

ISSN 2783-2805



نشریه مهندسی عمران فردوسی

فصلنامه علمی

شماره پیاپی ۳۵

- ۱ تعیین ضرایب هم‌سنگ سواری برای موتورسیکلت، اتوبوس و مینی-بوس
در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری ایران، مطالعه موردی در
شهرهای اصفهان و یزد
مریم دهقانی زاده - مهدی فلاح تفتی
- ۲۳ ارزیابی بوم‌سازی سیستم‌های دیوارچینی رایج در ایران با استفاده
از روش TOPSIS
هادی مددی قله‌زو - محمدرضا توکلی‌زاده - شهناز دانش
- ۳۹ ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک در اثر وقوع زمین‌لرزه با استفاده
از چند الگوریتم طبقه‌بندی هوشمند در نرم‌افزار Orange
هادی فتاحی - فاطمه جیریایی
- ۵۳ اثر منیزیم-اکسید در به‌سازی یک خاک رسی آلوده به فنانترو
محدّثه امینی - علی رتیمی استبرق - جمال عبدالهی علی بیگ
- ۶۷ شناسایی عوامل مؤثر بر علل عبور وسایل نقلیه از چراغ-قرمز
در تقاطع‌های چراغ‌دار مورد مطالعه: کلان‌شهر رشت
ایرج برگ گل - سبحان حسن جانی - سعید فاطمی - سید امیر سعادتجو
- ۸۱ اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها
مطالعه موردی شهر مشهد
مسعود کدخدایی - سید علی ضیائی - روزبه شاد

سال ۳۴، شماره ۳
پاییز، ۱۴۰۰



نشریه مهندسی عمران فردوسی

ISSN : 2008-7454

سر دبیر : محمدرضا اصفهانی

مدیر مسئول: فریدون ایرانی

صاحب امتیاز : دانشگاه فردوسی مشهد

هیئت تحریریه :

دکتر محمدرضا اصفهانی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر فریدون ایرانی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر کاظم بدو	استاد، دانشگاه ارومیه، دانشکده مهندسی
دکتر جعفر بلوری بزاز	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر احمد پویا	استاد، Ecole des Ponts Paris tech
دکتر سید محمود حسینی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر ناصر حافظی مقدس	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه
دکتر سیداحسان سیدی حسینی نیا	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر شهناز دانش	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران
دکتر غلامرضا رخشنده رو	استاد، دانشگاه شیراز، دانشکده راه و ساختمان
دکتر محمدحسین سبط	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر فرزاد شهابیان مقدم	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر امیر کاووسی	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکتر حسین گنجی دوست	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکتر محمود فغفور مغربی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر فریدون مقدس نژاد	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر محمدرضا کیانوش	استاد، University of Ryerson

ویراستار ادبی : دکتر یوسف بینا

مسئول دفتر نشریه : تکتّم هوشمند

ویرایش و صفحه آرایی : سیده عاطفه نوعی باغبان-تکتّم هوشمند

این نشریه در کتابخانه منطقه‌ای علوم و تکنولوژی شیراز (ISC) نمایه می‌شود. <http://www.srlst.com>

نشانی: مشهد- دفتر نشریه - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد - صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

تلفا کس: ۰۵۱-۳۸۸۰۶۰۲۴ پست الکترونیکی: ejour@um.ac.ir وب سایت: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir>

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مطالب

۱	مریم دهقانی‌زاده - مهدی فلّاح تفتی	تعیین ضرایب هم‌سنگ سواری برای موتورسیکلت، اتوبوس و مینی‌بوس در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری ایران، مطالعه موردی در شهرهای اصفهان و یزد
۲۳	هادی مددی قله‌زو - محمدرضا توکلی‌زاده شهناز دانش	ارزیابی بوم‌سازی سیستم‌های دیوارچینی رایج در ایران با استفاده از روش TOPSIS
۳۹	هادی فتاحی - فاطمه جیریایی	ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک در اثر وقوع زمین‌لرزه با استفاده از چند الگوریتم طبقه‌بندی هوشمند در نرم‌افزار Orange
۵۳	محدثه امینی - علی رئیسی استبرق جمال عبدالهی علی‌بیک	اثر منیزیم اکسید در به‌سازی یک خاک رسی آلوده به فنانترون
۶۷	ایرج برگ‌گل - سبحان حسن‌جانی سعید فاطمی - سید امیر سعادتجو	شناسایی عوامل مؤثر بر علل عبور وسایل نقلیه از چراغ‌قرمز در تقاطع‌های چراغ‌دار مورد مطالعه: کلان‌شهر رشت
۸۱	مسعود کدخدایی - سید علی ضیائی روزبه شاد	اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها مطالعه موردی شهر مشهد

تعیین ضرایب هم‌سنگ سواری برای موتورسیکلت، اتوبوس و مینی‌بوس در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری ایران، مطالعه موردی در شهرهای اصفهان و یزد*

مریم دهقانی‌زاده^(۱)مهدی فلاح تفتی^(۲)

چکیده در حال حاضر در مطالعات و طراحی‌های مربوط به تقاطعات چراغ‌دار ایران، از مقادیر ضریب هم‌سنگ سواری پیشنهادی توسط سایر آیین‌نامه‌های معتبر دنیا استفاده می‌شود که به نظر می‌رسد با توجه به خصوصیات متفاوت هندسی، رفتاری و خودروها در کشورمان با کشورهای دیگر، تأثیر منفی بر درستی تحلیل‌های ظرفیتی آنها داشته باشد؛ لذا در این مطالعه سعی شد تا برای نخستین بار با استفاده از روش آنالیز رگرسیون چندمتغیره، مقادیر ضرایب هم‌سنگ سواری برای اتوبوس، مینی‌بوس و موتورسیکلت‌های عبوری در تقاطعات چراغ‌دار شهری محاسبه شود. این مطالعه در محدوده ۹ تقاطع چراغ‌دار شهرهای اصفهان و یزد انجام شد و روابط پیشنهادی در نرم‌افزار SPSS برازش شدند؛ سپس از ضرایب پرداخت شده برای مدل استفاده شد و مقادیر ۰/۴۶، ۱/۴۵ و ۲/۵۳ به ترتیب برای ضرایب معادل سواری موتورسیکلت، مینی‌بوس و اتوبوس به دست آمد؛ هم‌چنین ضریب هم‌سنگ سواری کلی برای وسایل نقلیه سنگین برابر ۲/۱۳ به دست آمد. از این نتایج می‌توان به عنوان بهترین تخمین موجود برای تعیین ضریب هم‌سنگ در دیگر تقاطع‌های چراغ‌دار مشابه در کشور استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی ضریب هم‌سنگ سواری، تقاطع‌های چراغ‌دار، آنالیز رگرسیون چندمتغیره، ظرفیت تقاطع.

Determination of Equivalent Passenger Car Unit for Motorcycles, Buses and Minibuses at Urban Signalized Intersections in Iran, Case Study: Isfahan and Yazd City

M. Dehghanizadeh

M. Fallah Tafti

Abstract At present, the Equivalent Passenger Car Unit (PCU) values, proposed by other international guides, are used in the design and analysis of signalized intersections in Iran. It is likely that this would produce a negative impact of the accuracy of capacity analysis used for these intersections as the geometric design, behavioral attributes and vehicle characteristics are different here. Hence, it was decided to estimate the PCU values for buses, minibuses and motorcycles at Iranian signalized intersections using a multiple linear regression in this study. The required field data was collected from 9 intersections located at Isfahan and Yazd cities and the regression analysis was then performed on the data using SPSS software. Thereby, the PCU values for the motorcycles, minibuses and buses were obtained as 0.46, 1.45 and 2.53. Finally, an overall average PCU value of 2.13 was obtained for the heavy vehicles. The results could be used as the best estimate of PCU values for the similar Iranian signalized intersections.

Key Word Passenger Car Unit, Signalized Intersections, Multiple Linear Regression, Intersection Capacity.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۳/۱۰ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۷/۶ از صفحه ۱ تا ۲۲ می‌باشد.

(۱) دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

(۲) نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

مقدمه

هم‌سنگ سواری هر وسیله نقلیه عبارت است از تعداد خودروی سواری معادل که در جریان ترافیک جایگزین آن وسیله نقلیه می‌شود بدون آن‌که تغییری در شرایط جاده و یا جریان ترافیک به وجود آید. تفاوت در ویژگی‌ها و عملکرد وسایل نقلیه سنگین و موتورسیکلت‌ها با وسایل نقلیه سواری باعث ایجاد تغییرات زیادی در خصوصیات جریان ترافیک می‌شود. یکی از عمده‌ترین روش‌ها برای ایجاد وحدت رویه در تحلیل جریان‌های ترافیکی، تبدیل تمامی انواع وسایل نقلیه موجود در یک بخش از شبکه جاده‌ای به یک نوع وسیله نقلیه معادل می‌باشد. این مفهوم برای اولین بار در آیین‌نامه ظرفیت راه‌های آمریکا در سال ۱۹۶۵ برای برآورد میزان تأثیر وسایل نقلیه سنگین از قبیل اتوبوس و کامیون در جریان ترافیک معرفی شد [1]. به دنبال آن، روش‌های متنوع دیگری نیز پیشنهاد شده‌اند که در بخش پیشینه پژوهش به آنها اشاره شده است.

علی‌رغم شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم حاکم بر تقاطع‌ها در کشور ایران، در مطالعات ترافیکی این تقاطع‌ها عمدتاً از ضرایب هم‌سنگ سواری پیشنهاد شده در آیین‌نامه‌های کشورهای دیگر استفاده می‌شود. چرا که تاکنون این ضرایب برای شرایط ترافیکی کشور ایران در یک مطالعه نسبتاً گسترده اندازه‌گیری نشده‌اند. در این مقاله، نتایج یک پژوهش انجام‌شده برای اندازه‌گیری ضرایب هم‌سنگ سواری در تعدادی از تقاطع‌های چراغ‌دار واقع در دو شهر اصفهان و یزد، به عنوان نمادی از دو شهر به ترتیب کلان‌شهر و متوسط ایران، ارائه شده است. با توجه به کارایی بالای روش آنالیز رگرسیون به عنوان یک روش مناسب برای تعیین ضرایب هم‌سنگ سواری در تقاطعات چراغ‌دار با شرایط هندسی و ترافیکی نامنظم، در این پژوهش از این روش استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش تخمین ضرایب هم‌سنگ سواری مناسب به منظور استفاده در طراحی تحلیل ظرفیت از طریق محاسبه نرخ تردد اشباع و تعیین سطح سرویس در تقاطعات چراغ‌دار بود. فلاح و دهقانی‌زاده [2] در مطالعه‌ای، برای مقایسه و مدل‌سازی نرخ جریان

اشباع تقاطعات چراغ‌دار از ضرایب هم‌سنگ سواری به روش رگرسیون نیز استفاده کردند.

