is ranked second and the audible and visual alarms are ranked third, while the remaining systems were ranked lower due to Kabul conditions.

Keywords: Kabul City Traffic Control System, Analytic Hierarchy Process Method, WASP Analysis Method for Congestion Reduction.





انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی‌های شهر کابل با استفاده از روش‌های تحلیل (AHP) و (WASPAS)

انجنیر نجیب الله خالقی^۱، سید انور شاه موسوی^۲

چکیده

سیستم کنترل ترافیک به مجموعه‌ای از ابزارهای تکنولوژیکی و روش‌های اطلاق می‌شود که برای مدیریت و بهبود جریان ترافیک در معابر عمومی، چهار راهی‌ها یا نقاط تقاطع طراحی شده است. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش ترافیک، افزایش ایمنی و بهبود کارایی شبکه‌های ترانسپورت یا حمل و نقل است. امور که این امر را مشکل می‌سازد؛ رشد جمعیت، افزایش وسایط نقلیه، محدودیت‌های تکنولوژیکی دستگاه‌های کنترل اشاره‌های ترافیکی، عدم مدیریت ازدحام ترافیک سرک‌ها و چهارراهی‌ها و زیرساخت‌های شهری ناکافی است که این امر به یکی از معضلات و چالش‌های حیاتی در بهبود تردد و مدیریت ترافیک در شهر کابل تبدیل گردیده است.

افزایش ازدحام جاده‌ها، زمان سفر، تعداد تصادفات، انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف سوخت از پیامدهای معضلات و چالش‌های متذکره است، زیرا در حال حاضر، کنترل ترافیک در کابل بیشتر به روش‌های سنتی و دستی انجام می‌شود. پلیس ترافیک در نقاط کلیدی، تردد را کنترل می‌کند، که این روش‌ها کارایی لازم را ندارند، از اینکه سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک هوشمند و بروز نیستند از یک طرف و از جانب دیگر پیچیده‌گی‌ها، گزینه‌ها و معیارهای متعدد دیگر هستند که سیستم‌های کنترل ترافیک کابل را متاثر ساخته است، بنابراین روش‌ها و سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک شهر کابل مستلزم یک تحقیق با رویکرد ترکیبی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (سلسله مراتبی و واسپاس) است.

در این پژوهش به تعداد ۲۲ نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر کابل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و هر سیستم با گزینه‌ها و معیارهای مختلف مقایسه گردیده است که شامل: هزینه، طول عمر، دسترسی، سهولت استفاده، انعطاف پذیری، مصرف برق، مصرف اینترنت، عملکرد و هوشمندی سیستم‌ها است.

^۱ پوهنیار، دیپارتمنت برق، پوهنځی انجنیری، پوهنتون خاتم النبیین (ص)، کابل، افغانستان.

+93(0) 788726289_najib.khaliqi@knu.edu.af

^۲ پوهنیار، دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیری، پوهنتون خاتم النبیین (ص)، کابل، افغانستان.

+93(0) 744384228_sa.mousawi@knu.edu.af

در این پژوهش، اطلاعات لازم به‌طور عمده از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان، پیش‌بینی‌های گروهی از کارشناسان و در موارد ضرورت با مصاحبه حضوری از آنها، جهت تحلیل روش سلسله‌مراتبی جمع‌آوری شد، پس از جمع‌آوری، معیارها و گزینه‌های موردانتظار شناسایی و وزن‌دهی شده و در نهایت به‌کمک تکنیک واسپاس؛ معیارها و گزینه‌های مختلف تحلیل و رتبه‌بندی گردیده و راهکارهای بهتر و موردانتظار در سیستم کنترل ازدحام ترافیک شهر کابل پیشنهاد شده‌اند. این تحقیق نشان می‌دهد که در بین ۲۲ نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک، سیستم کنترل سیگنال ترافیکی led، با رتبه اول، بهترین گزینه در بلندمدت است. کنترل‌کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو در رتبه دوم و هشدار دهنده‌های صوتی و نوری در رتبه سوم قرار دارد در حالی که متباقی سیستم‌ها به توجه به شرایط کابل در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: ازدحام ترافیک، روش تحلیل AHP، WASPAS.



۱. مقدمه

مکانیسم کنترل ازدحام ترافیک مجموعه ای از علائم، اشاره‌ها و روش‌های است که در چهارراهی‌ها یا تقاطع جاده‌ها و گذرگاه‌های عابر پیاده قرار می‌گیرند و اکنون بخش مهمی از زندگی روزمره ما به ویژه در جاده‌های شهر است.

موجودیت ترافیک سنگین و مشکل آفرین در شهرهای مزدحم از رشد فزاینده وسایط نقلیه و عدم گسترش کافی مسیرها جهت حرکت وسایط نقلیه ناشی می‌شود. معضل بزرگ ازدحام ترافیک در مناطق شهری را به طور عمده ناشی از ساختار یا نامناسب بودن سرک‌های شهر در عدم گنجایش و کشش وسایل نقلیه‌های موجود می‌دانند اما واقعیت امر این است که عوامل دیگری مانند تجهیزات و سیستم‌ها کنترل ترافیک هستند که در وضعیت ترافیک مؤثرند که در حد خود می‌توانند شرایط مناسب و مطلوب فیزیکی ترافیک را نامناسب یا مشکلات موجود را تشدید کنند، در این صورت، ساماندهی و مدیریت ترافیک شهری با کمک سیستم‌های ترانسپورت یا حمل و نقل هوشمند، می‌تواند در حل کنترل ازدحام ترافیک کمک کند [1].

افزایش ازدحام جاده‌ها، زمان سفر، تعداد تصادفات، انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف سوخت از پیامدهای رشد تعداد خودرو است. بنابراین، کنترل کننده‌های هوشمند ترافیک (ITC¹)، برای حل مشکلات ازدحام ترافیک جاده‌ای مورد نیاز هستند. نتایج روشهای رایج، از جمله کنترل کننده زمان چرخه از پیش تعیین شده و کنترل کننده فعال شده توسط وسیله نقلیه، نشان می‌دهند که آنها در لحظات اوج ترافیک به طور موثر عمل نمی‌کنند که یک کنترل کننده ترافیک مبتنی بر منطق فازی هوشمند در این بخش عملکرد بهتری داشته است [2].

معضله ترافیکی ناشی از رشد روزافزون جمعیت و توسعه سریع زیرساخت‌های شهری، چالش‌های بالای ترافیکی اصلی دانسته شده است. کاهش ازدحام و بهبود جریان ترافیک، کاهش زمان‌های طولانی معطلی، آلودگی هوا و حوادث ناخواسته، نیاز به یک پالیسی بهبود یافته مدیریت سیستم کنترل ازدحام ترافیک مناسب و کارآمد دارد و انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک بیشتر از پیش ضروری پنداشته می‌شود، بنابراین سیستم حمل و نقل هوشمند در سومین کنفرانس سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند که مناسب برای حل این محضله مناسب عمل کرده است، پیشنهاد گردیده است [3].

در [11] اشاره شده است که، بسیاری از کشورهای جهان در دهه‌های اخیر با مشکلات ترافیکی مواجه بوده‌اند. در کنترل‌کننده‌های علائم راهنمایی و رانندگی سنتی، چراغ‌های راهنمایی که بر اساس زمان از پیش تعیین شده و زمان چرخه ثابت تغییر می‌کنند و عملکرد مطلوبی برای شرایط مختلف ندارند. تحقیقات نشان می‌دهد که یک فرد به طور متوسط حدود 4 تا 6 ماه از زمان زندگی خود را صرفاً با منتظر ماندن در سیگنال راهنمایی و رانندگی در طول سفر می‌گذرانند. به طور کلی، پلیس می‌تواند ترافیک را در چندین تقاطع شهرها

¹ Intelgent Traffic Controller (ITC)



با اجرای سیستم کنترل خودکار چراغ راهنمایی کدگذاری شده در سخت افزار یا بطور دستی کنترل کند. با این حال، سیستم متذکره که با یک شکاف زمانی ثابت کار می کند، کارآمدی ضعیفی دارد زیرا تراکم ترافیک آنی را در نظر نمی گیرد. سیستم کنترل ترافیک مبتنی بر تراکم موجود با کمترین هزینه مفید خواهد بود سیستم پیشنهادی شامل حسگر IR¹ برای شمارش تعداد وسایل نقلیه عبوری در آن بازه زمانی استفاده می شود و تایمر است که برای یک زمان خاص کار می کند.

در مرجع [9,8] یک کنترلر غیرمتمرکز چراغ راهنمایی با استفاده از شبکه حسگر بی سیم پیشنهاد شده است، معماری سیستم به سه لایه طبقه بندی می شود. شبکه حسگر بی سیم، پالیسی مدل جریان ترافیک محلی، و هماهنگی عامل های چراغ راهنمایی در سطح بلند. حسگرهای بی سیم در خطوطی که به داخل و خارج از تقاطع می روند مستقر می شوند. این حسگرها تعداد خودروها، سرعت و غیره را تشخیص می دهند و داده های آن ها را به نزدیکترین عامل کنترل تقاطع (ICA²) ارسال می کنند که مدل جریان تقاطع را بسته به داده های حسگرها تعیین می کنند. (مثلا تعداد خودروهایی که به یک تقاطع خاص نزدیک می شوند). مقابله با تغییرات پویا در حجم ترافیک یکی از بزرگترین چالش های سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS³) است. کنترل تطبیقی در زمان واقعی چراغ های راهنمایی این روش صورت می گیرد که جریان وسایل نقلیه به حد اکثر رسیده و زمان انتظار کاهش و در عین حال در بین سایر چراغ های راهنمایی عدالت رعایت می گردد.

در مرجع [11, 15,16] کنترلر ازدحام ترافیک توسط دستگاه های الکترونیکی آردوینو (Arduino) را پیشنهاد کرده است که به مراتب عملکرد بهتری نسبت به سیستم های کنترل ازدحام ترافیک به روش دستی و سنتی داشته است، این دستگاه ها دارای IC های میکروکنترلر که قابل برنامه ریزی است تشکیل شده اند که در آن الگوریتم های دلخواه به روش های متفاوت قابل تطبیق است. هم چنان است سیستم ها که با هزینه کم، نصب آسان، عملکرد ساده، قابل دسترسی بوده و اشاره های ترافیکی معمولاً (LED⁴) های سه رنگ (سبز، زرد و سرخ) را کنترل میکند عملکرد آن با دستورهای مختلف، در سافت ویرهای برنامه نویسی توسط برنامه نویس ها نوشته و تنظیم میگردد که در حال حاضر در اکثر جاها از آن استفاده صورت میگیرد [15].

مکانیسم کنترل ترافیک مجموعه ای از علائم است که در تقاطع جاده ها و گذرگاه های عابر پیاده قرار می گیرد و اکنون بخش مهمی از زندگی روزمره ما به ویژه در خیابان های شهر است. در روزهای قبل، یک پلیس با سیگنال های دستی خود، ترافیک را کنترل می کرد، اما کمک چندانی نکرد. با این حال، سیستم چراغ راهنمایی سنتی بر اساس یک اصل زمانی ثابت است که به هر طرف از تقاطع اختصاص داده شده است که نمی تواند با توجه

¹ Infrared (IR)

² Intersection Control Agent (ICA)

³ Intelligent Transportation System (ITS)

⁴ Light Emitting diode (LED)

به تراکم مختلف ترافیک تغییر کند. کنترل علائم ترافیکی وابسته به زمان، سیگنال سبز را به یک خط/جاده برای کل مدت زمان تعیین شده اختصاص می دهد، حتی اگر هیچ وسیله نقلیه ای وجود نداشته باشد. در این حالت، اگر سیگنال ترافیک تراکم ترافیک جاده را حس کند و بر اساس تراکم مشاهده شده سیگنالها را اختصاص دهد، زمانی موثر خواهد بود. این رویکرد نه تنها از زمان به طور موثر استفاده می کند و ازدحام را در تمام جاده ها در تقاطع ها کاهش می دهد. راه های زیادی برای راه اندازی سیستم چراغ راهنمایی با استفاده از ریزپردازنده ها¹ و میکروکنترلرها² وجود دارد [11,12].