پیشینه تحقیق

از گذشته تاکنون مطالعات متعددی در زمینه محاسبه ضرایب هم‌سنگ سواری انجام شده است؛ از جمله مطالعات صورت‌گرفته در این خصوص، روش محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری بر مبنای سرفاصله زمانی، نسبت حجم به ظرفیت مشابه، سرعت وسایل نقلیه عبوری، تأخیر وارد بر وسایل نقلیه، بهینه‌سازی، نمودارهای چگالی-نرخ جریان ترافیک و آنالیز رگرسیون می‌باشد که در ادامه به نمونه‌هایی از مطالعات مرتبط با هر کدام از این روش‌ها اشاره شده است.

روش‌های مبتنی بر سرفاصله زمانی

در روش مبتنی بر سرفاصله زمانی، متوسط سرفاصله زمانی حرکت وسایل نقلیه در هنگام عبور از تقاطع تعیین می‌گردد [3]. برای این منظور معمولاً سرفاصله‌های زمانی، نسبت به خط توقف ورودی تقاطع اندازه‌گیری می‌شوند و زمان عبور محور عقب وسیله نقلیه از خط توقف ثبت می‌گردد. نخستین سرفاصله زمانی، زمان بین شروع فاز سبز و عبور محور عقبی اولین وسیله از خط توقف است. سرفاصله‌های بعدی حداقل زمان عبور محور عقب دو وسیله نقلیه متوالی از خط توقف خواهد بود [4, 5]. لازم به ذکر است که این روش در قاره اروپا بسیار معمول است [6].

کرامس و کروی [1] با مقایسه چندین روش موجود، مدلی برای محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری بر اساس سرفاصله عقبی کامیون‌های پشت سر سایر وسایل نقلیه سواری در جریان مختلط و سرفاصله عقبی کامیون‌های پشت سر کامیون‌های دیگر ارائه دادند. این پژوهش در یک مسیر با سطح عملکردی آزادراه بررسی شد. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت کامیون‌ها، مقادیر ضریب هم‌سنگ سواری افزایش خواهد یافت. ورنر و مورال مدلی بر اساس سرفاصله زمانی متوسط در مسیر جریان ترافیکی ارائه دادند. آنها بر پایه این بررسی

اشغال می کردند، ارائه دادند. تغییرات نسبت سرعت تابعی از شرایط مسیر و ترافیک عبوری بود و نسبت فضای اشغال شده، مانور هر وسیله را باتوجه به وسیله نقلیه سواری نشان می داد [10]. هو و جانسون [11] با استفاده از راهنمای ظرفیت راه های آمریکا در سال ۱۹۶۵، یک مدل براساس سرعت ارائه دادند. در این روش از مقادیر ضریب هم سنگ سواری برای تبدیل یک جریان مختلط به یک جریان تنها شامل خودروی سواری با سرعت عملکردی یکسان استفاده شد. در این روش، قطعات طولانی آزادراهی مورد بررسی قرار گرفتند. سنت جانو گلو [12] با بررسی عملکرد کامیون ها یک فاکتور غیرخطی برای این وسایل نقلیه ارائه دادند و براساس این فاکتور، بین سرعت و جریان ترافیکی ارتباط برقرار کردند.

روش مبتنی بر سرعت وسایل نقلیه عبوری، برای جاده هایی که سطح سرویس و تحلیل ظرفیت آنها براساس سرعت محاسبه می گردد، مناسب می باشد. به طور کلی این روش، نیازمند داده های کافی از تغییرات سرعت و زمان سفر برای نرخ های جریان متفاوت و ترکیب ترافیک مختلف می باشد.

روش های مبتنی بر تأخیر نسبی

خاکی و ناصری فرد [۱۳] طی پژوهشی، ضریب هم سنگ سواری برای موتورسیکلت را در تقاطع های چراغ دار ارائه دادند. تحلیل آنها براساس روش تأخیر و روش آماری تجزیه واریانس بود. آنها نتیجه گرفتند در سطح اطمینان ۹۵٪، ضریب هم سنگ سواری مربوط به موتورسیکلت ها در بازه ۰/۴۲ تا ۰/۹ متغیر بوده و نسبت به تغییرات حجم ترافیک و درصد موتورسیکلت در ترکیب ترافیک، وابستگی بسیار کمی دارد. نصیری و طباطبایی براساس نسبت تأخیر ایجاد شده ناشی از وسایل نقلیه سنگین به تأخیر ایجاد شده ناشی از خودروهای سواری، مقدار ضریب هم سنگ سواری را در تقاطع های چراغ دار ایران پیشنهاد دادند. آنها نتیجه گرفتند که این مقدار عدد ثابتی نیست و تابع حجم ترافیک در رویکردهای ورودی

نتیجه گرفتند که این روش برای محاسبه ضریب هم سنگ سواری در سطوح سرویس پایین مناسب تر خواهد بود [7].

به طور کلی هنگامی که رانندگان به طور پایدار، منظم و همگن حرکت کنند، مفهوم سرفاصله معنا دارد و این روش قابل استفاده خواهد بود. این روش نیازمند حجم داده میدانی نسبتاً محدودی است و از طرفی در شرایط با حجم ترافیکی خیلی کم به علت فاصله زیاد بین وسایل نقلیه عبوری، عملاً این روش مفهومی ندارد. همچنین با نزدیک شدن ترافیک به مقدار ظرفیت و با فرض خطی بودن رابطه سرعت و حجم ترافیک، نتایج حاصل از این روش دقیق نمی باشد [۹ و ۸].

روش های مبتنی بر نسبت حجم به ظرفیت مشابه

دستورالعمل انجمن تحقیقات حمل و نقلی (TRB) آمریکا ضرایب هم سنگ سواری را براساس نسبت حجم به ظرفیت ثابت ارائه داده است. در این روش، مقادیر هم سنگ سواری به شکلی محاسبه شده است که با اعمال آن بر جریان مختلط، جریان ترافیکی معادل سواری حاصل، نسبت حجم به ظرفیت مشابهی با حالت مختلط داشته باشد. نتایج حاصل از کاربرد این روش نشان داد که با تغییر این نسبت و سرعت طرح آزادراهها ضریب هم سنگ سواری تغییر عمده ای ندارد [1]. در گذشته که سطح سرویس راهها به صورت ضریبی از حجم به ظرفیت محاسبه می شد، این روش قابل استفاده بود.

روش های مبتنی بر سرعت وسایل نقلیه عبوری

سرعت وسایل نقلیه، یکی از پارامترهای اساسی برای تخمین سطح سرویس جاده ها می باشد. به طوری که دو مسیر با شرایط فیزیکی و دانسیته یکسان، که یکی متشکل از جریان ترافیکی خودروهای سواری و دیگری مختلط می باشد، سرعت حرکت متفاوتی را خواهند داشت. چندرا و کومار برای محاسبه ضرایب هم سنگ سواری کشور هند، یک مدل ارائه دادند. آنها مقادیر هم سنگ سواری دینامیکی را برای وسایل نقلیه مختلف براساس نسبت سرعت و نیز نسبت فضایی که این وسایل نقلیه

روش‌های مبتنی بر نمودارهای چگالی - نرخ جریان

اویسی و همکاران [۱۷] با استفاده از نمودارهای چگالی - نرخ جریان، ضریب هم‌سنگ سواری برای وسایل نقلیه سنگین در آزادراه‌های ایران را ارائه دادند. آنها برای شناسایی بهترین مدل از مدل‌سازی ریاضی استفاده کردند و در مقطع پایه آزادراهی و در شیب طولی کمتر از ۲ درصد، برای ۳ الی ۱۰ درصد وسایل نقلیه سنگین و بیش از ۱۰ درصد به ترتیب ضرایب هم‌سنگ سواری ۲ و ۱/۷ را ارائه دادند.

روش‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیون

منح و سانو [18]، ۴ تقاطع چراغ‌دار شهر هانوی در ویتنام و ۳ تقاطع چراغ‌دار شهر بانکوک در تایلند را برای محاسبه مقادیر ضریب هم‌سنگ سواری، مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. در این تقاطعات، حجم موتورسیکلت‌های عبوری بسیار زیاد و عبور وسایل نقلیه سنگین ممنوع شده بود. آنها با روش آنالیز رگرسیون چندگانه، مقادیر ضریب هم‌سنگ سواری اتوبوس و موتورسیکلت را برای شهر هانوی به ترتیب برابر با ۲/۲۶ و ۰/۲۴ و برای شهر بانکوک به ترتیب برابر با ۲/۱۸ و ۰/۱۸ پیشنهاد دادند.

این روش همان‌طور که اشاره شد روش بسیار مناسبی برای برآورد ضریب هم‌سنگ سواری برای تقاطعات شهری علی‌الخصوص برای حالت ناهمگن می‌باشد. این در حالی است که تقریباً اکثر روش‌های فوق‌الذکر برای شرایط ترافیکی همگن مناسب می‌باشند.

مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر

کومار و همکاران [19] تحت پژوهشی، ضریب هم‌سنگ سواری را در جاده‌های چندخطه شهری با شرایط ترافیکی ناهمگن بررسی کردند و در این خصوص یک روش جدید برای محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری ارائه دادند. در این پژوهش، از پارامتر فضای اشغال‌شده وسایل نقلیه به عنوان معیار عملکردی استفاده شد. برای بررسی صحت روش پیشنهادی، نتایج حاصل با مقادیر ضریب

تقاطع‌های می‌باشد [۱۴]. کاناگین و مسر [15] نیز یک مدل برای تخمین مقادیر هم‌سنگ سواری برای راه‌های چند بانده پیشنهاد دادند. این مدل براساس تأخیرات وارد بر وسایل نقلیه سبقت‌گیرنده توسط جریان خودروی سنگین موجود در جریان ترافیکی بود. در این روش، تأثیر شرایط عوارض منطقه عبور راه مانند واقع بودن در دشت، تپه ماهور و یا کوهستان نیز در محاسبه ضرایب موردنظر لحاظ شده‌است.

روش‌های مبتنی بر تأخیر نسبی، با در نظر گرفتن تأخیر وارد بر وسایل نقلیه در تقاطعات شهری و یا تأخیر ناشی از مانورهای سبقت در راه‌های بین شهری، به عنوان معیاری از سطح سرویس، ضرایب هم‌سنگ نسبتاً دقیقی را ارائه می‌دهند. به‌طور کلی در شرایطی که حجم ترافیک نزدیک به ظرفیت باشد، وسایل نقلیه کندتر مانند کامیون - ها مانع حرکت سایر وسایل نقلیه و منجر به تشکیل صفی از وسایل نقلیه می‌شوند. به نظر می‌رسد، روش مبتنی بر تأخیر نسبی برای این شرایط ترافیکی مناسب است و در شرایط ترافیکی غیراشباع، نتایج دقیقی را ارائه نخواهد داد. لازم به ذکر است که در این روش، از مفهوم نسبت تأخیرها استفاده شده که تعریف واحدی ندارد [۹ و ۸].