۲. پیشینه تحقیق:

سیستم کنترل ازدحام ترافیک به عنوان یکی از ابزارهای اصلی مدیریت و بهبود جریان ترافیک در شهرها و سرک ها، تاریخچه ای چندین دهه ای دارند که پیشینه آن به دوران آغازین عراده جات، یعنی قبل از اوایل قرن بیستم بازمی گردد، زمانی که با افزایش تعداد وسایط نقلیه در سرک ها، نیاز به مدیریت بهتر ترافیک احساس شد.

در دهه 1860، در لندن زمانی که یک چراغ راهنمایی برای ایمنی اعضای پارلمان در یک تقاطع نزدیک پارلمان نصب شد، باز می گردد. در آمریکا بعضی از شکل های اولیه کنترل ترافیک از انواع چراغهای قدیمی که در دهه 1910 نصب شده بود هم اکنون نیز وجود دارد و اولین چراغهای راهنمایی به شکل امروزی در سال 1920، در دیترویت و میشیگان مورد استفاده قرار گرفت [16].

قرن 21، با پیشرفت های بیشتری که در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) اتفاق افتاد، سیستم های کنترل ازدحام ترافیک به طور چشمگیری کارآمدتر شدند. استفاده از حسگرهای پیشرفته، تجزیه و تحلیل داده های بزرگ و حتی هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک در حال افزایش است.

دهه 1980 و 1990، انقلاب دیجیتالی و ظهور فناوری های جدید به توسعه سیستم های مدیریت ترافیک هوشمند (ITS) منجر شد. این فناوری ها شامل سیستم های پردازش تصویر،³ GPS و ارتباطات بی سیم بودند که امکان نظارت و کنترل بهتری از راه دور را نیز فراهم کردند [10,4].

در مرجع [17] به هوشمند سازی سیستم های کنترل ازدحام مطرح شده است که در آن سیستم های حمل و نقل هوشمند در عملکرد سیستم های کنترل ازدحام ترافیک موثر عمل کرده است. در این اواخر نیز سیستم های کنترل ازدحام ترافیک هوشمند و سیستم های حمل و نقل متراکم توجه محققان را به خود جلب کرده است که هنوز جا برای پیشرفت این معضله وجود دارد.

¹ Micro-processors

² Micro-Controllers

³ Global Positioning System (GPS)

۳. بیان مسئله:

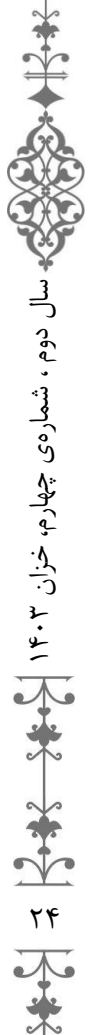
رشد روزافزون جمعیت سبب افزایش تقاضای سفر شده و متعاقب آن استفاده از وسایل نقلیه شخصی بطور چشمگیری افزایش یافته است. این امر فشار حاصل بر شبکه های موجود حمل و نقل و ترافیک به خصوص در نواحی شهری را چندین برابر نموده است. مسائل و مشکلات مربوط به حمل و نقل و ترافیک شهری از قبیل تراکم، افزایش زمان های تلف شده، تصادفات، تخلفات، آلودگی های زیست محیطی، کاهش منابع انرژی و روند رشد سریع تقاضای حمل و نقل و ترافیک شهری باعث شده تا تامین حمل و نقل و ترافیک شهری ایمن و کارا یکی از مهمترین مسائل پیشروی اغلب کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه محسوب شود.

موجودیت ترافیک سنگین و مشکل آفرین در شهرهای مزدهم از رشد فزاینده وسایط نقلیه و عدم گسترش کافی مسیرها جهت حرکت وسایط نقلیه ناشی می شود. معضل بزرگ ازدحام ترافیک در مناطق شهری را به طور عمده ناشی از ساختار یا نامناسب بودن سرک های شهر در عدم گنجایش و کشش وسایل نقلیه های موجود می دانند اما واقعیت امر این است که عوامل دیگری مانند تجهیزات و سیستم ها کنترل ترافیک هستند که در وضعیت ترافیک مؤثرند که در حد خود می توانند شرایط مناسب و مطلوب فیزیکی ترافیک را نامناسب یا مشکلات موجود را تشدید کنند، در این صورت، ساماندهی و مدیریت ترافیک شهری با کمک سیستم های ترانسپورت یا حمل و نقل هوشمند، می تواند در حل کنترل ازدحام ترافیک کمک کند [1].

امروزه، بسیاری از شهرها از سیستم های پیشرفته کنترل ترافیک استفاده می کنند که براساس دیتاهای بلادرنگ، حجم ترافیک را مدیریت کرده و به بهبود جریان ترافیک و کاهش مشکلات مرتبط با ازدحام کمک می کنند

از آنجا که ترافیک شهر کابل ویژگی های خاصی دارد و سیستم های کنترل ازدحام ترافیک، به دلیل شرایط خاص جغرافیایی، اقتصادی، و اجتماعی این شهر با چالش های زیادی مواجه هستند و بررسی ها نیز نشان میدهند که سیستم های کنترل ازدحام ترافیک متعددی (رایج و سنتی) طراحی و تطبیق گردیده است، به نظر میرسد که این سیستم ها تا هنوز چالش ها و معضلات ترافیکی را بطور کامل برطرف کرده نتوانسته اند و تحقیقات در این عرصه کم بوده و جا برای پیشرفت و انکشاف تکنالوژی آن بطور وسیع وجود دارد. با وجود چالش ها، برخی تلاش ها برای بهبود وضعیت ترافیک در حال انجام است. نصب اشاره های ترافیکی، پروژه های عمران و زیرساختی، به منظور بهبود عبور و مرور و افزایش ایمنی ترافیک وجود دارد، هرچند که این پروژه ها نیاز به توجه و سرمایه گذاری بیشتری دارند.

بطور کلی چنین به نظر میرسد، افزایش ازدحام جاده ها، زمان سفر، تعداد تصادفات، انتشار دی اکسید کربن، مصرف سوخت از پیامدهای معضلات و چالش های متذکره است، زیرا در حال حاضر، کنترل ترافیک در کابل بیشتر به روش های سنتی و دستی انجام می شود. پلیس ترافیک در نقاط کلیدی، تردد را کنترل می کند، که این روش ها کارایی لازم را ندارند، از اینکه سیستم های کنترل ازدحام ترافیک هوشمند و بروز نیستند از یک طرف و از جانب



دیگر پیچیده‌گی‌ها، گزینه‌ها و معیارهای متعدد سیستم‌های کنترل ترافیک کابل را متاثر ساخته است.

بنابراین روش‌ها و سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک شهر کابل مستلزم یک تحقیق با رویکرد ترکیبی، کمی و مقایسه‌ای با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (سلسله‌مراتبی¹ AHP و واسپاس² WASPAS) است [6].

روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در امر تصمیم‌گیری کمک میکند به خصوص در موقعیت‌هایی که نیاز به ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف وجود دارد، کاربرد وسیعی دارد. همچنان، روش تحلیل واسپاس (WASPAS) نیز یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای ارزیابی و انتخاب گزینه‌ها در شرایط پیچیده و چندبعدی در کنار روش تحلیل سلسله‌مراتبی به کار می‌رود که برای انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر این روش اهمیت پیدا میکند. در این روش به معیارها و گزینه‌های که در روش سلسله‌مراتبی شنایی شده اند وزن دهی و رتبه‌بندی می‌شوند [5-7].

در این موارد مباحث زیادی وجود دارند که در بخش توضیح روش‌های تحلیل به تفصیل بحث می‌گردد.

هدف: این تحقیق با هدف بررسی، تحلیل و رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارهای مختلف سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک در شهر کابل به منظور انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در امر بهبود جریان ترافیک در چهار راهی‌ها یا نقاط تقاطع این شهر با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و واسپاس انجام شده است که در آن گزینه‌ها و معیارهای متعدد و مورد انتظار نیز شناسایی، وزن دهی و رتبه‌بندی گردیده است.

یکی از راهکارهای حل این مشکلات توسعه و استفاده از سیستم کنترل ازدحام ترافیکی با سیگنال (LED) است. در مرجع [3]، راهکار حل مشکلات ترافیکی را در توسعه شبکه‌های حمل و نقل و ترافیک شهری پیشنهاد کرده است، در اما از آنجایی که توسعه شبکه‌های حمل و نقل و ترافیک شهری به دلیل محدودیت ظرفیت عمرانی، محدودیت بودجه و صدمه به محیط زیست متناسب با رشد روز افزون تولید وسایل نقلیه نمیباشد و از طرف دیگر با توجه به این که ایجاد شبکه‌های جدید حمل و نقل و ترافیک شهری باعث ایجاد انگیزه بیشتری برای تولید سفر در کاربران خواهد شد، لذا روش‌های مذکور با وجود نیاز به سرمایه‌گذاری کلان و زمان زیاد جهت اجرا به تنهایی نمی‌تواند به عنوان راه حل قطعی و مناسب در جهت حل معضل ترافیک کلان شهرها محسوب شود. همچنین تأمین نیازهای جدید کاربران ناشی از افزایش سطح زندگی مردم و افزایش ارزش زمان مانند سیستم‌های اطلاع‌رسانی ترافیک با تکیه بر روشهای سنتی امکان‌پذیر نیست.

¹ analytic hierarchy process (AHP)

² weighted aggregated sum product assessment (WASPAS)



۴. روش تحقیق:

روش تحقیق به صورت توصیفی-تحلیلی و با رویکرد ترکیبی، کمی و مقایسه‌ای طراحی شده است که اطلاعات لازم به طور عمده از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان، پیش بینی‌های گروهی از کارشناسان و در موارد ضرورت با مصاحبه حضوری از آنها، جهت تحلیل روش سلسله مراتبی جمع‌آوری و استفاده شده است، پس از جمع‌آوری، معیارها و گزینه‌های موردانتظار شناسایی و وزن‌دهی می‌شود و در نهایت به کمک تکنیک واسپاس؛ معیارها و گزینه‌ها تحلیل و رتبه بندی گردیده است، ترکیب روش‌های تحلیل AHP و WASPAS از این دلیل حائز اهمیت است که این فرصت را می‌دهد تا با استفاده از این روش‌ها گزینه‌های متعدد با معیارهای متفاوت سیستم‌های مختلف کنترل ازدحام ترافیک را بطور درست شناسایی و با دقت بهتری تحلیل و با اطمینان کامل گزینه مناسب برای سیستم کنترل ترافیک را انتخاب کنیم [19].