روش‌های مبتنی بر تکنیک‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

روش‌های مبتنی بر تکنیک بهینه‌سازی نیز برای محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری ارائه شده‌است. در این روش ضرایب هم‌سنگ سواری به گونه‌ای تخمین زده می‌شوند که اختلاف بین نرخ جریان اشباع پایه و جریان مشاهده‌شده در طول زمان اشباع کمینه شود. در این روش که اولین بار توسط ستی و دمارچی ارائه شد، برای ساخت یک مدل مشابه، نیاز به یک مدل‌سازی جریان ترافیک می‌باشد که معمولاً با برداشت میدانی قابل توجه، زمان و هزینه زیادی همراه است. از مزایای عمده این روش می‌توان به وجود بیش از یک وسیله نقلیه در جریان ترافیک و بررسی اثر متقابل وسایل نقلیه بر یکدیگر اشاره کرد [16].

جریان اشباع میدانی و ایده آل، تکنیک رگرسیون، روش نرخ تخلیه صف ترافیک و بهینه سازی با استفاده از نرمالیزه کردن جریان عبوری استفاده شد. نتایج حاصل نشان دادند که چهارمین روش نام برده، بهترین روش برای تخمین ضریب هم سنگ سواری می باشد. این نتیجه از مقایسه مقادیر جریان اشباع حاصل از روش های مذکور با جریان اشباع حاصل از دستورالعمل ظرفیت راه های آمریکا به دست آمد.

گران و همکاران [23] در پژوهشی، ضریب هم سنگ سواری را برای میداین دوخطه و توربو در محیط شبیه ساز ایمنان به طور دقیق تخمین زدند. هدف از این پژوهش، به حداقل رساندن میانگین مربعات اختلاف بین ظرفیت خطوط ورودی به میدان در شبیه سازی و مقادیر تجربی بود.

سوگیارتو و همکاران [24] با استفاده از رگرسیون خطی بیزین، ضریب هم سنگ سواری را برای تقاطعات چراغ دار با فازبندی از پیش تعیین شده تخمین زدند. این تقاطعات شامل درصد موتورسیکلت بالایی بود. نتایج حاصل با مقادیر ضریب هم سنگ دستورالعمل ظرفیت راه های هند انحراف زیادی داشت که علت آن ترافیک مختلط حاکم بر تقاطع بود. رابطه پیشنهادی در این پژوهش برای نرخ جریان اشباع پایه در مقایسه با رابطه دستورالعمل ظرفیت راه های هند، تطبیق بیشتری با شرایط ترافیکی مختلط و ناهمگن داشت.

مقایسه روش های برشمرده شده در این بخش نشان می دهد که در روش های پیشنهادی تاکنون عموماً سعی شده است که با مبنا قرار دادن یک یا دو شاخص ترافیکی، تأثیر معادل وسایل نقلیه سنگین و موتورسیکلت در مقایسه با خودروهای سواری برآورد و نسبت این تأثیر به عنوان ضریب هم سنگ سواری به دست آید. در این میان، روش مبتنی بر تحلیل رگرسیون باتوجه به این که تأثیر کلی عوامل ترافیکی، هندسی، محیطی و رفتار رانندگان را توأماً در نظر می گیرد و تجربه استفاده از آن در کشورهایی با شرایط ترافیکی ناهمگن و بی نظم موفقیت آمیز بوده است، به عنوان روش تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق انتخاب گردید.

هم سنگ سواری بهینه، ضرایب دینامیکی (نسبت سرعت به مساحت اشغال شده) و مقادیر ذکر شده در دستورالعمل های معتبر موجود مقایسه شد. این پژوهش نشان داد که پارامترهای میکرو، مانند فضای اشغال، هم می توانند به عنوان یک معیار عملکردی برای محاسبه ضریب هم سنگ سواری محسوب گردند.

پاجکی و همکاران [20] با استفاده از نرم افزار شبیه ساز ویزیم، ضریب هم سنگ سواری را برای چهار نوع وسیله نقلیه سنگین در ورودی میداین شهری محاسبه کردند. در این پژوهش، چندین سناریو با تقاضای ترافیک متفاوت تعریف شد، مقادیر ضریب هم سنگ سواری ستفاده از مدل رگرسیونی محاسبه شد و سپس یک رابطه دینامیکی پیشنهاد شد. این رابطه شباهت های زیادی با رابطه ارائه شده در دستورالعمل ظرفیت راه های آمریکا دارد اما با تغییر اندکی در آن، اثر انواع وسایل نقلیه سنگین لحاظ شده است.

پال و همکاران [21] در پژوهشی، تأثیر روش های مختلف تخمین ضریب هم سنگ سواری بر ظرفیت جاده های دوخطه جداشده بین شهری را بررسی کردند. در این پژوهش، ضرایب هم سنگ سواری از سه روش تخمین زده شد. در روش اول، از ضرایب آماده کنگره راه های هند استفاده شد. در روش دوم، این ضرایب به روش دینامیکی، نسبت سرعت به فضای اشغال شده توسط وسایل نقلیه، محاسبه شد. در سومین روش، این ضرایب با استفاده از دستورالعمل ظرفیت راه های هند تخمین زده شد. در این روش ضریب هم سنگ سواری انتخابی برای هر وسیله نقلیه وابسته به نسبت حجم ترافیک همان وسیله نقلیه به کل جریان مسیر می باشد. نتایج حاصل نشان داد که تخمین ظرفیت با استفاده از ضرایب هم سنگ سواری در روش دوم و سوم، بسیار به شرایط واقعی نزدیک است.

موندال و همکاران [22] در پژوهشی، نرخ جریان اشباع محاسبه شده با استفاده از مقادیر مختلف ضریب هم سنگ سواری را در شش تقاطع چراغ دار با شرایط ترافیکی ناهمگن مقایسه کردند. برای تخمین ضریب هم سنگ سواری از تکنیک بهینه سازی اختلاف بین نرخ

$$p_i = \frac{a_i}{a_1} \quad (2)$$

جدول ۱ ضرایب معادل سواری پیشنهادی کنگره جاده هند [25]

نوع وسیله نقلیه	ضریب معادل سواری
موتورسیکلت	۰/۵
سه‌چرخه	۰/۷
اتوبوس	۲

که در روابط فوق، n_i تعداد و سایل نقلیه عبوری از گروه i ام در هر سیکل، a_1, a_2, a_3 ها به ترتیب ضرایب حاصل از تحلیل رگرسیون برای وسیله نقلیه سواری، موتورسیکلت و وسیله نقلیه سنگین، t زمان سبز اشباع کل در هر سیکل چراغ (ثانیه) و p_i ضرایب هم‌سنگ سواری برای گروه i ام و سایل نقلیه می‌باشند.

برداشت اطلاعات

در این پژوهش، در مرحله نخست تعداد نمونه لازم که همان تعداد سیکل‌های مورد نیاز بود، با استفاده از رابطه کوکران برای جامعه نامحدود محاسبه شد. این رابطه برای درصد خطای ۵٪، تعداد ۳۸۴ نمونه را پیشنهاد می‌دهد. در این روش توصیه شده که تعداد نمونه، ۱۰٪ بیش از مقادیر حاصل از رابطه کوکران برداشت شود. سپس اطلاعات ترافیکی و زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی مربوط به ۸ رویکرد ورودی از تقاطع‌های چراغ‌دار شهر یزد و ۵ رویکرد ورودی از تقاطع‌های چراغ‌دار شهر اصفهان به صورت فیلم‌برداری برداشت شد. این داده‌ها، در زمان اوج ترافیک اشباع (۷:۳۰ الی ۸:۳۰ و ۱۹:۳۰ الی ۲۰:۳۰) در دو هفته آخر اسفندماه برداشت شد. سپس ۴۲۵ سیکل اشباع انتخاب و نرخ ورود و سایل نقلیه به تقاطع به تفکیک سواری، سنگین (شامل اتوبوس و مینی‌بوس) و موتورسیکلت در بازه‌های زمانی سبز اشباع برداشت شدند و و سایل نقلیه‌ای که قبل از شروع فاز سبز اقدام به حرکت کرده بودند حذف گردیدند.

روش پژوهش

ترافیک عبوری از تقاطع‌های چراغ‌دار شهری معمولاً علاوه بر خودروهای سواری شامل موتورسیکلت و وسایل نقلیه سنگین مانند کامیون و اتوبوس می‌باشد. در این پژوهش، با انتخاب تعدادی از تقاطعات چراغ‌دار شلوغ شهرهای اصفهان و یزد و با استفاده از روش آنالیز رگرسیون چندمتغیره که توسط منح و سانو ارائه شده است، ضرایب هم‌سنگ سواری اتوبوس، مینی‌بوس و موتورسیکلت برای شرایط ترافیکی اشباع محاسبه شدند. در تقاطعات چراغ‌دار شهری، محاسبه فازبندی چراغ راهنمایی نیازمند تخمین پارامتر نرخ جریان اشباع می‌باشد. برای محاسبه نرخ جریان اشباع نیز ضریب هم‌سنگ سواری مورد نیاز است؛ به همین دلیل در این پژوهش، از زمان سبز اشباع برای تحلیل رگرسیون استفاده شده است.