و مراحل تحقیق شامل معرفی سیستم کنترل ازدحام ترافیک، مرور کلی بر انواع سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک، بررسی فکتورهای موثر آنها، جمع‌آوری اطلاعات است و تحلیل آن پس از جمع‌آوری اطلاعات در مورد گزینه‌ها و معیارها، پروسه نارمل سازی معیارها و گزینه‌ها، انتخاب گزینه‌های مثبت مفید و گزینه‌های منفی غیر مفید، تشکیل مترکس بر اساس دو نوع محاسبه (محاسبه مجموع وزنی گزینه‌ها¹ WSM¹) و محاسبه ضرب وزنی گزینه‌ها² WPM²) و در نهایت ترکیب این دو محاسبه که به آن (WASPAS) می‌گویند، است، در نتیجه با تکمیل بررسی‌ها، محاسبات و تحلیل معیارها و گزینه‌ها، بهترین گزینه انتخاب شده است [6].

یافته‌ها

در این پژوهش به تعداد 22 نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر کابل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و هر سیستم با گزینه‌ها و معیارهای مختلف مقایسه گردیده است که شامل: هزینه، طول عمر، دسترسی، سهولت استفاده، انعطاف پذیری، مصرف برق، مصرف اینترنت، عملکرد و هوشمندی سیستم‌ها است.

در این پژوهش، اطلاعات لازم به طور عمده از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان، پیش بینی‌های گروهی از کارشناسان و در موارد ضرورت با مصاحبه حضوری از آنها، جهت تحلیل روش سلسله مراتبی جمع‌آوری شد، پس از جمع‌آوری، معیارها و گزینه‌های موردانتظار شناسایی و وزن‌دهی شد و در نهایت به کمک تکنیک واسپاس؛ معیارها و گزینه‌های مختلف تحلیل و رتبه بندی گردیده و راهکارهای بهتر و موردانتظار در سیستم کنترل ازدحام ترافیک شهر کابل پیشنهاد شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در بین 22 نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک، سیستم کنترل سیگنال ترافیکی led، با رتبه اول بهترین گزینه در بلندمدت است. کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو در

¹ Wight Sum Model

² Wight Prduct Model

رتبه دوم و هشدار دهنده‌های صوتی و نوری در رتبه سوم قرار دارد در حالی که متباقی سیستم‌ها به توجه به شرایط کابل در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند.

۵. معرفی سیستم کنترل ترافیک

سیستم کنترل ترافیک به مجموعه‌ای از ابزارهای تکنالوژیکی و روش‌های اطلاق می‌شود که برای مدیریت و بهبود جریان ترافیک در معابر عمومی، چهار راهی‌ها یا نقاط تقاطع طراحی شده است. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش ترافیک، افزایش ایمنی و بهبود کارایی شبکه‌های ترانسپورت یا حمل و نقل است. مکانیسم کنترل ترافیک مجموعه‌ای از علائم است که در تقاطع جاده‌ها و گذرگاه‌های عابر پیاده قرار می‌گیرد و اکنون بخش مهمی از زندگی روزمره ما به ویژه در سرک‌های شهر است [11,12].

۱-۵. اجزای کلیدی سیستم کنترل ترافیک

سیستم کنترل ازدحام ترافیک شامل مجموعه از اشاره‌ها، علائم و بخش‌های مختلف اند که در آن از دستگاه‌ها، وسایل و قطعات مختلف برقی، الکترونیکی و غیره استفاده می‌شوند. از آن جمله می‌توان اجزای کلیدی آن را طور زیر بر شمرد.

۱-۱-۵. چراغ‌های راهنمایی و کنترل ترافیک

این چراغ‌ها برای هدایت رانندگان و عابران پیاده طراحی شده‌اند و می‌توانند به صورت خودکار یا دستی تنظیم شوند.

۲-۱-۵. حسگرها و دوربین‌ها

این دستگاه‌ها (حسگرها^۲ و دوربین‌ها^۳) برای اندازه‌گیری حجم ترافیک، سرعت خودروها و شرایط جاده به کار می‌روند. داده‌های جمع‌آوری شده به تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بهتر کمک می‌کند

۳-۱-۵. پیام‌های متغیر و تابلوهای اطلاعاتی

این تابلوهای اطلاعاتی همچون وضعیت ترافیک، کارهای تعمیر و نگهداری و دیگر هشدارها را به رانندگان نمایش می‌دهند.

۴-۱-۵. سیستم‌های مدیریت ترافیک

این سیستم‌ها می‌توانند به صورت هوشمند زمان‌بندی چراغ‌ها را براساس وضعیت فعلی ترافیک تنظیم کنند و بهترین مسیرها را به رانندگان پیشنهاد دهند [8].

۲-۵. مزایای سیستم‌های کنترل ترافیک

۱-۲-۵. کاهش زمان سفر

با بهبود جریان ترافیک، مسافران زمان کمتری را در ترافیک سپری می‌کنند.

¹ چراغ راهنمایی LED

² Sensors

³ Cameras

۵-۲-۲. بهبود ایمنی

تنظیمات مناسب می‌تواند از تصادفات جلوگیری کرده و امنیت عابران پیاده و دوچرخه‌سواران را افزایش دهد.

۵-۲-۳. کاهش آلودگی

با کاهش ترافیک، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا نیز کاهش می‌یابد. سیستم‌های کنترل ترافیک نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی شهری و افزایش کارایی زیرساخت‌های شبکه ترانسپورت یا حمل و نقل دارند [3].

۶. چالش‌ها در سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک چهار راهی‌های شهر کابل

مدیریت ترافیک در شهر کابل چالش‌های متعددی دارد که شامل موارد زیر می‌شود:

۶-۱. زیرساخت‌های ناکافی

جاده‌ها و خیابان‌های قدیمی: بسیاری از جاده‌های کابل نیاز به تعمیر و به‌سازی دارند. عرض جاده‌ها کافی نیست و بدون خط‌کشی مناسب، ترافیک به طور غیرمنظم شکل می‌گیرد. موجودیت ترافیک سنگین و مشکل آفرین در شهرهای مزدحم از رشد فزاینده وسایط نقلیه و عدم گسترش کافی مسیرها جهت حرکت وسایط نقلیه ناشی می‌شود. معضل بزرگ ازدحام ترافیک در مناطق شهری را به طور عمده ناشی از ساختار یا نامناسب بودن سرک‌های شهر در عدم گنجایش و کشش وسایل نقلیه‌های موجود می‌دانند اما واقعیت امر این است که عوامل دیگری مانند تجهیزات و سیستم‌ها کنترل ترافیک هستند که در وضعیت ترافیک مؤثرند که در حد خود می‌توانند شرایط مناسب و مطلوب فیزیکی ترافیک را نامناسب یا مشکلات موجود را تشدید کنند،

۶-۲. افزایش تعداد وسایط نقلیه

رشد سریع وسایل نقلیه: با افزایش تعداد خودروها، ترافیک سنگین‌تر شده و معضلات بیشتری به وجود آمده است.

۶-۳. عدم وجود سیستم حمل و نقل عمومی مؤثر

نقص در حمل و نقل عمومی: بدون سیستم حمل و نقل عمومی کارآمد، مردم مجبور به استفاده از خودروهای شخصی می‌شوند که منجر به افزایش ترافیک می‌گردد.

۶-۴. رفتار غیرمنظم رانندگان

عدم رعایت قوانین رانندگی: رانندگان به طور معمول به قوانین رانندگی توجه نمی‌کنند و این موضوع باعث بروز تصادفات و ازدحام می‌شود.

۶-۵. تداخل در ساخت و ساز

پروژه‌های عمرانی: انجام پروژه‌های ساخت و ساز بدون برنامه‌ریزی مناسب، می‌تواند ترافیک را به طور موقت مختل کند.

۶-۶. مسائل امنیتی

وضعیت امنیتی ناپایدار: نگرانی‌های امنیتی نیز بر نحوه مدیریت ترافیک تأثیر دارد و می‌تواند به ایجاد ترافیک سنگین منجر شود.

آموزش و فرهنگ‌سازی: نیاز به افزایش آگاهی و آموزش در زمینه‌ی قوانین و فرهنگ ترافیک وجود دارد.

برای بهبود مدیریت ترافیک در کابل، نیاز به اقدامات جامع و همکاری بین نهادهای مختلف، از جمله دولت و جامعه است.

۸. انواع سیستم‌های کنترل ترافیک:

روش‌های مختلفی برای کنترل اشاره‌های ترافیکی پیشنهاد شده است. در سال‌های اخیر، دیزاین سیستم‌های کنترل ترافیک به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان موارد زیر را اشاره کرد:

- ۱) کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA^۱)
- ۲) طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD^۲)
- ۳) کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبنی بر اینترنت اشیا (IoT^۳) برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام
- ۴) طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCS^۴)
- ۵) کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای) (FPGA^۵)
- ۶) هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک
- ۷) طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD^۶)
- ۸) رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)
- ۹) طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCSS)
- ۱۰) طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرید - (DDITLSH)
- ۱۱) کنترل اشاره‌های ترافیک با سنسورهای بی سیم (TLCWS)
- ۱۲) سیگنال‌های دیجیتال و قابل برنامه‌ریزی
- ۱۳) دوربین‌های نظارت ترافیک
- ۱۴) حسگرهای ترافیک القایی
- ۱۵) سیستم‌های نظارتی و گزارش‌گیری
- ۱۶) نرم‌افزارهای مدیریت ترافیک
- ۱۷) هشداردهنده‌های صوتی و نوری

¹ ATSCA- Automatic Traffic Signal Contoller using Arduino

² NITLCD- Novel Intellegent Traffic light Controller Design

³ IoT- Internet of Things

⁴ DITLCS- Design of Intellegent Traffic Light Controller using Embedded system

⁵ A field-programmable gate array (FPGA)

⁶ Smart Traffic Light Control Design (STLCD)

- ۱۸) سیستم جمع‌آوری داده‌های ترافیک
- ۱۹) سیستم‌های حسگرهای مادون قرمز
- ۲۰) سیستم‌های سیگنال ترافیکی (LED)
- ۲۱) سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)
- ۲۲) طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)

تشخیص و انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ترافیک شهرکابل در عمل، یک امر مهم، پیچیده و خیلی حیاتی است که در امر انجام مراحل انتخاب آن، دقت و تخصص کافی ضرورت است. مسائل، نوعیت سیستم‌ها، وسایل، دستگاه‌های کنترولی آردوینو و دستگاه‌ها با قطعات جانبی و عوامل زیادی در عملکرد سیستم‌های کنترل ترافیک برای مدیریت ترافیک چهار راهی‌ها در شهر کابل تاثیر گذار است، این مسائل از تغییر نگرش، تغییرات ظاهری به دلیل تعدد وسایط نقلیه، انسداد جزئی، در سرک‌های عمومی و تقاطع یا چهار راهی‌ها تشکیل می‌شوند.

۸. مروری بر فکتورهای تاثیرگذار در سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک

در این جا جدولی از انواع سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک موجود یا مورد نیاز برای شهر کابل ارائه می‌شود. این جدول شامل انواع سیستم‌ها، کاربردها، توضیحات و قیمت تقریبی با اطلاعات تکمیلی است. به دلیل شرایط خاص و چالش‌های موجود در کابل، این سیستم‌ها نیاز به تخصص و توجه ویژه دارد.



جدول شماره (۱) لیست از انواع سیستم های کنترل ازدحام ترافیک با کاربرد و مشخصات اساسی آنها

شماره	نام سیستم	نوع سیستم	کاربرد	توضیحات	قیمت تقریبی به دالر
۱	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCS)	سیستم تعبیه شده	پیاده سازی سیستم با اطمینانیت بالا و مصرف کم در نقاط های پیچیده با پروسس سریع دیتا و مدیریت در زمان واقعی	سیستمی که با استفاده از یک سیستم تعبیه شده، کنترل هوشمند چراغ های راهنمایی را فراهم می کند و معمولاً دارای قابلیت های پردازشی و کنترلی پیشرفته است.	۸۰۰۰۰
۲	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	سیستم اینترنت اشیا IoT	جمع آوری شده از طریق اینترنت اشیا. مدیریت هوشمند ترافیک با استفاده از داده های اینترنت اشیا. پاسخ سریع و دقیق به تغییرات ترافیکی. بهبود جریان ترافیک در زمان های اوج ترافیک و رویدادهای خاص.	یک سیستم پیشرفته که از سنسورها و دستگاه های متصل به اینترنت اشیا برای جمع آوری داده ها و کنترل تطبیقی سیگنال های ترافیک استفاده می کند.	۱۰۰۰۰۰
۳	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردیو (ATSCA)	سیستم مبتنی بر مایکروکنترلر آردیو	بهبود جریان ترافیک با استفاده از الگوریتم پیشرفته و هوشمند	سیستمی مدرن و هوشمند که از الگوریتم ها و تکنیک های پیشرفته برای کنترل و بهبود جریان ترافیک استفاده میشود.	۵۰۰۰
۴	پیاده سازی سیستم های ساده و کم هزینه در مناطق کم ترافیک	سیستم مبتنی بر مایکروکنترلر آردیو	بهبود جریان ترافیک با استفاده از الگوریتم پیشرفته و هوشمند	یک سیستم ساده و قابل پیاده سازی با استفاده از آردیو، که برای کنترل ابتدایی سیگنال های ترافیک مناسب است	۸۰۰

انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل (AHP) و (WASPAS)



۳۵۰۰۰۰	سیستمی که از نمودارهای وضعیت برای مدل‌سازی و کنترل رفتار چراغ‌های راهنمایی استفاده می‌کند و قابلیت تطبیق با شرایط مختلف ترافیکی را دارد.	مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و روش‌ها برای کنترل و بهبود عملکرد چراغ‌های راهنمایی	۱۵۰۰۰۰	یک سیستم هوشمند که از داده‌های ترافیکی برای تنظیم زمان‌بندی چراغ‌ها و بهبود جریان ترافیک استفاده می‌کند.	۲۰۰۰۰۰	استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی (مانند یادگیری ماشین) برای تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی استراتژی‌های کنترل ترافیک	۷۰۰۰۰۰	یک سیستم پیش‌رفته که از IC FPGA برای پردازش سریع و کنترل دقیق سیگنال‌های ترافیک استفاده می‌کند.
	مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های ترافیکی پیچیده، تضمین عملکرد صحیح و قابل پیش‌بینی در شرایط مختلف، پیاده‌سازی سیستم‌های انعطاف‌پذیر و قابل تطبیق	ارائه چارچوب‌ها و میتودهای طراحی برای کنترل‌کننده‌های چراغ راهنمایی، بهبود کارایی سیستم‌ها و توسعه الگوریتم‌های جدید.	سیستم هوشمند کنترل ترافیک	سیستم هوشمند کنترل ترافیک	سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی	پیش‌بینی الگوهای ترافیکی و تنظیم زمان‌بندی چراغ‌ها و پاسخ‌اتومات به حوادث و بهبود جریان ترافیکی	پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده کنترل ترافیک با کارایی بالا در تقاطع‌های متراکم با دیتاهای حجیم.	
	سیستم کنترل ترافیک دینامیک	سیستم الگوریتم کنترل ترافیک	سیستم هوشمند کنترل ترافیک	سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی	سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی	سیستم مبتنی بر FPGA	سیستم مبتنی بر FPGA	
	طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCS)	رویکردهای طراحی کنترل‌کننده چراغ راهنمایی (TLCSA ^۱)	هوشمند (STLCD)	طراحی کنترل‌کننده چراغ راهنمایی	هوش مصنوعی در بهینه‌سازی کنترل ترافیک	کنترل‌کننده چراغ راهنمایی واقعی پیش‌رفته مبتنی بر IC (اف بی جی ای FPGA)	کنترل‌کننده چراغ راهنمایی واقعی پیش‌رفته مبتنی بر IC (اف بی جی ای FPGA)	
م		ب	د	ز	ح	ط	ی	

¹ TLCSA- Traffic light controller design approaches



انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل (AHP) و (WASPAS)



۳۰۰	جلوگیری از حوادث و تصادفات	۱۲۵۰۰	برنامه ریزی و شبیه سازی برای بهبود ترافیک	۸۰۰۰	کمک به تصمیم گیری برای بهبود وضعیت ترافیک	۵۰۰	فرآیند فروری در زیر زمین برای تشخیص خودروها	۱۲۰۰	امکان شناسایی تخلفات و تصادفات	۱۶۰۰	امکان کنترل دینامیک بر اساس حجم ترافیک	۳۰۰۰	سیستمی که از سنسورهای بی سیم برای جمع آوری داده های ترافیکی و کنترل چراغ های راهنمایی استفاده می کند.	۲۰۰۰۰	یک سیستم پیشرفته که از ترکیب چندین روش و تکنیک مختلف برای بهبود عملکرد چراغ های راهنمایی استفاده می کند.
هشدار به رانندگان در شرایط خاص	تجزیه و تحلیل داده های ترافیکی	نرم افزار	ارائه گزارش های تحلیلی از وضعیت ترافیک	نظارت و ضبط ترافیک در سرکها	تظیم زمان بندی و الگوهای ترافیکی	سیستم کنترل ترافیک بی سیم	جمع آوری دیتاهای ترافیکی بطور بی سیم، پیاده سازی آسان سیستم، مدیریت ترافیک در محیط دشتوار	سیستم هیبریدی کنترل ترافیک	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرنج - (DDITLSH ¹)	۰	۰	۰	۰		
هشداردهنده های صوتی و نوری	نرم افزارهای مدیریت ترافیک	نرم افزار	سیستم های نظارتی و گزارش گیری	حسگرهای ترافیک القایی	دوربین های نظارت ترافیک	سیگنال های قابل برنامه ریزی	کنترل اشاره های ترافیک با سنسور های بی سیم (TLCWS ²)	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲

¹ Design and development of an improved traffic light system using hybrid

² TLCWS- Trific Light Control using Wireless Sensors



۶۰۰۰۰	ایجاد روشنائی هوشمند و متصل، به بهبود ایمنی، مدیریت ترافیک و کاهش مصرف انرژی، در شهرها کمک میکند	۳۰۰۰۰۰	کمک به کاهش ترافیک و بهبود جریان وسایل نقلیه	۶۵۰	دید بهتر در شب و شرایط جوی نامساعد	۷۰۰	به ویژه در اتوبان‌ها و نقاط شلوغ	۲۰۰۰۰	بررسی الگوهای ترافیک و پیش‌بینی نیازها
	ایجاد روشنائی هوشمند و متصل، به بهبود ایمنی، مدیریت ترافیک و کاهش مصرف انرژی، در شهرها		مدیریت و تحلیل ترافیک در زمان واقعی		راهنمایی خودروها در تقاطع‌ها		تشخیص خودروها در ترافیک		جمع‌آوری و تحلیل دیتاهای ترافیکی
	شبکه ترافیک شهرهای هوشمند		سیستم هوشمند		سیگنال ترافیک		حسگر ترافیکی		سیستم جمع‌آوری دیتا
	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD ^۱)		سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)		سیگنال ترافیکی (LED)		سیستم‌های حسگرهای مادن قرمز		سیستم جمع‌آوری دیتای ترافیکی
۲۶		۲۶		۲۰		۱۶		۱۸	

در این تحقیق، برای انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازحام ترافیک شهر کابل با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و واسپاس، چند نکات مهمی دیگری را نیز با توجه به شرایط خاص کابل باید مدنظر گرفت.

- ✓ ویژگی جغرافیایی و فرهنگی کابل: در نظر گرفتن نیازها و چالش‌های خاص کابل، از جمله زیرساخت‌های موجود و رفتار رانندگان محلی.
- ✓ قیمت‌ها و بودجه: بسته به تأمین‌کنندگان و تجهیزات، قیمت‌ها متفاوت خواهد بود و بهتر است در بررسی اولیه چندین گزینه مورد بررسی قرار گیرد.
- ✓ آموزش و نگهداری: اهمیت آموزش کارکنان برای استفاده بهینه از این سیستم‌ها و نگهداری منظم آن‌ها برای عملکرد پایدار.

¹ SCTNLD- Smart Cities Traffic Network light Design

جدول فوق، 22 نوعی از سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک را نشان می‌دهد که از این جمع، یکی از این سیستم‌ها، نظر به گزینه‌ها و معیارهای مربوطه آن برای شرایط کابل مناسب خواهد بود.

برای بررسی سیستم‌ها و دریافت گزینه مناسب به منظور انتخاب بهترین آنها برای سیستم کنترل ازدحام ترافیک در شهر کابل، نیاز است که این سیستم‌ها تحلیل و رتبه بندی گردد که این عمل توسط روش تحلیل سلسله مراتبی، معیاربندی و توسط روش تحلیل واسپاس، سیستم‌های موجود، رتبه بندی می‌گردند ترکیب این دو روش

مراحل آن، پس از جمع آوری اطلاعات لازم از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان، پیش بینی‌های گروهی از کارشناسان و در موارد ضرورت با مصاحبه حضوری با آنها، در امر تکمیل مرحله بعدی تحقیق مانند تعیین معیارها و گزینه‌های موردانتظار که شناسایی و وزن‌دهی می‌شوند، برای تحلیل آنها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌کنیم، پس از تعیین گزینه‌ها و معیارهای مورد نظر برای مراحل بعدی تحقیق مانند: نرمال سازی، وزن دهی، محاسبه وزن جمعی و محاسبه وزن ضربی و در نهایت رتبه بندی سیستم‌ها از روش تحلیل واسپاس استفاده می‌شود. در عنوان زیر به توضیح روش‌های تحلیل می‌پردازیم.

۹. توضیح روش‌های تحلیل

در این مقاله دو روش تحلیل برای بررسی و انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی‌های شهر کابل با

استفاده می‌کنیم که عبارتند از: روش تحلیل (AHP) و روش تحلیل (WASPAS).

۹-۱. روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process - AHP):

یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط "توماس ال. ساعتی" توسعه داده شده است. این روش تحلیل از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM¹) است که برای حل مسائل پیچیده طراحی شده و به دلیل شفافیت، انعطاف‌پذیری و سادگی محاسباتی بسیار محبوب است.

در این پژوهش، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، شامل شکل متریکس مقایسه زوجی معیارها، تعیین امتیازات یا مقدار اهمیت معیارها، تعیین معیارها و پروسه نارمل سازی و وزن دهی معیارها است.

بر اساس فرمول شماره (۱) برای هر سطح از سلسله مراتب، یک ماتریس مقایسه زوجی (A) تشکیل می‌شود که عناصر متریکس بیانگر اهمیت عنصر i یک معیار نسبت به عنصر j معیار دیگر هستند [5].

¹ Multi-criteria decision-making

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \frac{1}{a_{3n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

در ادامه مقایسه های زوجی، برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از معیارها به روش ساعتی انجام می شود، در چنین مقایسه ها، یک معیار نسبی از ۱ تا ۹ برای مقایسه ی دو عامل به کار می رود که در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. امتیاز ۱ نشان دهنده ی برابری دو عامل و امتیاز ۹ برتری کامل یک عامل بر عامل دیگر را نشان می دهد [5].