برای این منظور، ابتدا کل زمان فاز سبز در هر سیکل به بازه‌های ۵ ثانیه‌ای تقسیم شد و تعداد و سایل نقلیه سواری، موتورسیکلت، اتوبوس و مینی‌بوس به تفکیک در این بازه‌ها شمارش شدند. سپس بازه‌های زمانی ۵ ثانیه‌ای که در هر یک بیش از ۳ وسیله نقلیه معادل سواری از خط ایست آن رویکرد عبور کرده بودند، به عنوان بازه‌های زمانی با جریان ترافیک اشباع در نظر گرفته شدند. در این مرحله، با توجه به مشخص نبودن ضرایب معادل سواری، از مقادیر پیشنهادی برای کشور هند که در جدول (۱) ارائه شده است، استفاده شد [25]. سپس برای هر رویکرد ورودی تحت بررسی تقاطع، مجموع بازه‌های زمانی اشباع در هر سیکل، و تعداد انواع وسایل نقلیه عبوری از رویکرد در طی این مدت به تفکیک محاسبه شدند. اطلاعات حاصل برای تعدادی سیکل چراغ در رویکرد مورد نظر در یک آنالیز رگرسیون چند متغیره خطی با معادله کلی نشان داده شده در رابطه (۱) استفاده شد. سپس با استفاده از ضرایب پرداخت شده برای مدل، ضرایب معادل سواری برای وسایل نقلیه سنگین و موتورسیکلت از رابطه (۲) محاسبه شدند.

$$t = n_1 a_1 + n_2 a_2 + n_3 a_3 \quad (1)$$

شایان ذکر است که باتوجه به تعداد ناچیز کامیون‌های مشاهده شده در مقایسه با سایر خودروهای سنگین، این نوع خودروها در موارد نادر مشاهده شده به عنوان اتوبوس شمارش شدند. برخی از مشخصات هندسی، ترافیکی و زمان‌بندی رویکردهای موردبررسی در جدول (۲)، شکل‌های (۱) الی شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۲ مشخصات رویکردهای ورودی تقاطعات مورد بررسی

شهر	کد	نام رویکرد	عرض مؤثر کل (متر)	عرض مؤثر هر خط (متر)	تعداد خطوط عبوری	زمان سبز (ثانیه)	مدت زمان سیکل (ثانیه)	حمایت شده/نشده
یزد	DN	تقاطع دولت‌آباد- از سمت بلوار نواب	۱۰/۵	۳/۵	۳	۲۱	۹۸	حمایت شده
	DE	تقاطع دولت‌آباد- از سمت خیابان انقلاب	۶/۳	۳/۱۵	۲	۲۰	۹۸	حمایت شده
	IP	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار پاک‌نژاد	۹/۲	۳/۰۶	۳	۲۸	۶۳	حمایت نشده
	IE	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار امام‌زاده جعفر	۱۰	۳/۳	۳	۲۸	۶۳	حمایت نشده
	MD	تقاطع مهدی- از سمت بلوار دهه فجر	۸/۶	۲/۹	۳	۳۱-۲۹	۷۱-۵۹	حمایت نشده
	FP	تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاک‌نژاد	۹/۷	۳/۲	۳	۱۹	۵۱	حمایت نشده
	PA	تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	۱۲	۳	۴	۱۵-۲۶	۱۴۲-۹۵	حمایت شده
	PF	تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	۱۱	۲/۸	۴	۱۱-۳۲	۱۴۲-۹۵	حمایت شده
اصفهان	DD	تقاطع دانشگاه- از سمت خیابان دانشگاه	۱۰/۵	۲/۶	۴	متغیر	۱۲۰	حمایت شده
	TT	تقاطع توحید- از سمت خیابان توحید	۹	۳	۳	متغیر	۱۱۰	حمایت نشده
	AJ	تقاطع غیرهم‌سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان جی	۱۰	۲/۵	۴	متغیر	۸۰	حمایت شده
	AKH	تقاطع غیرهم‌سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان خواجه عمید	۷/۸	۲/۶	۳	متغیر	۸۰	حمایت شده
	MK	تقاطع ملک‌شهر- از سمت بلوار کاوه	۱۲	۳	۴	متغیر	۱۲۰	حمایت شده



تقاطع امیرالمؤمنین - از سمت صدا و سیما



تقاطع ایرانشهر - از سمت بلوار پاک‌نژاد و بلوار امام‌زاده جعفر



تقاطع پژوهش - از سمت میدان عالم و فلکه اطلسی



تقاطع دولت‌آباد - از سمت بلوار نواب و خیابان انقلاب



تقاطع مهدی - از سمت بلوار دهه فجر



تقاطع فرهنگیان - از سمت بلوار پاک‌نژاد

شکل ۱ تصویر گوگل ارث از طرح هندسی تقاطعات بررسی‌شده شهر یزد



تقاطع توحید- از سمت خیابان توحید



تقاطع دانشگاه- از سمت خیابان دانشگاه

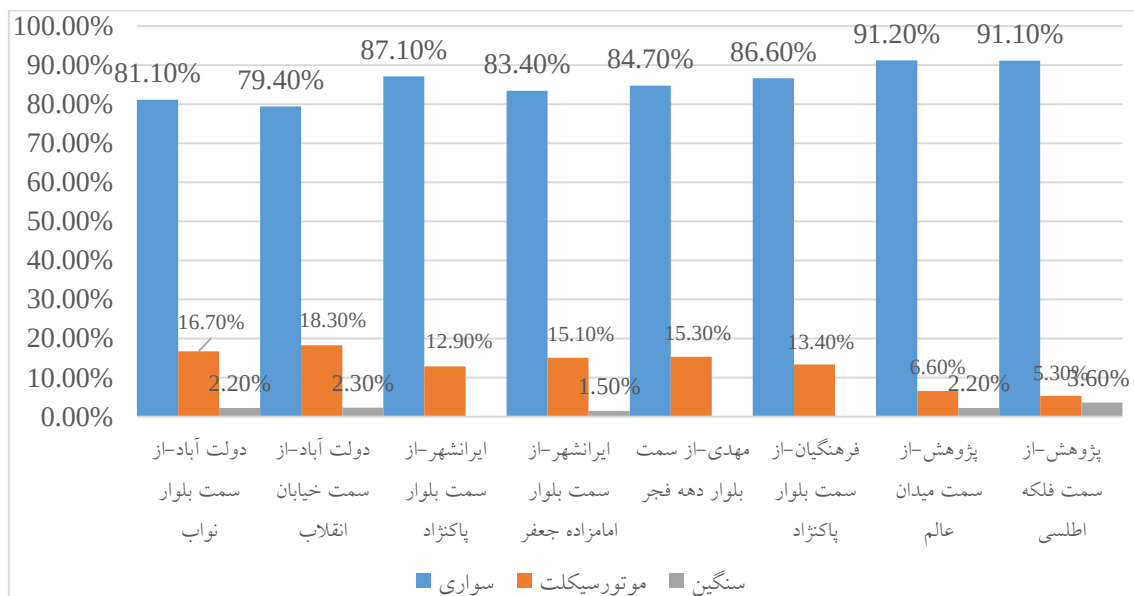


تقاطع غیرهم سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان جی و خواجه عمید

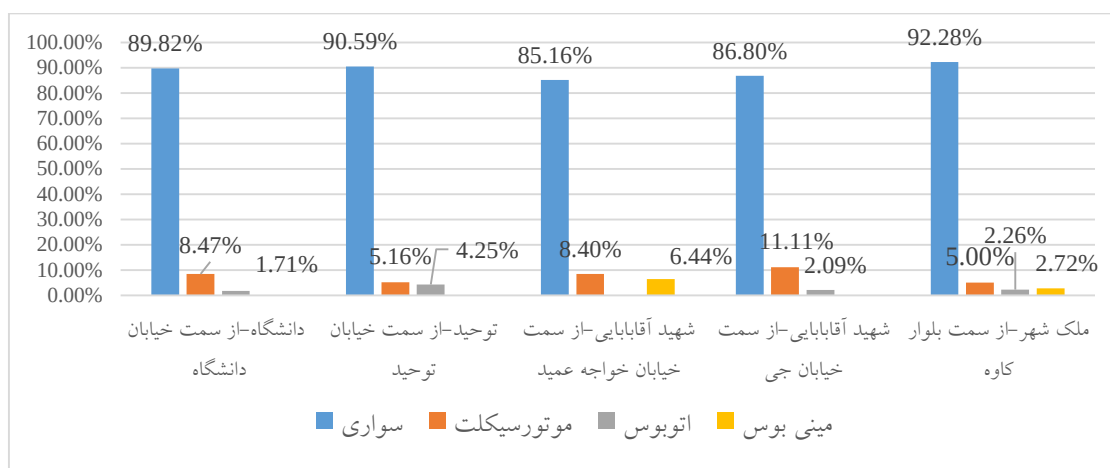


تقاطع ملک شهر- از سمت بلوار کاوه

شکل ۲ تصویر گوگل ارث از طرح هندسی تقاطعات بررسی شده شهر اصفهان



شکل ۳ ترکیب ترافیک تقاطعات بررسی شده شهر یزد



شکل ۴ ترکیب ترافیک تقاطعات بررسی شده شهر اصفهان

جدول ۳ مقادیر میانگین، تعداد سیکل و انحراف معیار داده‌های برداشت شده در تقاطعات شهر یزد

رویکرد	نوع وسیله نقلیه	وسيلة نقلیه سواری	موتورسیکلت	وسيلة نقلیه سنگین	زمان سبز اشباع
پژوهش - عالم	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	29.13	2	0.69	18.84
	تعداد سیکل برداشت	32	32	32	32
	انحراف معیار	8.404	1.344	0.693	4.487
پژوهش - اطلسی	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	35.41	2.00	1.44	24.44
	تعداد سیکل برداشت	32.00	32.00	32.00	32.00
	انحراف معیار	8.87	1.63	1.16	6.13
فرهنگیان - پاک‌نژاد	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	13.07	2.04	-	15.17
	تعداد سیکل برداشت	46.00	46.00	-	46.00
	انحراف معیار	2.93	1.49	-	2.70
دهه فجر - مهدی	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	21.74	4.44	-	28.53
	تعداد سیکل برداشت	34.00	34.00	-	34.00
	انحراف معیار	3.74	2.85	-	4.28
ایران شهر - امام‌زاده	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	19.58	3.58	0.33	28.70
	تعداد سیکل برداشت	33.00	33.00	33.00	33.00
	انحراف معیار	3.33	1.60	0.60	3.40
ایران شهر - پاک‌نژاد	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	22.70	3.39	-	25.30
	تعداد سیکل برداشت	33.00	33.00	-	33.00
	انحراف معیار	4.14	1.41	-	3.48
دولت‌آباد - انقلاب	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	12.15	2.91	0.33	15.06
	تعداد سیکل برداشت	33.00	33.00	33.00	33.00
	انحراف معیار	2.85	2.02	0.54	2.75
دولت‌آباد - نواب	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	26.03	5.51	0.69	21.69
	تعداد سیکل برداشت	35.00	35.00	35.00	35.00
	انحراف معیار	3.34	2.03	0.63	1.66

جدول ۴ مقادیر میانگین، تعداد سیکل و انحراف معیار داده‌های برداشت شده در تقاطعات شهر اصفهان

رویکرد	نوع وسیله نقلیه	وسیله نقلیه سواری	موتورسیکلت	اتوبوس	مینی بوس	زمان سبز اشباع
ملک شهر- کاوه	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	90.80	4.63	2.60	2.07	59.5
	تعداد سیکل برداشت	30.00	30.00	30.00	30.00	30
	انحراف معیار	9.33	1.59	1.10	1.20	5.04975
آقابابایی- جی	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	50.03	6.42	1.03	-	33.39
	تعداد سیکل برداشت	31.00	31.00	31.00	-	31.00
	انحراف معیار	4.67	2.13	0.66	-	2.92
آقابابایی- خواجه عمید	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	23.93	1.87	-	1.20	26.43
	تعداد سیکل برداشت	30.00	30.00	-	30.00	30.00
	انحراف معیار	5.02	1.11	-	0.92	3.02
توحید- توحید	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	45.52	1.36	1.84	-	37.56
	تعداد سیکل برداشت	25.00	25.00	25.00	-	25.00
	انحراف معیار	22.47	1.66	1.34	-	18.19
دانشگاه- دانشگاه	میانگین (تعداد یا ثانیه در هر سیکل)	45.94	4.55	0.81	-	56.94
	تعداد سیکل برداشت	31.00	31.00	31.00	-	31.00
	انحراف معیار	13.77	3.60	0.83	-	16.72