جدول شماره (۲) امتیازات یا مقدار اهمیت معیارها نسبت با یکدیگر

توضیح	شدت اهمیت
اهمیت برابر	۱
اهمیت متوسط	۳
اهمیت زیاد	۵
اهمیت خیلی زیاد	۷
اهمیت فوق العاده زیاد	۹

۹-۱-۱. تعیین معیارها

در این تحقیق، چند معیار مهم که نقش اساسی در سیستم های کنترل ترافیک دارند را در نظر گرفته ایم که عبارت اند از هزینه سیستمها، طول عمر سیستمها، دسترسی سیستمها، سهولت استفاده از سیستمها، انعطاف پذیری سیستمها، مصرف برق سیستمها، مصرف اینترنت سیستمها، عملکرد سیستمها و هوشمندی آنها است. برای تحلیل این معیارها به روش سلسله مراتبی (AHP)، ۹ مقدار اهمیت را در نظر گرفته می گیریم که با انجام مقایسه های زوجی معیارها مقادیر اهمیت نسبی معیارها بدست آمده است که در جدول شماره (۳) درج گردیده.



جدول شماره (۳) متریکس مقایسه زوجی معیارها

معیار	هزینه	طول عمر	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	مصرف برق	مصرف اینترنت	عملکرد	هوشمندی
هزینه	1.00	0.14	0.17	6.00	0.14	0.20	6.00	0.14	0.20
طول عمر	7.00	1.00	0.20	6.00	0.25	0.17	7.00	0.13	0.17
دسترسی	6.00	5.00	1.00	6.00	5.00	0.20	6.00	0.14	0.20
سهولت استفاده	0.17	0.17	0.17	1.00	0.20	0.33	5.00	0.14	0.20
انعطاف پذیری	7.00	4.00	0.20	5.00	1.00	5.00	7.00	0.17	5.00
مصرف برق	5.00	6.00	5.00	3.00	0.20	1.00	6.00	0.14	0.17
مصرف اینترنت	0.17	0.14	0.17	0.20	0.14	0.17	1.00	7.00	0.14
عملکرد	7.00	8.00	7.00	7.00	6.00	7.00	0.14	1.00	7.00
هوشمندی	5.00	6.00	5.00	5.00	0.20	6.00	7.00	0.14	1.00
مجموع	38.33	30.45	18.90	39.20	13.14	20.07	45.14	9.01	14.08

۹-۱-۲. وزن دهی و نارمل سازی معیارها

وزن دهی (ارزش دهی) معیارها به روش AHP توسط فرمول شماره (۳) صورت میگیرد که در آن W_i ارزشها یا وزن های معیارها و n_{ij} نارمل سازی مقادیر اهمیت یک معیار نسبت به معیار دیگر را نشان می دهد که توسط فرمول شماره (۲) محاسبه میگردد [4].

در این قسمت وزن هر یک از معیارها را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و ماتریس مقایسات زوجی بدست آمده است، طوری که در جدول (۴) دیده میشود بیشترین وزن (ارزش) ۲۷٪ را معیار عملکرد سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک نشان داده است، بعد به ترتیب، معیار انعطاف پذیری سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۱۵٪، هوشمندی سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۱۴٪، دسترسی سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۱۲٪، مصرف برق سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۱۰٪، مصرف اینترنت سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۹٪، طول عمر سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۷٪، هزینه سیستم

سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۴٪ و بالاخره سهولت استفاده از سیستمهای کنترل ازدحام ترافیک ۲٪ وزن دهی گردیده است.

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

در این جا، n_{ij} مقدار اهمیت نارمل شده یک معیار نسبت به معیار دیگر، a_{ij} عناصر ماتریس مقایسه زوجی یک معیار نسبت به معیار دیگر است.

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

در این جا، w_i اهمیت وزن یک معیار نسبت به معیار دیگر، n_{ij} مقدار اهمیت نارمل شده یک معیار نسبت به معیار دیگر است.

جدول (۴) مربوط به جدول نرمال شده معیارها و وزن دهی با ارزش هر معیار به روش AHP

معیار	هزینه	طول عمر	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	مصرف برق	مصرف اینترنت	عملکرد	هوشمندی	ارزش
هزینه	0.03	0.00	0.01	0.15	0.01	0.01	0.13	0.02	0.01	4%
طول عمر	0.18	0.03	0.01	0.15	0.02	0.01	0.16	0.01	0.01	7%
دسترسی	0.16	0.16	0.05	0.15	0.38	0.01	0.13	0.02	0.01	12%
سهولت استفاده	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.11	0.02	0.01	2%
انعطاف پذیری	0.18	0.13	0.01	0.13	0.08	0.25	0.16	0.02	0.36	15%
مصرف برق	0.13	0.20	0.26	0.08	0.02	0.05	0.13	0.02	0.01	10%
مصرف اینترنت	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.78	0.01	9%
عملکرد	0.18	0.26	0.37	0.18	0.46	0.35	0.00	0.11	0.50	27%
هوشمندی	0.13	0.20	0.26	0.13	0.02	0.30	0.16	0.02	0.07	14%
مجموع										100%



۹-۲. روش تحلیل واسپاس (WASPAS)

روش واسپاس (WASPAS) یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای ارزیابی و انتخاب گزینه‌ها در شرایط پیچیده و چندبعدی به کار می‌رود. این روش پس از تحلیل روش سلسله مراتبی استفاده می‌گردد که در آن، ابتدا، گزینه‌های مثبت مفید و گزینه‌های منفی غیر مفید، محاسبه و تحلیل می‌گردد، پس از آن، پروسه نارمل سازی گزینه‌ها و معیارها انجام می‌شود و محاسبه دو پارامتر مهمی دیگر نیز در این روش انجام می‌شود که شامل محاسبه مجموع وزنی گزینه‌ها یا (WSP) و محاسبه ضرب وزنی گزینه‌ها یا (PWM) است. در نهایت، ترکیب این دو محاسبه که در اصل همان واسپاس است برای رتبه بندی معیارها و گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این دو محاسبه در واسپاس برای رتبه بندی سیستم‌ها موثر است در مرحله رتبه بندی از دیتای تحلیل شده این بخش استفاده می‌شود.

در ادامه به توضیح هر کدام از بخش‌های فوق می‌پردازیم.

۹-۲-۱. گزینه‌های مثبت مفید

میزان مفیدیت یا برتری یک گزینه نسبت بر سایر گزینه‌ها را نشان می‌دهد که توسط فرمول شماره (۴) محاسبه می‌شود که ما به کمک اکسیل فرمول بندی و محاسبه کرده ایم [۶].

$$x_{ij}^+ = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (۴)$$

در این رابطه، x_{ij}^+ گزینه مثبت مفید است که مقدار آن وابسته به عناصر x_{ij} یا گزینه‌های است که در تحلیل واسپاس برای پروسه نارمل سازی استفاده می‌شود، کمک می‌کند.

۹-۲-۲. گزینه‌های منفی غیر مفید

میزان ضعف یک گزینه بر سایر گزینه‌ها را نشان می‌دهد که توسط فرمول (۵) محاسبه میشود که ما به کمک اکسیل فرمول بندی و محاسبه کرده ایم [۶].

$$x_{ij}^- = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (۵)$$

در این رابطه، x_{ij}^- گزینه منفی غیر مفید است و مقدار آن وابسته به عناصر x_{ij} یا گزینه‌های است که در تحلیل واسپاس برای پروسه نارمل سازی استفاده می‌شود، کمک می‌کند.

جدول (۵) بخش تشکیل مترکس گزینه‌ها و معیارها به روش WASPAS بر اساس گزینه‌های مثبت مفید و گزینه‌های منفی غیر مفید.

شماره	معیار	قیمت (دالر)	طول عمر (سال)	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	مصرف برق (Kwh)	مصرف اینترنت (GB)	عملکرد	هوشمندی
1	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA)	800	8	7	7	4	175	3	5	3
2	طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD)	5000	11	4	6	6	300	30	7	6
3	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مینی بر اینترنت اشیا برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	10000	10	3	5	8	600	175	8	8
4	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCS)	80000	10	5	6	6	250	20	7	6
5	کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای) (FPGA)	70000	13	2	4	5	125	12.5	6	5
6	هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک	200000	9	3	5	9	1250	300	9	9
7	طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD)	150000	10	4	6	7	300	60	8	8
8	رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)	60000	9	6	7	4	125	12.5	6	4
9	طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCS)	350000	10	5	5	5	250	20	6	5
10	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرید - (DDITLSH)	20000	12	4	6	7	500	65	7	7



11	کنترل اشاره های ترافیک با سنسور های بی سیم (TLCWS)	3000	11	3	5	7	3	27.5	175	7
12	سیگنال های دیجیتال و قابل برنامه ریزی	2500	10	6	8	4	27.5	175	4	7
13	دوربین های نظارت ترافیک	2000	9	5	7	8	2750	3000	6	7
14	حسگرهای ترافیک القایی	1000	10	4	6	4	5.5	100	4	7
15	سیستم های نظارتی و گزارش گیری	15000	10	5	5	7	550	1150	6	7
16	نرم افزارهای مدیریت ترافیک	20000	7	4	4	6	175	300	4	7
17	هشداردهنده های صوتی و نوری	500	10	7	9	3	5.5	75	5	3
18	سیستم جمع آوری داده های ترافیک	35000	10	4	4	6	275	300	7	6
19	سیستم های حسگرهای مادون قرمز	1200	8	3	5	4	27.5	100	6	4
20	سیستم های سیگنال ترافیکی (LED)	1000	8	8	9	2	2.5	35	5	3
21	سیستم های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)	50000	13	3	4	9	2750	3000	9	9
22	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)	60000	13	2	3	8	2750	3000	8	8

۹-۲-۳. نرمال سازی گزینه ها و معیارها

در روش تحلیل و اسپاس، پس از تشکیل متریکس بر اساس گزینه های مثبت مفید و گزینه های منفی غیر مفید، نرمال سازی گزینه ها و معیارها صورت می گیرد که در آن سیستم های مورد آزمایش، با توجه به گزینه های مختلف قیمت های متفاوت را می گیرند که در جدول ذیل ترتیب گردیده است.

جدول (۶) پروسه نرمال سازی گزینه‌ها و معیارها

شماره	معیار	قیمت	طول عمر	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	مصرف برق	مصرف انرژی	عملکرد	هوشمندی
1	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA)	0.6250	0.6154	0.8750	0.7778	0.4444	0.2000	0.8333	0.5556	0.3333
2	طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD)	0.1000	0.8462	0.5000	0.6667	0.6667	0.1167	0.0833	0.7778	0.6667
3	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبنی بر اینترنت اشیا برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	0.0500	0.7692	0.3750	0.5556	0.8889	0.0583	0.0143	0.8889	0.8889
4	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCES)	0.0063	0.7692	0.6250	0.6667	0.6667	0.1400	0.1250	0.7778	0.6667
5	کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای) (FPGA)	0.0071	1.0000	0.2500	0.4444	0.5556	0.2800	0.2000	0.6667	0.5556
6	هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک	0.0025	0.6923	0.3750	0.5556	1.0000	0.0280	0.0083	1.0000	1.0000
7	طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD)	0.0033	0.7692	0.5000	0.6667	0.7778	0.1167	0.0417	0.8889	0.8889
8	رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)	0.0083	0.6923	0.7500	0.7778	0.4444	0.2800	0.2000	0.6667	0.4444



انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی‌های
شهر کابل با استفاده از روش‌های تحلیل (AHP) و (WASPAS)



0.6667	0.3333	0.6667	0.7778	0.4444	0.8889	0.4444	0.7778	0.7778	0.5556	9	طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCSS)
0.7778	0.5556	0.7778	0.8889	0.6667	1.0000	0.6667	0.7778	0.7778	0.6667	10	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرید - (DDITLSH)
0.0091	0.4545	0.0143	0.0045	0.4545	0.0009	0.0909	0.0909	0.0909	0.1250	11	کنترل اشاره‌های ترافیک با سنسورهای بی‌سیم (TLCWS)
0.1167	0.4667	0.1167	0.0304	0.3500	0.0117	0.2000	0.2000	0.2000	0.1400	12	سیگنال‌های دیجیتال و قابل برنامه‌ریزی
0.6667	0.3333	0.6667	0.6667	0.4444	0.6667	0.3333	0.7778	0.7778	0.5556	13	دوربین‌های نظارت ترافیک
0.4444	1.0000	0.4444	0.5556	0.6667	0.7778	0.8889	0.5556	0.6667	0.5556	14	حسگرهای ترافیک القایی
0.5000	0.8750	0.5000	0.6250	0.5000	0.6250	0.7500	0.3750	0.5000	0.6250	15	سیستم‌های نظارتی و گزارش‌گیری
0.7692	0.7692	0.5385	0.7692	0.7692	0.6923	0.7692	0.8462	0.9231	0.7692	16	نرم‌افزارهای مدیریت ترافیک
0.0143	1.0000	0.0250	0.0333	0.5000	0.2500	0.2000	0.1667	0.0250	0.0014	17	هشداردهنده‌های صوتی و نوری
0.6667	0.3333	0.6667	0.6667	0.4444	0.6667	0.3333	0.7778	0.7778	0.5556	18	سیستم جمع‌آوری داده‌های ترافیک

0.4444	0.6667	0.0909	0.3500	0.4444	0.5556	0.3750	0.6154	0.4167	سیستم‌های حسگرهای مادون قرمز	19
0.3333	0.5556	1.0000	1.0000	0.2222	1.0000	1.0000	0.6154	0.5000	سیستم‌های سیگنال ترافیکی (LED)	20
1.0000	1.0000	0.0009	0.0117	1.0000	0.4444	0.3750	1.0000	0.0100	سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)	21
0.8889	0.8889	0.0009	0.0117	0.8889	0.3333	0.2500	1.0000	0.0083	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)	22

۹-۲-۴. محاسبه مجموع وزنی گزینه‌ها (WSM)

بعد از اینکه گزینه‌ها و معیارهای نرمال سازی گردید در این بخش نیاز است که مجموع وزنی گزینه‌های موجود پس از نرمالیزه شدن، محاسبه گردد، مجموع وزنی گزینه‌ها توسط فرمول ذیل محاسبه میگردد [۴].

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}^* \quad (6)$$

در این جا، Q_i ، $Q_i^{(1)}$ ، $Q_i^{(WSM)}$ ، مجموع وزنی گزینه‌ها، w_j ، وزن عناصر در جدول معیارها و گزینه‌هاست.

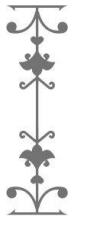
$$Q_i^{WSM} = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (7)$$

مجموع وزنی گزینه‌ها در اکسیل فرمول بندی و محاسبه گردیده است که در جدول (۷) به وضاحت نشان داده شده است.

جدول (۷) محاسبه مجموع وزنی گزینه‌ها (WSM)

شماره	معیار	قیمت	طول عمر	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	صرف برق	صرف اینترنت	عملکرد	هوشمندی	WSM
1	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA)	0.0261	0.0402	0.1050	0.0187	0.0645	0.0199	0.0789	0.1488	0.0473	0.5494
2	طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD)	0.0042	0.0552	0.0600	0.0161	0.0968	0.0116	0.0079	0.2084	0.0945	0.5546
3	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبتنی بر اینترنت اشیا برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	0.0021	0.0502	0.0450	0.0134	0.1290	0.0058	0.0014	0.2382	0.1260	0.6110
4	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCES)	0.0003	0.0502	0.0750	0.0161	0.0968	0.0139	0.0118	0.2084	0.0945	0.5669
5	کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای (FPGA)	0.0003	0.0652	0.0300	0.0107	0.0806	0.0278	0.0189	0.1786	0.0788	0.4910
6	هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک	0.0001	0.0452	0.0450	0.0134	0.1451	0.0028	0.0008	0.2679	0.1418	0.6621
7	طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD)	0.0001	0.0502	0.0600	0.0161	0.1129	0.0116	0.0039	0.2382	0.1260	0.6190
8	رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)	0.0003	0.0452	0.0900	0.0187	0.0645	0.0278	0.0189	0.1786	0.0630	0.5071

انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل (AHP) و (WASPAS)



0.5336	0.5550	0.5195	0.5886	0.5311	0.6413	0.4885	0.5806	0.5795	0.5024
0.0945	0.0473	0.0945	0.1103	0.0630	0.1260	0.0630	0.1103	0.1103	0.0788
0.2084	0.1488	0.2084	0.2382	0.1786	0.2679	0.1786	0.2084	0.2084	0.1786
0.0009	0.0430	0.0014	0.0004	0.0430	0.0001	0.0086	0.0086	0.0036	0.0118
0.0116	0.0464	0.0116	0.0030	0.0348	0.0012	0.0199	0.0199	0.0070	0.0139
0.0968	0.0484	0.0968	0.0968	0.0645	0.0968	0.0484	0.1129	0.1129	0.0806
0.0107	0.0241	0.0107	0.0134	0.0161	0.0187	0.0214	0.0134	0.0161	0.0134
0.0600	0.1050	0.0600	0.0750	0.0600	0.0750	0.0900	0.0450	0.0600	0.0750
0.0502	0.0502	0.0351	0.0502	0.0502	0.0452	0.0502	0.0552	0.0602	0.0502
0.0006	0.0418	0.0010	0.0014	0.0209	0.0105	0.0084	0.0070	0.0010	0.0001
	هشدار دهنده‌های صوتی و نوری	نرم‌افزارهای مدیریت ترافیک	سیستم‌های نظارتی و گزارش‌گیری	حسگرهای ترافیک القایی	دوربین‌های نظارت ترافیک	سیگنال‌های دیجیتال و قابل برنامه‌ریزی	کنترل اشاره‌های ترافیک با سنسورهای بی سیم (TLCWS)	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبریدج - (DDITLSH)	طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCS)
18	17	16	15	14	13	12	11	10	9



0.5980	0.6774	0.6275	0.4655	سیستم های حسگرهای مادون قرمز	19
0.1260	0.1418	0.0473	0.0630	سیستم های سیگنال ترافیکی (LED)	20
0.2382	0.2679	0.1488	0.1786	سیستم های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)	21
0.0001	0.0001	0.0946	0.0086	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)	22
0.0012	0.0012	0.0994	0.0348		
0.1290	0.1451	0.0323	0.0645		
0.0080	0.0107	0.0241	0.0134		
0.0300	0.0450	0.1200	0.0450		
0.0652	0.0652	0.0402	0.0402		
0.0003	0.0004	0.0209	0.0174		

۹-۲-۵. محاسبه ضرب وزنی گزینه ها (WPM)

بعد از اینکه گزینه ها و معیارها نرمال سازی گردید، در این بخش نیاز است که ضرب وزنی گزینه های نرمالیزه شده محاسبه گردد، ضرب وزنی گزینه ها توسط فرمول های (۸) و (۹) محاسبه میگردد [۵].

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (8)$$

در این جا، $Q_i^{(WPM)} = Q_i^{(2)}$ ، ضرب وزنی گزینه ها، W_j ، وزن عناصر در جدول معیارها و گزینه هاست.

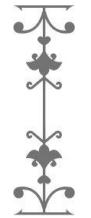
$$Q_i^{WPM} = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (9)$$

حاصل ضرب وزنی گزینه ها در اکسیل فرمول بندی و محاسبه گردیده است که در جدول (۸) به وضاحت نشان داده شده است.



جدول (۸) محاسبه ضرب وزنی گزینه‌ها (WPM)

شماره	معیار	قیمت	طول عمر	دسترسی	سهولت استفاده	انعطاف پذیری	مصرف برق	مصرف انرژی	عملکرد	هوشمندی	WPM
1	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردیوینو (ATSCA)	0.9805	0.9799	0.9944	0.9832	0.9832	0.9140	0.9013	0.9895	0.9551	0.79019
2	طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD)	0.9082	0.9930	0.9714	0.9832	0.9832	0.9140	0.9013	0.9895	0.9832	0.67874
3	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبنی بر اینترنت اشیا برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	0.8822	0.9891	0.9598	0.9757	0.9951	0.8879	0.8372	0.9951	0.9951	0.59853
4	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده - (DITLCES)	0.8087	0.9891	0.9805	0.9832	0.9832	0.9210	0.9167	0.9895	0.9832	0.62278
5	کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای (FPGA)	0.8133	1.0000	0.9437	0.9666	0.9757	0.9481	0.9349	0.9832	0.9757	0.61549
6	هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک	0.7783	0.9847	0.9598	0.9757	1.0000	0.8611	0.8185	1.0000	1.0000	0.50587
7	طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD)	0.7877	0.9891	0.9714	0.9832	0.9895	0.9140	0.8755	0.9951	0.9951	0.5835
8	رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)	0.8185	0.9847	0.9880	0.9895	0.9666	0.9481	0.9349	0.9832	0.9666	0.64174





انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های
شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل (AHP) و (WASPAS)



0.55847	0.82043	0.57399	0.54793	0.78065	0.54631	0.69786	0.707	0.61712	0.56857
0.9832	0.9551	0.9832	0.9895	0.9666	0.9951	0.9666	0.9895	0.9895	0.9757
0.9895	0.9757	0.9895	0.9951	0.9832	1.0000	0.9832	0.9895	0.9895	0.9832
0.8215	0.9676	0.8372	0.7980	0.9676	0.7461	0.9046	0.9046	0.8726	0.9167
0.9140	0.9686	0.9140	0.8641	0.9570	0.8301	0.9349	0.9349	0.8947	0.9210
0.9832	0.9551	0.9832	0.9832	0.9666	0.9832	0.9551	0.9895	0.9895	0.9757
0.9666	1.0000	0.9666	0.9757	0.9832	0.9895	0.9951	0.9757	0.9832	0.9757
0.9714	0.9944	0.9714	0.9805	0.9714	0.9805	0.9880	0.9598	0.9714	0.9805
0.9891	0.9891	0.9744	0.9891	0.9891	0.9847	0.9891	0.9930	0.9967	0.9891
0.8372	1.0000	0.8570	0.8674	0.9714	0.9437	0.9349	0.9278	0.8570	0.7603
طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCSS)	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرید - (DDITLSH)	کنترل اشاره های ترافیک با سنسور های بی سیم (TLCWS)	سیگنال های دیجیتال و قابل برنامه ریزی	دوربین های نظارت ترافیک	حسگرهای ترافیک القایی	سیستم های نظارتی و گزارش گیری	نرم افزارهای مدیریت ترافیک	هشدار دهنده های صوتی و نوری	سیستم جمع آوری داده های ترافیک
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

0.70358	0.9666	0.9832	0.9046	0.9570	0.9666	0.9757	0.9598	0.9799	0.9640	سیستم‌های حسگرهای مادون قرمز	19
0.83296	0.9551	0.9757	1.0000	1.0000	0.9390	1.0000	1.0000	0.9799	0.9714	سیستم‌های سیگنال ترافیکی (LED)	20
0.47391	1.0000	1.0000	0.7461	0.8301	1.0000	0.9666	0.9598	1.0000	0.8248	سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)	21
0.45017	0.9951	0.9951	0.7461	0.8301	0.9951	0.9551	0.9437	1.0000	0.8185	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)	22

۹-۲-۶. پروسه رتبه بندی سیستم های کنترل ازدحام ترافیک

در این قسمت به بخش انتخاب سیستم برای "انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و واسپاس (WASPAS)" از رتبه بندی گزینه ها (مجموع وزنی (WSM)، ضرب وزنی (WPM) و ترکیب آنها (WASPAS) استفاده مینمایم.