جدول ۵ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی DN

Sig.	T	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۷۳۴)
0/000	4/372		1/682	7/354	مقدار ثابت
0/000	9/112	0/979	0/053	0/486	سواری
0/046	2/082	0/210	0/082	0/171	موتورسیکلت
0/000	4/048	0/404	0/262	1/062	سنگین
$t = ۰/۴۸۶n_1 + ۰/۱۷۱n_2 + ۱/۰۶۲n_3 + ۷/۳۵۴$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۶ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی DE

Sig.	T	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۸۱۹)
0/004	3/088		1/057	3/266	مقدار ثابت
0/000	10/620	0/846	0/077	0/815	سواری
0/000	4/243	0/338	0/108	0/459	موتورسیکلت
0/000	4/099	0/327	0/406	1/662	سنگین
$t = ۰/۸۱۵n_1 + ۰/۴۵۹n_2 + ۱/۰۶۲n_3 + ۳/۲۶۶$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۷ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی EP

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/879$)
0/000	5/576		1/257	7/01	مقدار ثابت
0/000	13/683	0/889	0/055	0/746	سواری
0/018	2/498	0/162	0/160	0/399	موتورسیکلت
$t = 0/746n_1 + 0/399n_2 + 7/01$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۸ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی EE

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/839$)
0/000	5/677		1/629	9/250	مقدار ثابت
0/000	11/370	0/853	0/077	0/874	سواری
0/009	2/800	0/213	0/162	0/454	موتورسیکلت
0/000	4/964	0/380	0/438	2/172	سنگین (اتوبوس غالب)
$t = 0/874n_1 + 0/454n_2 + 2/172n_3 + 9/250$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۹ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی MD

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/885$)
0/000	4/130		1/533	6/332	مقدار ثابت
0/000	12/843	0/809	0/072	0/925	سواری
0/000	5/005	0/315	0/095	0/473	موتورسیکلت
$t = 0/925n_1 + 0/473n_2 + 6/332$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۱۰ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی FP

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/728$)
0/001	3/585		1/093	3/917	مقدار ثابت
0/000	10/672	0/856	0/075	0/802	سواری
0/015	2/527	0/203	0/144	0/363	موتورسیکلت
$t = 0/802n_1 + 0/363n_2 + 3/917$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۱۱ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی PA

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/906$)
0/002	3/470		1/047	3/632	مقدار ثابت
0/000	14/762	0/902	0/033	0/482	سواری
0/205	1/299	0/080	0/207	0/268	موتورسیکلت
0/033	2/240	0/146	0/421	0/943	سنگین
$t = 0/482n_1 + 0/268n_2 + 0/943n_3 + 3/632$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۱۲ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی PF

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۹۰۸)
0/192	1/338		1/464	1/959	مقدار ثابت
0/000	12/859	0/824	0/044	0/569	سواری
0/200	1/253	0/074	0/222	0/278	موتورسیکلت
0/001	3/648	0/232	0/336	1/226	سنگین
$t = ۰/۵۶۹n_1 + ۰/۲۷۸n_۲ + ۱/۲۲۶n_۳ + ۱/۹۵۹$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۱۳ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی TT

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۹۳۴)
0/039	2/168		3/249	7/043	مقدار ثابت
0/000	10/883	0/825	0/092	1/001	سواری
0/048	2/071	0/124	1/196	2/477	اتوبوس
0/221	1/252	0/091	0/335	0/420	موتورسیکلت
$t = ۱/۰۰۱n_1 + ۰/۴۳n_۲ + ۲/۴۷n_3 + ۷/۰۴۳$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۱۴ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی DD

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۹۹۶)
0/055	2/030		0/523	1/061	مقدار ثابت
0/000	50/224	0/899	0/014	0/728	سواری
0/000	7/573	0/135	0/242	1/834	اتوبوس
$t = ۰/۷۲۸n_1 + ۱/۸۳۴n_2 + ۱/۰۶۱$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۱۵ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی MK (موتورسیکلت + اتوبوس + مینی بوس)

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۹۹۴)
0/041	2/155		0/948	2/044	مقدار ثابت
0/000	63/198	1/037	0/009	0/561	سواری
0/000	4/648	0/072	0/049	0/229	موتورسیکلت
0/000	20/694	0/321	0/071	1/469	اتوبوس
0/000	11/323	0/185	0/069	0/776	مینی بوس
$t = ۰/۵۶۱n_1 + ۰/۲۲۹n_۲ + ۱/۴۶۹n_3 + ۰/۷۷۶n_4 + ۲/۰۴۴$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۱۶ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی MK (موتورسیکلت + وسیله نقلیه سنگین)

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	(R ² =۰/۹۸۲)
0/300	1/059		1/611	1/706	مقدار ثابت
0/000	38/042	1/052	0/015	0/550	سواری
0/031	2/278	0/060	0/083	0/200	موتورسیکلت
0/000	13/119	0/362	0/085	1/100	سنگین
$t = ۰/۵۵۵n_1 + ۰/۲n_۲ + ۱/۱n_۳ + ۱/۷۰۶$					رابطه رگرسیون به دست آمده

جدول ۱۷ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی AKH

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/759$)
0/000	6/249		1/826	11/411	مقدار ثابت
0/000	8/962	0/970	0/065	0/584	سواری
0/020	2/472	0/267	0/354	0/875	مینی‌بوس
$t = 0/584n_1 + 0/875n_2 + 11/411$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

جدول ۱۸ نتایج آنالیز مدل رگرسیونی رویکرد ورودی AJ

Sig.	t	Beta	Std. Error	B	($R^2=0/95$)
0/456	0/756		1/449	1/096	مقدار ثابت
0/000	21/713	0/940	0/027	0/587	سواری
0/001	3/573	0/156	0/060	0/215	موتورسیکلت
0/000	7/711	0/339	0/195	1/504	اتوبوس
$t = 0/587n_1 + 0/215n_2 + 1/504n_3 + 1/096$					رابطه رگرسیون به‌دست آمده

نقلیه سنگین» قرار داده شده‌اند زیرا حجم عبوری هر کدام از این دو وسیله نقلیه کم و پراکنده بود و در عین حال حجم عبوری هر کدام بر حجم عبوری وسیله نقلیه دیگر غالب نبود؛ درحالی‌که در شهر اصفهان، در برخی تقاطعات مورد بررسی، حرکت اتوبوس‌ها و در برخی دیگر حرکت مینی‌بوس‌ها غالب بودند؛ بنابراین برای برخی تقاطع‌های شهر اصفهان، امکان محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری به تفکیک برای اتوبوس و مینی‌بوس نیز وجود داشت. همچنین، هرچند در برخی تقاطعات مورد بررسی، وسایل نقلیه سنگین و موتورسیکلت درصد قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده بودند، اما در تمام سیکل‌های برداشت شده به‌طور کم‌وبیش یکنواخت حضور داشتند. بنابراین آنالیز رگرسیون در این موارد نیز منجر به برآورد مقادیر هم‌سنگ سواری معقولی شد.

در این پژوهش برای بررسی معناداری روابط رگرسیونی پیشنهادی، آزمون آماری F انجام شد که نتایج به‌دست آمده از آن در جدول (۱۹) ارائه شده‌است.

در روابط ذکر شده در جداول فوق، n_1, n_2, n_3, n_4 و n_5 به ترتیب تعداد وسایل نقلیه عبوری سواری، موتورسیکلت، سنگین (کلی)، اتوبوس و مینی‌بوس در هر سیکل و t زمان سبز اشباع کل در هر سیکل (ثانیه) است. مقادیر B نیز در این جداول، همان ضرایب a_i ای هستند که در رابطه (۱) تعریف شد.

همان‌گونه که از نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود، ضرایب رابطه رگرسیونی به‌دست آمده برای وسایل نقلیه سنگین در تمام تقاطعات مورد بررسی با سطح اطمینان ۹۵٪ به‌دست آمده‌اند. نتایج به‌دست آمده در رابطه با موتورسیکلت‌ها نیز تقریباً با سطح اطمینان ۸۰٪ به‌دست آمده‌اند که این سطح اطمینان در محاسبات مربوط به تعیین نرخ جریان اشباع قابل قبول است. ضرایب هم‌بستگی مدل‌های برازش شده نیز حاکی از هم‌بستگی قوی بین وسایل نقلیه عبوری و بازه‌های زمانی سبز مؤثر در سیکل‌های هر رویکرد مورد بررسی می‌باشد.

در این پژوهش، اتوبوس و مینی‌بوس‌های عبوری در تقاطعات شهر یزد در یک گروه تحت عنوان «وسایل

جدول ۱۹ نتایج آزمون معناداری روابط رگرسیون برازش شده

شهر	کد	نام رویکرد	F	Sig. (p-value)	R ²
یزد	DN	تقاطع دولت آباد- از سمت بلوار نواب	28/516	0/000	0/734
	DE	تقاطع دولت آباد- از سمت خیابان انقلاب	43/809	0/000	0/819
	IP	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار پاک نژاد	109/434	0/000	0/879
	IE	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار امامزاده جعفر	50/52	0/000	0/839
	MD	تقاطع مهدی- از سمت بلوار دهه فجر	119/562	0/000	0/885
	FP	تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاک نژاد	57/587	0/000	0/728
	PA	تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	89/82	0/000	0/906
	PF	تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	92/526	0/000	0/9/8
اصفهان	DD	تقاطع دانشگاه- از سمت خیابان دانشگاه	40/223	0/000	0/996
	TT	تقاطع توحید- از سمت خیابان توحید	50/437	0/000	0/934
	AJ	تقاطع غیرهم سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان جی	170/667	0/000	0/95
	AKH	تقاطع غیرهم سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان خواجه عمید	42/507	0/000	0/982
	MK	تقاطع ملک شهر- از سمت بلوار کاوه	1060/253	0/000	0/996

تفسیر آزمون معناداری روابط رگرسیون برازش شده

نتایج به دست آمده از آزمون معناداری آماره F برای روابط رگرسیونی برازش شده حاکی از آن است که مقدار sig (p-value) کمتر از ۰,۰۵ است و فرض صفر آماره F با اطمینان ۹۵٪ درصد رد می شود؛ یعنی مدل موجود با اطمینان ۹۵٪ درصد معنی دار است و براساس داده های موجود، این مدل قادر به بیان ضریب هم سنگ سواری می باشد.