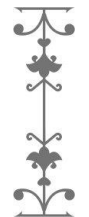
رتبه بندی خالص به روش WASPAS پس از محاسبات که از رابطه های (۶) و (۷) برای مجموع وزنی گزینه ها (Q_i^1) در جدول شماره (۷) و رابطه های (۸) و (۹) برای ضرب وزنی گزینه ها (Q_i^2) در جدول شماره (۸) بدست آمده است صورت میگیرد زیرا مقادیر متذکره در امر تحلیل و انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک نقش کلیدی داشته و در روابط (۱۰) و (۱۱) ترکیب آن ها مارا در این راستا کمک میکند.

Q_i را ترکیب مجموع وزنی گزینه ها و ضرب وزنی گزینه ها در روش تحلیل واسپاس (WASPAS) میگویند که در این روابط $\lambda = 0.5$ در نظر شده است.

$$Q_i = \lambda \cdot Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) \cdot Q_i^{(2)} \quad (10)$$

$$Q_i = \lambda Q_i^{WSM} + (1 - \lambda) Q_i^{WPM} \quad (11)$$

در این مرحله نتیجه کامل در جدول شماره (۹) نشان داده شده است پس از انجام محاسبات، گزینه ها (مجموع وزنی WSM، ضرب وزنی WPM) رتبه بندی می شوند. در این جدول معمولاً گزینه ای که کمترین مقدار از (WASPAS) را دارد، بهترین گزینه محسوب می شود.



بنأ طوری که در جدول شماره (۹) دیده میشود، رتبه اول، گزینه شماره (۲۰) "سیستم سیگنال ترافیکی با LED" بهترین گزینه "انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و واسپاس (WASPAS)" می باشد. رتبه دوم، گزینه شماره (۱)، "کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیکی با استفاده از آردوینو (ATSCA)" و رتبه سوم، گزینه شماره (۱۷) هشدار دهنده های صوتی و نوری، می باشد.

جدول (۹) بخش رتبه بندی گزینه ها (مجموع وزنی WSM، ضرب وزنی WPM و ترکیب آنها WASPAS).

رتبه بندی	معیار			Qi	λ	Q(2)	Q(1)		
	WASPAS	WPM	WSM						
2	3	14	0.69	0.40	0.79	0.55	کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA)	1	
6	8	13	0.62	0.50	0.68	0.55	طراحی سیستم مدرن و هوشمند کنترل اشاره ترافیکی (NITLCD)	2	
7	13	6	0.60	0.50	0.60	0.61	کنترل سیگنال ترافیک تطبیقی مبنی بر اینترنت اشیا برای بهینه سازی جریان ترافیک و کاهش ازدحام	3	
10	10	11	0.59	0.50	0.62	0.57	طراحی کنترلر چراغ راهنمایی هوشمند با استفاده از سیستم تعبیه شده (DITLCES)	4	
18	12	20	0.55	0.50	0.62	0.49	کنترلر چراغ راهنمایی واقعی پیشرفته مبتنی بر IC (اف پی جی ای) (FPGA)	5	
14	20	2	0.58	0.50	0.51	0.66	هوش مصنوعی در بهینه سازی کنترل ترافیک	6	
8	14	5	0.60	0.50	0.58	0.62	طراحی کنترل چراغ راهنمایی هوشمند (STLCD)	7	
16	9	18	0.57	0.50	0.64	0.51	رویکردهای طراحی کنترل کننده چراغ راهنمایی (TLCDA)	8	
21	16	19	0.54	0.50	0.57	0.50	طراحی سیستم کنترل چراغ راهنمایی با استفاده از نمودار وضعیت (DTLCSS)	9	
9	11	10	0.60	0.50	0.62	0.58	طراحی و توسعه سیستم بهبود یافته چراغ راهنمایی با استفاده از هیبرید (DDITLSH)	10	
5	5	9	0.64	0.50	0.71	0.58	کنترل اشاره های ترافیک با سنسور های بی سیم (TLCWS)	11	

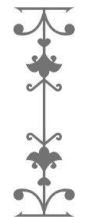
12	7	21	0.59	0.50	0.70	0.49	سیگنال‌های دیجیتال و قابل برنامه‌ریزی	12
11	19	3	0.59	0.50	0.55	0.64	دوربین‌های نظارت ترافیک	13
4	4	16	0.66	0.50	0.78	0.53	حسگرهای ترافیک القایی	14
17	18	8	0.57	0.50	0.55	0.59	سیستم‌های نظارتی و گزارش‌گیری	15
19	15	17	0.55	0.50	0.57	0.52	نرم‌افزارهای مدیریت ترافیک	16
3	2	12	0.69	0.50	0.82	0.55	هشداردهنده‌های صوتی و نوری	17
20	17	15	0.55	0.50	0.56	0.53	سیستم جمع‌آوری داده‌های ترافیک	18
13	6	22	0.58	0.50	0.70	0.47	سیستم‌های حسگرهای مادون قرمز	19
1	1	4	0.73	0.50	0.83	0.63	سیستم‌های سیگنال ترافیکی (LED)	20
15	21	1	0.58	0.50	0.47	0.68	سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (ITS)	21
22	22	7	0.52	0.50	0.45	0.60	طراحی چراغ شبکه ترافیک شهرهای هوشمند (SCTNLD)	22

۱۰. نتایج و بحث:

در این تحقیق، سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک مورد بررسی، تحلیل و رتبه بندی قرار گرفت، تحلیل و رتبه بندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک، توسط دو روش تحلیل (سلسله مراتبی AHP و واسپاس WASPAS) طی مراحل مختلف انجام شده است.

معضل بزرگ ازدحام ترافیک در مناطق شهری را به طور عمده ناشی از ساختار یا نامناسب بودن سرک‌های شهر در عدم گنجایش و کشش وسایط نقلیه موجود می‌دانند اما واقعیت امر این است که عوامل دیگری مانند تجهیزات و سیستم‌ها کنترل ترافیک هستند که در وضعیت ترافیک مؤثرند که در حد خود می‌توانند شرایط مناسب و مطلوب فیزیکی ترافیک را نامناسب یا مشکلات موجود را تشدید کنند.

سیستم کنترل ترافیک به مجموعه‌ای از ابزارهای تکنولوژیکی و روش‌های اطلاق می‌شود که برای مدیریت و بهبود جریان ترافیک در معابر عمومی، چهار راهی‌ها یا نقاط تقاطع طراحی شده است. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش ترافیک، افزایش ایمنی و بهبود کارایی شبکه‌های ترانسپورت یا حمل و نقل است. مکانیسم کنترل ترافیک مجموعه‌ای از علائم است که در تقاطع جاده‌ها و گذرگاه‌های عابر پیاده قرار می‌گیرد و اکنون بخش مهمی از زندگی روزمره ما به ویژه در سرک‌های شهر است.



سیستم های مورد بررسی، دارای اجزای کلیدی هستند مانند: چراغ‌های راهنمایی و کنترل ترافیک، LED ها، حسگرها و دوربین‌ها، پیام‌های متغیر و تابلوهای اطلاعاتی، سیستم‌های مدیریت ترافیک، آی سی های متعدد برای هوشمند سازی سیستم ها.

مزایای سیستم‌های کنترل ترافیک شامل بهبود جریان ترافیک، کاهش زمان معطلی در چهار راهی ها، بهبود ایمنی برای وسایط نقلیه، عابران پیاده و موتورسایکل ها و بایسکل سواران، کاهش آلودگی ها.

در حالت کلی، افزایش ازدحام جاده‌ها، زمان سفر، تعداد تصادفات، انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف سوخت از پیامدهای معضلات و چالش‌های متذکره است، زیرا در حال حاضر، کنترل ترافیک در کابل بیشتر به روش‌های سنتی و دستی انجام می‌شود. پلیس ترافیک در نقاط کلیدی، تردد را کنترل می‌کند، که این روش‌ها کارایی لازم را ندارند، از اینکه سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک هوشمند و بروز نیستند از یک طرف و از جانب دیگر پیچیده‌گی‌ها، گزینه‌ها و معیارهای متعدد سیستم‌های کنترل ترافیک کابل را متاثر ساخته است، بنابراین روش‌ها و سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک شهر کابل مستلزم یک تحقیق با رویکرد ترکیبی، کمی و مقایسه‌ای از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که در این تحقیق به خوبی از آن استفاده شده است.

در این پژوهش به تعداد ۲۲ نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر کابل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و هر سیستم با گزینه‌ها و معیارهای مختلف مقایسه گردیده است که شامل: هزینه، طول عمر، دسترسی، سهولت استفاده، انعطاف پذیری، مصرف برق، مصرف اینترنت، عملکرد و هوشمندی سیستم‌ها است.

تحلیل و رتبه بندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک، با استفاده از دو روش تحلیل؛ روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تحلیل واسپاس (WASPAS) انجام شد، روش اول، که یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری است و برای حل مسائل پیچیده طراحی شده و به دلیل شفافیت، انعطاف‌پذیری و سادگی محاسباتی که بسیار محبوب است؛ در این روش، ابتدا برای سیستم‌های متذکره، یک ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد که در آن اهمیت نسبی هر کدام از معیارها به روش ساعتی صورت گرفت، این امر در تعیین معیارهای متعدد، تاثیرگذار و مورد انتظار در تحلیل سیستم‌ها کمک میکند، پس از تعیین معیارها، پروسه ارزش یا وزن دهی و نارمل سازی آنها صورت گرفت.

در این مرحله نتایج نشان میدهد که بیشترین وزن (ارزش) را معیار عملکرد سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۲۷٪ نشان داده است، بعد به ترتیب، معیار انعطاف پذیری سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۵٪، هوشمندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۴٪، دسترسی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۲٪، مصرف برق سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۰٪، مصرف اینترنت سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۹٪، طول عمر سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۷٪، هزینه سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۴٪ و بالاخره سهولت استفاده از سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۲٪ وزن دهی گردیده است.





در روش دوم، پس از تعیین گزینه های مثبت مفید و گزینه های منفی غیر مفید؛ گزینه ها و معیارها نرمال سازی شده است، این مرحله در خصوص محاسبات متعدد، مانند: محاسبه مجموع وزنی گزینه ها و محاسبه ضرب وزنی گزینه ها تاثیر گذار بوده که پس از آن ترکیب این دو محاسبه متذکره منتج به تحلیل روش واسپاس شد که برای رتبه بندی سیستم های کنترل ازدحام ترافیک مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق، رتبه بندی سیستم ها توسط این روش، نشان می دهد که سیستم های سیگنال ترافیکی (LED) بهترین گزینه در بلند مدت است.