بررسی اثر تعاملی متغیرهای روابط برازش شده

برای این بررسی از آزمون هم بستگی پیرسون استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول (۲۰) و (۲۱) ارائه شده است. در آزمون هم بستگی پیرسون، ضریب هم بستگی بین ۰ تا ۰,۲ نشان دهنده هم بستگی ناچیز، ضریب بین ۰,۲ تا ۰,۴ نشان دهنده هم بستگی ضعیف، ضریب بین ۰,۴ تا ۰,۶ نشان دهنده هم بستگی متوسط و ضریب بین ۰,۶ تا ۱

نشان دهنده هم بستگی قوی و بسیار قوی مابین متغیرها می باشد. نتایج به دست آمده از آزمون نشان می دهد که اکثر متغیرهای هر رویکرد هم بستگی ناچیز و یا ضعیفی باهم دارند. با توجه به این نتایج و هم چنین با استناد به تحقیقات پیشین [24, 26, 27]، در این تحقیق از اثر تعاملی بین متغیرها چشم پوشی شد و فرض شد که کلیه پارامترها به صورت مستقل از هم عمل می کنند.

در گام بعدی، ضرایب هم سنگ سواری براساس ضرایب رگرسیونی به دست آمده از تحلیل رگرسیونی و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شدند. مقادیر هم سنگ سواری پیشنهادی، برای تقاطعات چراغ دار شهر یزد در جدول (۲۲)، برای تقاطعات چراغ دار شهر اصفهان در جدول (۲۳) و میانگین این مقادیر برای دو شهر اصفهان و یزد در جدول (۲۴) ارائه شده است. سپس برای بررسی رابطه معناداری بین ضرایب هم سنگ سواری پیشنهادی برای هر رویکرد، آزمون تی تک نمونه ای انجام شد. نتایج به دست آمده در جدول (۲۵) ارائه شده است.

جدول ۲۰ نتایج آزمون هم‌بستگی پیرسون بر روی داده‌های تقاطعات شهر یزد

شهر	کد	نام رویکرد	سواری و موتورسیکلت	سواری و سنگین	موتورسیکلت و سنگین
یزد	DN	تقاطع دولت‌آباد- از سمت بلوار نواب	-۰,۳۱	-۰,۳۱۲	۰,۱۵۲
	DE	تقاطع دولت‌آباد- از سمت خیابان انقلاب	-۰,۰۷۹	-۰,۰۹۵	-۰,۰۸۶
	IP	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار پاک‌نژاد	۰,۲۱۹	-	-
	IE	تقاطع ایرانشهر- از سمت بلوار امام‌زاده جعفر	۰,۰۸۲	-۰,۱۱۶	-۰,۲۰۸
	MD	تقاطع مهدی- از سمت بلوار دهه فجر	۰,۲۵۸	-	-
	FP	تقاطع فرهنگیان- از سمت بلوار پاک‌نژاد	-۰,۰۸۲	-	-
	PA	تقاطع پژوهش- از سمت میدان عالم	-۰,۰۶۳	۰,۳	۰,۳
	PF	تقاطع پژوهش- از سمت فلکه اطلسی	۰,۱۴۸	۰,۳۲	-۰,۱۰۲

جدول ۲۱ نتایج آزمون هم‌بستگی پیرسون بر روی داده‌های تقاطعات شهر اصفهان

شهر	کد	نام رویکرد	سواری و موتورسیکلت	سواری و اتوبوس	سواری و مینی‌بوس	موتورسیکلت و اتوبوس	موتورسیکلت و مینی‌بوس	اتوبوس و مینی‌بوس
اصفهان	DD	تقاطع دانشگاه- از سمت خیابان دانشگاه	-۰,۴۲۴	۰,۳۴۸	-	۰,۳۱	-	-
	TT	تقاطع توحید- از سمت خیابان توحید	-۰,۴۰۸	۰,۴۰۱	-	-۰,۳۲۸	-	-
	AJ	تقاطع غیرهم‌سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان جی	-۰,۰۲۹	-۰,۰۹۸	-	-۰,۱۷۷	-	-
	AKH	تقاطع غیرهم‌سطح شهید آقابابایی- از سمت خیابان خواجه عمید	۰,۰۳۲۸	-	-۰,۳۴۷	-	-۰,۲۷۶	-
	MK	تقاطع ملک‌شهر- از سمت بلوار کاوه	-۰,۰۷۷	-۰,۱۲۹	-۰,۳۳۴	-۰,۰۶۷	-۰,۱۰۴	۰,۰۲۱

جدول ۲۲ نتایج ضرایب هم‌سنگ سواری تقاطع‌های شهر یزد

رویکرد	موتورسیکلت	سنگین (اتوبوس + مینی‌بوس)
تقاطع PF	0/49	2/1
تقاطع PA	0/55	1/96
تقاطع MD	0/51	-
تقاطع EP	0/53	-
تقاطع EE	0/51	2/48
تقاطع DE	0/56	2/04
تقاطع DN	0/35	2/18
تقاطع FP	0/45	-
تقاطع AS	0/49	-
میانگین	۰/۴۹	۲/۱۵

جدول ۲۳ نتایج ضرایب هم‌سنگ سواری تقاطع‌های شهر اصفهان

رویکرد	موتورسیکلت	اتوبوس	مینی بوس	سنگین (اتوبوس + مینی بوس)
تقاطع DD	۰/۴۲	۲/۴۷	-	-
تقاطع MK	۰/۴۱	۲/۶	۱/۳۹۰	-
	۰/۳۶	-	-	۲
تقاطع AJ	۰/۳۷	۲/۵۶	-	-
تقاطع TT	۰/۴۲	۲/۴۷	-	-
تقاطع SKH	-	-	۱/۵	-
میانگین	۰/۳۹۶	۲/۵۳	۱/۴۵	۲

جدول ۲۴ میانگین ضرایب هم سنگ سواری به دست آمده از دو شهر اصفهان و یزد

وسیله نقلیه	ضریب هم سنگ
موتورسیکلت	۰/۴۶
مینی بوس	۱/۴۵
اتوبوس	۲/۵۳
سنگین (اتوبوس و مینی بوس)	۲/۱۳

جدول ۲۵ نتایج آزمون تی تک نمونه ای برای ضرایب هم سنگ

وسیله نقلیه	ضریب هم سنگ مفروض	t	df	Sig.
موتورسیکلت	0/46	-0/075	13	0/941
اتوبوس	2/53	-0/152	3	0/888
مینی بوس	1/45	-0/091	1	0/942
وسیله نقلیه سنگین	2/13	-0/043	5	0/967

به دست آمد. مقایسه نتایج به دست آمده برای دو شهر اصفهان و یزد نشان می دهد که ضرایب هم سنگ سواری برای این دو شهر به هم نزدیک هستند و بنابراین شاید بتوان پیش بینی نمود که این مقادیر برای شهرهای دیگر ایران نیز کم و بیش مشابه باشد.

تفسیر نتایج آزمون تی تک نمونه ای

باتوجه به جدول (۲۵) سطح معناداری آزمون (sig.) برای ضرایب هم سنگ تمام وسایل نقلیه بیشتر از سطح خطای ۰,۰۵ می باشد که نشان می دهد فرضیه صفر را در سطح ۵ درصد نمی توان رد کرد و می توان نتیجه گرفت که

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می دهد که ضریب هم سنگ سواری به دست آمده برای موتورسیکلت ها در دو شهر اصفهان و یزد در بازه ۰/۳۵ الی ۰/۵۶ و برای وسایل نقلیه سنگین در بازه ۱/۹۶ الی ۲/۴۸ متغیر بوده است. برای تقاطعات شهر اصفهان، ضریب هم سنگ سواری برای مینی بوس به طور متوسط ۱/۴۵، برای اتوبوس در بازه ۲/۴۷ الی ۲/۶ به دست آمد، در حالی که این نتایج برای وسایل نقلیه سنگین (اتوبوس + مینی بوس) برای تقاطعات شهر یزد در بازه ۱/۹۶ الی ۲/۴۸ حاصل شد. به طور کلی ضریب هم سنگ سواری برای وسایل نقلیه سنگین دو شهر اصفهان و یزد ۲/۱۳

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی و تخمین مقادیر ضریب هم‌سنگ سواری به‌روش آنالیز رگرسیون چندمتغیره در تقاطعات چراغ‌دار شهرهای اصفهان و یزد پرداخته شد. هدف اصلی این تحقیق، تخمین مقادیر مناسب‌تر این ضرایب برای شرایط حاکم بر تقاطع‌های کشور ایران به‌جای استفاده از مقادیر پیشنهادی آیین‌نامه‌های کشورهای دیگر به‌منظور استفاده در طراحی، زمان‌بندی و تحلیل ظرفیت و عملکرد تقاطعات چراغ‌دار کشور ایران بود.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش را به‌شرح ذیل می‌توان خلاصه نمود:

۱. نتایج این مطالعه نشان داد که روش آنالیز رگرسیون، روش مناسبی برای محاسبه ضریب هم‌سنگ سواری در شرایط ترافیکی ناهم‌گن و نامنظم مانند شرایط ترافیکی حاکم بر ایران می‌باشد. در این پژوهش، روابط رگرسیون برای ۱۳ رویکرد از تقاطعات چراغ‌دار شهرهای اصفهان و یزد برازش شدند و سپس با استفاده از این روابط، ضرایب هم‌سنگ سواری محاسبه شدند. بدین ترتیب، مقادیر ضرایب هم‌سنگ سواری ۲/۵۳، ۱/۴۵ و ۰/۴۶ به‌ترتیب برای اتوبوس، مینی‌بوس و موتورسیکلت به‌دست آمد.

۲. هنگامی که تردد اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها در تقاطعات اندک باشند، می‌توان از مجموع آنها تحت عنوان «وسایل نقلیه سنگین» با ضریب هم‌سنگ سواری برابر با ۲/۱۳ در تحلیل و طراحی‌ها استفاده کرد.

۳. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل رگرسیون با نتایج سایر کشورها نشان داد که ضرایب هم‌سنگ به‌دست‌آمده از روش آنالیز رگرسیون در تقاطعات مورد بررسی قدری بیشتر از مقادیر پیشنهاد شده در آیین‌نامه‌های کشورهای دیگر است. این اختلاف احتمالا ناشی از تفاوت‌های موجود در مشخصات وسایل نقلیه، رفتار رانندگی، جزئیات سیستم کنترل ترافیک و شرایط محیط پیرامونی تقاطع‌ها باشد.

میانگین هر یک از ضرایب هم‌سنگ محاسبه‌شده برای وسایل نقلیه موجود برابر با مقادیر ارائه‌شده در جدول (۲۵) می‌باشد.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده برای ضرایب هم‌سنگ سواری با مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌های کشورهای استرالیا، مالزی، اندونزی، آمریکا و روس و بستر برای کشور انگلستان در جدول (۲۱) ارائه شده‌است.

جدول ۲۶ ضرایب هم‌سنگ سواری انواع وسایل نقلیه مورد استفاده در سایر کشورها [32,31,30,29,28]

وسایل نقلیه	سنگین (کامیون+ اتوبوس)	موتورسیکلت
ویستر	۱/۹۵	۰/۳۲
آمریکا	۲	-
اندونزی	۱/۳	۰/۴
مالزی	۱/۶	۰/۲۲
استرالیا	۲-۲/۵	*
ایران (این تحقیق)	۲/۱۳	۰/۴۶
* ضریب هم‌سنگ مربوط به‌صورت میدانی محاسبه می‌شود.		

مقایسه ضرایب هم‌سنگ سواری به‌دست‌آمده از آنالیز رگرسیون چندمتغیره با ضرایب پیشنهادی توسط آیین‌نامه‌های منتخب نشان می‌دهد که ضرایب به‌دست‌آمده از روش رگرسیون برای تقاطع‌های مورد بررسی در این پژوهش عموماً بیشتر از ضرایب پیشنهادی کشورهای نام‌برده است. عواملی هم‌چون تفاوت ابعاد وسایل نقلیه، تفاوت قدرت موتور، مانورپذیری و شتاب‌گیری وسایل نقلیه، استاندارد به‌کار رفته در طراحی هندسی تقاطع‌ها، رفتار رانندگی متفاوت، تفاوت‌های موجود در زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها و شرایط متفاوت محیط پیرامونی تقاطع‌ها در آن کشورها را در مقایسه با کشور ایران از جمله دلایل این اختلاف می‌توان برشمرد.

مراجع

1. Krammes, R., and Crowley, K., "Passenger car equivalents for trucks on level freeway segments", 65th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Transportation Research Record 1091, National Research Council, Washington, D.C, No. 1091, pp. 10-17, (1986).
2. Dehghani-Zadeh, M., and Fallah Tafti, M., "Estimating saturation flow under weak discipline traffic condition, case study: Iran", *Journal of Archives of Transport*, Vol. 46(2), pp. 47-60, DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2102>, (2018).
3. Greenshields, B. D., Shapiro, D., and Ericksen, E. L., "Traffic performance at urban intersections", Technical Report No. 1, Bureau of Highway Traffic, Yale University, (1947).
4. Kimber, R.M., McDonald, M., and Hounsell, N., "Passenger car units in saturation flows: concept, definition, derivation", *Journal of Transportation Research Part B: Methodological, Department of Civil Engineering, The University of Southampton, England*, Vol. 19, No.1, pp. 39-61, (1985).
۵. سازمان برنامه و بودجه، «تقاطع‌های هم سطح شهری: سوابق مطالعات»، نشریه معاونت امور فنی و تدوین معیارها، سازمان برنامه و بودجه، شماره ۱۴۵ - ۳، (۱۳۷۶).
6. Teply, S., and Jones, A. M., "Saturation flow: Do we speak the same language?", *Transportation Research Record*, No. 1320, pp. 144-153, (1991).
7. Werner, A., and Morrall, J., "Passenger car equivalencies of trucks, buses, and recreational vehicles for two-lane rural highways", *Transportation Research Record 615, Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, DC, No. 615, pp. 10-17, (1976).
۸. ها شمیان، فرزاد، و رضایی، محمدامین، «بررسی روش‌های تعیین ضریب هم سنگ سواری و سایل نقلیه»، کنفرانس مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، (۱۳۹۳).
۹. امینی، بهنام، و شهزاد، شروین، «ارزیابی مقیاس‌های ضرایب هم سنگ سواری و سایل نقلیه سنگین در راه‌های دو خطه دو طرفه ایران براساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله و سایل نقلیه»، پژوهش‌نامه حمل و نقل، سال نهم، شماره چهارم، (۱۳۹۱).
10. Chandra, S., and Kumar, U., "Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India", *Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers*, Vol. 129, No. 2, pp. 155-160, (2003).
11. Hu, Y., and Johnson, R., "Passenger car equivalents of trucks in composite traffic", Report DTFH, FHWA, U.S. Department of Transportation, (1981).
12. St John, A., and Glauz, W., "Speeds and service on multilane upgrades", 55th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Transportation Research Record 615, National Research Council, Washington, DC, No. 615, pp. 4-9, (1976).
۱۳. خاکی، علی، و ناصری فرد، حمید، «محا سبه ضریب هم سنگ سواری موتور سیکلت در تقاطع‌های چراغ‌دار براساس تحلیل تأخیر»، دهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل ترافیک، (۱۳۸۹).

۱۴. نصیری، حبیب‌الله، طباطبایی، سارا، و جعفریان، احسان، «برآورد هم‌سنگ سواری و سایل نقلیه سنگین در تقاطع‌های چراغدار براساس پارامتر تأخیر»، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت، (۱۳۸۲).
15. Cunagin, W., and Messer, C., "Passenger car equivalents for rural highways", *62nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Transportation Research Record 905*. TRB, National Research Council, Washington, DC, No. 905, pp. 61-68, (1983).
16. Demarchi, S., and Setti, J., "Limitations of pce derivation for traffic streams with more than one truck type", *Transportation Research Board TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM*, No. 1852, (2003).
۱۷. اویسی، خسرو، سهرابی، سهیل، و اسرافیلی، حنا، «تعیین ضرایب هم‌سنگ سواری و سایل نقلیه سنگین با استفاده از نمودارهای چگالی-نرخ جریان در آزادراه‌های کشور (مطالعه موردی: آزادراه تهران-کرج)»، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل ترافیک، (۱۳۹۴).
18. Minh, C. C., and Sano, K., "Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, pp. 1211-1222, (2003).
19. Kumar, P., Arkatkar, Sh., And Joshi, G., "New approach for estimating passenger car units on multilane urban roads with heterogeneous traffic conditions", *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, Vol. 144, No. 3, pp. 1-14, (2018).
20. Pajecki, R., Ahmed, F., Qu, X., Zheng, X., Yang, Y., and Easa, S., "Estimating passenger car equivalent of heavy vehicles at roundabout entry using micro-traffic simulation", *Frontiers in Built Environment*, Vol.5, No.77, pp. 1-11 (2019).
21. Pal, D., Sen, S., Chakraborty, S., and Roy, K., S., "Effect of pcu estimation methods on capacity of two-lane rural roads in india: a case study", *Transportation Research Procedia*, Vol. 48, pp. 734-746, (2019).
22. Mondal, S., Arya, V. K., D., and Gunarta, S., "Comparative analysis of saturation flow using various pcu estimation methods", *Transportation Research Procedia*, Vol. 48, pp. 3153-3162, (2020).
23. Granà, A., Giuffrè, T., Macioszek, E., and Acuto, F. "Estimation of passenger car equivalents for two-lane and turbo roundabouts using aimsun", *Frontiers in Built Environment*, Vol. 6, No. 86, pp.1-16, (2020).
24. Sugiarto, S., Apriandy, F., Darma, Y., Saleh, S. M., Rusdi, M., and Miwa, T., "Determining passenger car equivalent (pces) for pretimed signalized intersections with severe motorcycle composition using bayesian linear regression", *Plos One*, Vol. 16, No. 9, (2021).
25. Indian Road Congress, "Guidelines for the design of at-grade intersection in rural & urban area ", *IRC Indian Road Congress-Special Publication, No.41*, (1994).
26. Adnan, M., "Passenger car equivalent factors in heterogenous traffic environment-are we using the right numbers?", *Procedia Engineering, Fourth International Symposium on Infrastructure Engineering in Developing Countries*, Vol. 77, pp.106 – 113, (2013).

27. Adams, Ch. A., Zambang, M. A. M., and Boahen, R. O., "Effects of motorcycles on saturation flow rates of mixed traffic at signalized intersections in Ghana", *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp. 94-101, (2015).
28. Werner, A., and Webster, F. V., "Traffic signal settings", Road Research Laboratory Technical Paper No. 39, HMSO, London, No. 39, (1958).
29. Transportation Research Board., "Highway capacity manual", Transportation Research Board-National Research Council, Washangton D.C, (2010).
30. Indonesian Directorate General of Highways., "Indonesian highway capacity manual, urban and semi-urban traffic facilities", Ministry of Public Work, (1993).
31. Malaysian Ministry of Works., "Malaysian highway capacity manual 2006", Chapter 3, (2006).
32. Austroads, "Guide to traffic management", Part 3: Transport Studies and Analysis Methods, Austroads Ltd, (2009).

ارزیابی بوم سازگاری سیستم‌های دیوارچینی رایج در ایران با استفاده از روش TOPSIS*

شهناز دانش^(۳)محمد رضا توکلی زاده^(۲)هادی مددی قله‌زو^(۱)

چکیده حفاظت از محیط زیست از ارکان مهم توسعه پایدار است، به نحوی که رشد سیاسی و اقتصادی کشورها بدون توجه به آن، فاقد هرگونه ارزشی است. تحقیق حاضر با عنایت به نقش و جایگاه دیوارها در ساختمان سازی، به بررسی اثرات زیست محیطی سیستم‌های رایج دیوارچینی پرداخته است. برای این منظور هفت پارامتر زیست محیطی شامل «میزان مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مصرف منابع و مواد اولیه دارای اهمیت»، «میزان مصرف آب در فرآیند ساخت و اجرای دیوار»، «میزان تولید CO₂ در نتیجه مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مقاومت حرارتی دیوارهای ساخته شده»، «میزان تولید ضایعات و نخاله در نتیجه اجرای دیوار» و «زیبایی حاصل از اجرا» به عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شده‌اند؛ تا براساس آنها و به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، پنج سیستم رایج دیوارچینی در ایران را مورد سنجش قرار گیرد و بوم سازگارترین سیستم مشخص شود. دیوارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل دیوارهای آجر فشاری، بلوک سفالی، بلوک بتن سبک AAC، پانل مشبک سه بعدی و صفحات روکش دار گچی بوده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از نظر متخصصان پاسخ دهنده به پرسش‌نامه‌ها، معیار «میزان مصرف آب» با ارزش نسبی ۰,۱۹۵ بیشترین اهمیت و معیار «زیبایی» با ارزش نسبی ۰,۰۴۹ کمترین اهمیت را دارند. باتوجه به نتایج تحقیق حاضر، سیستم دیوار چینی صفحات روکش دار گچی بیشترین و سیستم دیوار چینی پانل مشبک سه بعدی، کمترین سازگاری را با محیط زیست دارند.

واژه‌های کلیدی بوم سازگاری، دیوارهای ساختمانی، روش TOPSIS، معیارهای زیست محیطی.