از آنجا که ترافیک شهر کابل ویژگی های خاصی دارد و سیستم های کنترل ازدحام ترافیک، به دلیل شرایط خاص جغرافیایی، اقتصادی، و اجتماعی این شهر با چالش های زیادی مواجه هستند و بررسی ها نیز نشان میدهند که سیستم های کنترل ازدحام ترافیک متعددی (رایج و سنتی) طراحی و تطبیق گردیده است، به نظر میرسد که این سیستم ها تا هنوز چالش ها و معضلات ترافیکی را بطور کامل برطرف کرده نتوانسته اند و تحقیقات در این عرصه کم بوده و جا برای پیشرفت و انکشاف تکنالوژی آن بطور وسیع وجود دارد. با وجود چالش ها، برخی تلاش ها برای بهبود وضعیت ترافیک در حال انجام است. نصب اشاره های ترافیکی، پروژه های عمران و زیرساختی، به منظور بهبود عبور و مرور و افزایش ایمنی ترافیک وجود دارد، هرچند که این پروژه ها نیاز به توجه و سرمایه گذاری بیشتری دارند.

روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، یک روش تصمیم گیری چندمعیاره است که در امر تصمیم گیری کمک میکند به خصوص در موقعیت هایی که نیاز به ارزیابی گزینه ها بر اساس معیارهای مختلف وجود دارد، کاربرد وسیعی دارد. همچنان، روش تحلیل واسپاس (WASPAS) نیز یک تکنیک تصمیم گیری چندمعیاره است که برای ارزیابی و انتخاب گزینه ها در شرایط پیچیده و چندبعدی در کنار روش تحلیل سلسله مراتبی به کار می رود که برای انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر این روش اهمیت پیدا میکند. در این روش به معیارها و گزینه های که در روش سلسله مراتبی شنایی و وزن دهی شدند، پروسه نارمل سازی براساس گزینه های مثبت مفید و گزینه های منفی غیر مفید انجام شد که با استفاده از این امر، توانستیم سیستم های کنترل ازدحام را رتبه بندی و بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام شهر کابل را در بین ۲۲ نوع سیستم، انتخاب کنیم.

این تحقیق که با هدف بررسی، تحلیل و رتبه بندی سیستم های کنترل ازدحام ترافیک با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تحلیل واسپاس (WASPAS) انجام شد، نشان میدهد که، با توجه به شرایط خاصی شهر کابل، بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر کابل، سیستم کنترل سیگنال ترافیکی با LED است.

۱۱. نتیجه گیری:

از تحقیقات انجام شده چنین نتیجه میگیریم:

این تحقیق با هدف بررسی، تحلیل و رتبه بندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک در شهر کابل با تعیین گزینه‌ها و معیارهای مختلف و تاثیر گذار در سیستم‌ها، به منظور انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در امر بهبود جریان ترافیک در چهار راهی‌ها یا نقاط تقاطع که انجام شده است نشان میدهد، که برای "انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل از دو روش تحلیل (سلسله مراتبی (AHP) و واسپاس (WASPAS)" استفاده شده است.

روش تحقیق به صورت توصیفی-تحلیلی و با رویکرد ترکیبی، کمی و مقایسه‌ای طراحی شده است که اطلاعات لازم به طور عمده از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان، پیش بینی‌های گروهی از کارشناسان و در موارد ضرورت با مصاحبه حضوری از آنها، جهت تحلیل روش سلسله مراتبی جمع‌آوری و استفاده شده، پس از جمع آوری، معیارها و گزینه‌های موردانتظار، شناسایی و وزن‌دهی گردید و در نهایت به کمک تکنیک واسپاس؛ معیارها و گزینه‌ها تحلیل و رتبه بندی گردیده است.

ترکیب این دو روش، از این دلیل حائز اهمیت است که این فرصت را می‌دهد تا با استفاده از این روش‌ها، سیستم‌ها و گزینه‌های متعدد را با معیارهای متفاوت، بطور درست شناسایی و با دقت بهتری تحلیل و با اطمینان کامل گزینه مناسب را برای کنترل ازدحام ترافیک انتخاب کنیم.

در این پژوهش به تعداد ۲۲ نوع سیستم کنترل ازدحام ترافیک برای شهر کابل مورد بررسی، تحلیل و رتبه بندی قرار گرفته است و هر سیستم با گزینه‌ها و معیارهای مختلف مقایسه گردیده که شامل: هزینه، طول عمر، دسترسی، سهولت استفاده، انعطاف پذیری، مصرف برق، مصرف اینترنت، عملکرد و هوشمندی سیستم‌ها است.

تحلیل و رتبه بندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک که با استفاده از دو روش تحلیل؛ روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تحلیل واسپاس (WASPAS) انجام شد است، نشان میدهد که روش اول، که یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری است و برای حل مسائل پیچیده طراحی شده و به دلیل شفافیت، انعطاف‌پذیری و سادگی محاسباتی که بسیار محبوب است؛ در این روش، ابتدا برای سیستم‌های متذکره، یک ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد که در آن اهمیت نسبی هر کدام از معیارها به روش ساعتی صورت گرفت، این امر در تعیین معیارهای متعدد، تاثیرگذار و مورد انتظار در تحلیل سیستم‌ها کمک میکند، پس از تعیین معیارها، پروسه ارزش یا وزن دهی و نارمل سازی آنها صورت گرفت.

در این مرحله نتایج نشان میدهد که بیشترین وزن (ارزش) را معیار عملکرد سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۲۷٪ نشان داده است، بعد به ترتیب، معیار انعطاف پذیری سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۵٪، هوشمندی سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک ۱۴٪، دسترسی

سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۱۲، مصرف برق سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۱۰، مصرف اینترنت سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۹، طول عمر سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۷، هزینه سیستم سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۴ و بالاخره سهولت استفاده از سیستم‌های کنترل ازدحام ترافیک % ۲ وزن دهی گردیده است.

در روش دوم، پس از تعیین گزینه های مثبت مفید و گزینه‌های منفی غیر مفید؛ گزینه‌ها و معیارها نرمال سازی شده است، این مرحله در خصوص محاسبات متعدد، مانند: دریافت مجموع وزنی گزینه ها (WSM) و ضرب وزنی گزینه ها (WPM) که از ترکیب آن‌ها (WASPAS) حاصل و رتبه های سیستم تعیین گردید، تاثیر گذار بوده که پس از آن ترکیب این دو محاسبه متذکره منتج به تحلیل سیستم ها به روش واسپاس شد است، این امر برای رتبه بندی سیستم های کنترل ازدحام ترافیک مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق، رتبه بندی سیستم‌ها توسط این روش، نشان می‌دهد که سیستم‌های سیگنال ترافیکی (LED) بهترین گزینه در بلند مدت است. و در جدول شماره (۹) نشان داده شده است که، رتبه اول، گزینه شماره (۲۰) "سیستم سیگنال ترافیکی با LED" بهترین گزینه "انتخاب بهترین گزینه سیستم کنترل ازدحام ترافیک در چهار راهی های شهر کابل با استفاده از روش های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و واسپاس (WASPAS)" می‌باشد.

رتبه دوم، گزینه شماره (۱)، "کنترل کننده خودکار سیگنال ترافیک با استفاده از آردوینو (ATSCA)". رتبه سوم، گزینه شماره (۱۷)، "هشدار دهنده های صوتی و نوری" می‌باشد.



- [1] Amiri, Khodabakhsh. (2019). Organizing and managing urban traffic with the help of intelligent transportation systems. *Architecture*, 3(17), 0-0. SID. <https://sid.ir/paper/527460/fa> .(In persian).
- [2]. Mahsa Azarshab, Mehdi Ghazanfari, and Farnaz Heydarpour, "A Traffic Controller Based on Intelligent Fuzzy Logic," *Fundamental Research in Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 10–17, 1400, [Online]. Available: <https://sid.ir/paper/376565/fa>.. (In persian).
- [3] Mortazavi Nia, M.(2018). "Intelligent Transportation System", Third Conference on Intelligent Decision Making Systems, Tehran, Iranian Fuzzy Systems Association – Islamic Azad University, Research Sciences Branch. .(In persian).
- [4] Ghasemi Nejad, Hossein. (2009). "Intelligent Transportation Systems (ITS)". National Conference on Road and Rail Accidents and Incidents. SID. <https://sid.ir/paper/818805/fa> .(In persian).
- [5]. A. Safari, (1401), "Application of Multi-Criteria Decision Making Methods (AHP-Promethee) in Selection and", Twenty-Fourth Volume, p. 13, 25 1 1401.(In persian).
- [6].Himanshu Dhumras, Rakesh Kumar Bajaj *. "On potential strategic framework for green supply chain management in the energy sector using q -rung picture fuzzy AHP & WASPAS decision-making model". Department of Mathematics, Jaypee University of Information Technology, Waknaghat, Solan, 173234, HP, India
Expert Systems With Applications 237 (2024) 121550 journal homepage: www.elsevier.com/locate/eswa
- [7]. M. Ali Safari, "Application of Multi-Criteria Decision Making Methods (AHP-PROMETHEE) in Selecting and Prioritizing Available Water Resources for Green Space Irrigation (Case Study of Bouyin Zahra)," *Environmental Science and Technology*, Volume Twenty-Four, Issue One, April, p. 13, 25 1 1401.(In persian).
- [8]. Malik Tubaishat, Yi Shang and Hongchi Shi, "Adaptive Traffic Light Control with Wireless Sensor Networks"
Department of Computer Science, University of Missouri – Columbia, Columbia, MO 65211-2060, 02 June 2014.
- [9]. KHALIL M. YOSEF N. JAMAL N. AL- KARAKI AND ALI M SHATNAWI. "Intelligent Traffic Light Flow Control System Using Wireless Sensors Networks". ; Department of Computer Engineering, Jordan Univesity, *JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEING* 26, 753-768(2010).
- [10]. TTS Action coiude, ITS America, washington DC, 1996
- [11]. Sivasubramanian Gobimohan1, Sabri Rashid Al Sulaimi2, Waleed Hamad Said Mohammad Al Sulaimi2, "Density Based Traffic Light Control System Using Arduino". DOI: 10.17148/IJIREEICE.2022.10806
- [12]. Udoakahl Y. N. and Okure I. G , "Design and implementation of a density-based traffic light control with surveillance system," *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 36(4): 1239 – 1248, 2017.
- [13]. Usikalu, M.R. et al, "Design and Construction of Density Based Traffic Control System," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 331, 012047, 2019.



- [14]. Jean-Paul Rodrigue, *The Geography of Transport Systems*, Routledge, 2020.
- [15]. Yaser S.A.S. et al, "Arduino Mega Based Smart Traffic Control System," *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, 15(12), 43-52, 2021.
- [16]. Kuldeep Singh. K, Santar Pal Singh, Shreddha Sagar, "Role of Arduino in Real World Applications," *International Journal of Scientific & Technology Research*, Vol. 9, Issue. 01, pp.1113-1116, 2020.
- [17]. Miles-John C and KanChen B. 2004. "PIARC – ITS Handbook 2th edition".
- [18]. Alkandari AA, Alshammari AM. "Theory of dynamic hybrid fuzzy logic control of traffic light network with accident detection and action system". *Second International Conference on Computing Technology and Information Management (ICCTIM)*, 2015; IEEE: 81-86.
- [19]. Ayyildiz, E., Erdogan, M., & Taskin Gumus, A. (2021). "A pythagorean fuzzy numberbased integration of AHP and WASPAS methods for refugee camp location selection problem"; a real case study for Istanbul, Turkey. *Neural Computing and Applications*, 33, 15751–15768, <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-021-06195-0>.
- [20]. Kahraman, C. (2018). A brief literature review for fuzzy AHP. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(2), 293–297. <http://dx.doi.org/10.13033/ijahp.v10i2.599>.