Eco-Friendliness Evaluation of Separating Wall Systems in Iran Using TOPSIS Method

H. Madadi Ghollehzou

M. Tavakkolizadeh

S. Danesh

Abstract: Environmental protection is one of the most important factors of sustainable development, so that the political and economic growth of countries, regardless of it, is worthless. Considering the role and position of separating walls in construction, the present study, has investigated the environmental effects of common separating wall systems in Iran. For this purpose, seven environmental parameters including: Energy Consumption in Construction Process, Consumption of Important Resources and Raw Materials, Water Consumption in Construction Process, CO₂ Production Due to Energy Consumption in the process of construction, the amount of thermal resistance of the walls, the amount of waste produced by the implementation of the walls and the beauty of the walls are considered as evaluation criteria. Regarding these criteria and using the TOPSIS method, this study evaluates the five most common separating wall systems in Iran and determine the most compatible eco-friendly system. Five different types of walls, including solid clay (SC) bricks, hollow clay (HC) blocks, autoclaved aerated concrete (AAC) blocks, three-dimensional (3D) sandwich panels and gypsum boards were investigated in this regard. The results show that according to experts, among the mentioned criteria, the criterion of "water consumption" with a relative value of 0.195 is the best and the criterion of "beauty" with a relative value of 0.049 is the least important. Thus, the results of this study, on the basis of all criteria, showed that the gypsum board has the most and the 3D sandwich panels has the least environmental compatibility.

Key Words Eco-Friendly, Environmental criteria, Separating Wall Systems, TOPSIS Method.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۱۱/۱۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۷/۲۵ از صفحه ۲۳ تا ۳۸ می‌باشد.

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

(۳) استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

ساختمان‌سازی به‌طور قابل‌توجهی بر روی محیط زیست اثر می‌گذارد و عملیات ساختمانی بخش قابل توجهی از منابع طبیعی، انرژی و آب شیرین جهان را به مصرف می‌رسانند. به‌عنوان نمونه مصرف انرژی در کارخانه‌های تولید مصالح ساختمانی و فرآیند حمل‌ونقل آنها، مستقیماً بر گرمایش جهانی، ایجاد باران‌های اسیدی و مه‌دود فتوشیمیایی اثرگذارند و مشکلات دفع پسماندها در نتیجه تخریب و بازسازی ساختمان‌های قدیمی، از دیگر اثرات زیست‌محیطی این صنعت به‌شمار می‌روند [۱]. مطابق آمارها حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد تولید گازهای گلخانه‌ای و ۴۰ تا ۵۰ درصد زباله‌های جهان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به صنعت ساختمان مربوط است [۲].

صنعت ساختمان در ایران یکی از صنایع مهم و اساسی محسوب می‌شود. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت راه و شهرسازی [۳] بیان می‌دارد که باتوجه به جوان بودن جمعیت ایران و با استناد به سند چشم‌انداز توسعه در افق ۱۴۰۴، زمانی کشور در حوزه مسکن به توسعه‌یافتگی دست می‌یابد که شاخص تراکم خانوار در واحد مسکونی به یک برسد و هر خانواده ایرانی دارای یک مسکن باشد. برای رسیدن به این هدف دولت می‌بایست به مدت ۲۰ سال بستر تولید سالانه ۱/۵ میلیون واحد مسکونی را فراهم نماید.

فرآیند ساختمان‌سازی شامل اجرای بخش‌های مختلف و متنوع است. در این میان، دیوارچینی از مهم‌ترین این بخش‌ها است. دیوارها نقطه تلاقی فعالیت‌های چهارگانه عمرانی، الکتریکی، مکانیکی و معماری هستند و همین مسئله اهمیت آنها را هویدا می‌سازد. باتوجه به اولویت‌ها و سلاقی مختلف سازندگان و مشتریان بازار، تولیدکنندگان انواع مختلفی از مصالح سازنده دیوار را ارائه می‌کنند. این مصالح طیف گسترده‌ای از مصالح سنتی مانند آجرهای فشاری تا مصالح نوینی هم‌چون بلوک‌های سبک بتنی و صفحات روکش‌دار گچی را در بر می‌گیرند. بدیهی است که تأثیرات

زیست‌محیطی سیستم‌های گوناگون دیوارچینی یکسان نیست؛ اما چگونه و با چه راه‌کارهایی می‌توان بوم‌سازگارترین این سیستم‌ها را تعیین نمود؟ باتوجه به تنوع سیستم‌های موجود در بازار، فرآیند یافتن و برگزیدن گزینه بهینه زیست‌محیطی، اهمیت بالایی دارد. به همین دلیل فرآیند «انتخاب و مقایسه گزینه‌ها» نیازمند تدوین و توسعه معیارهایی است که با روش صحیح انتخاب شوند و مورد وزن‌دهی قرار گیرند.

از سوی دیگر فرآیند انتخاب با متغیرهای متعدد، امر پیچیده‌ای است. همواره در هر فرآیند انتخاب علاوه بر معیارهای کمی، مجموعه‌ای از معیارهای کیفی وجود دارند که امتیازدهی به گزینه‌های مختلف را دشوار می‌کنند. وجود این معیارها باعث شده که متخصصان به ایجاد و توسعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره همت گمارند. این روش‌ها پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر عوامل مختلف بر مسئله را با تمرکز بر این عوامل و ترکیب کردن نتایج حل می‌کنند. به‌طور کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multiple Criteria Decision Making) به دو دسته مدل‌های چند هدفه (Multiple Objective Decision Making) و مدل‌های چند معیاره (Multiple Attribute Decision Making) تقسیم می‌شوند. در میان مدل‌های چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP: Analytical Hierarchy Process) و تاپسیس (TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) از جمله روش‌هایی هستند که برای بررسی مسائل علوم مهندسی مناسبند. فرآیند حل مسئله در این روش‌ها به‌طور کلی تحت سه عمل «تبدیل معیارهای کیفی به کمی»، «بی‌مقیاس کردن معیارها» و «تعیین وزن‌های نسبی معیارها» انجام می‌شود.

هدف تحقیق. مطالعات کتابخانه‌ای نشان می‌دهند که علی‌رغم گستردگی دامنه فعالیت‌های ساختمان‌سازی و نقش این صنعت در تخریب محیط زیست، محققان هنوز آن‌چنان که باید به بررسی این تأثیرات نپرداخته‌اند. از

گرفته شده هستند.

زارعی و همکاران [۶] در تحقیقی دیگر، با استفاده از روش FAHP (تحلیل سلسله مراتبی فازی) سه نوع سیستم سقف ساختمانی نوین، شامل سقف کوبیاسکس، سقف یوبوت و سقف با CLC را براساس هشت معیار و بدون در نظر گرفتن هیچ زیرمعیاری، مورد بررسی قرار دادند. این معیارها شامل سادگی اجرا، عمر جنس سازه، کاهش هزینه، تأمین مصالح، مقاومت در برابر زلزله، اجرای سریع، عایق صوتی و انعطاف پذیری سازه بودند. در نهایت سقف یوبوت با وزن مطلق ۰/۱۸۴ به عنوان بهترین گزینه تعیین گردید.

ارجمند عسکری و خدادادی [۷] در تحقیق خود شش سیستم متداول سستی و نوین درزمینه اجرای دیوارهای ساختمانی شامل دیوار آجری، بلوک سفالی، بلوک لیکا، بلوک سبک گازی، پانل پیش ساخته سه بعدی و پانل پیش ساخته کفاف را مورد مطالعه قرار دادند. آنها از معیارهای «هزینه»، «زمان»، «قابلیت اجرایی» و «ویژگی های فنی با رویکرد صنعتی سازی» برای ارزیابی و مقایسه استفاده نمودند. در نهایت به کمک روش TOPSIS این سیستم ها را رتبه دهی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که سیستم پانل پیش ساخته کفاف با ارزش ۰/۳۱، بهترین و سیستم دیوار آجری با ارزش ۰/۰۵، بدترین سیستم دیوارچینی هستند.

نامداری و همکاران [۸] در تحقیقی آثار زیست محیطی کوره های آجرپزی منطقه ای در اصفهان را بررسی کرده اند. آنها برای وزن دهی از روش تحلیل سلسله مراتبی و برای رتبه بندی گزینه ها از روش TOPSIS استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که کارخانه هایی با سوخت مصرفی نفت، میزان ذرات معلق و مونواکسیدکربن دودکش بالاتری دارند. بررسی سنجش صوت نیز نشان داد که در مقایسه با استاندارد صدا در مناطق صنعتی، میانگین صوت در گزینه های مورد بررسی کمتر از مقدار استاندارد است.

مقصودلو و همکاران [۹] نیز در تحقیق خود با استفاده

طرف دیگر کاربرد روش های نوین تصمیم گیری در بخش ساختمانی، چندان مورد توجه قرار نگرفته است. هدف تحقیق حاضر مقایسه انواع سیستم های رایج دیوارچینی از نظر میزان سازگاری با محیط زیست است؛ از همین رو به کمک روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS پنج سیستم رایج دیوارچینی در ایران، براساس هفت معیار زیست محیطی مورد سنجش قرار گرفته اند تا از میان آنها بوم سازگارترین گزینه تعیین گردد.

سوابق پژوهشی. از جمله پژوهش های انجام شده با روش های تصمیم گیری چندمعیاره در صنعت ساختمان می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

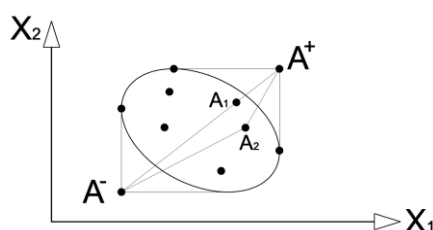
مددی و همکاران [۴] در پژوهشی با در نظر گرفتن چهار معیار زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی و مقایسه سیستم های رایج دیوارچینی در ایران پرداختند. دیوارهای در نظر گرفته شده در تحقیق مذکور شامل دیوارهای آجر فشاری، دیوارهای بلوک سفالی، دیوارهای بلوک سبک گازی، دیوارهای تریدی پانل، دیوارهای صفحات گچی روکش دار بودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که صفحات روکش دار گچی بهترین و دیوارهای تریدی پانل بدترین گزینه در میان سیستم های رایج دیوارچینی در ایران هستند.

هلاکویی [۵] نیز با در نظر گرفتن هفت معیار شامل تعداد طبقات، قیمت ساخت، عایق صدا، مقاومت حرارتی، مقاومت رطوبتی، تعداد نفرات و تجهیزات و سهولت در اجرا، به مقایسه چهار سیستم نوین دیوارچینی پرداخته است. سیستم های دیوارچینی 3D، JCF، LSF، Panel و لیکا، گزینه های مورد ارزیابی در این تحقیق بودند. هلاکویی به منظور ارزیابی این گزینه ها، از روش AHP استفاده کرده و تمامی معیارها را به عنوان معیارهایی کیفی در نظر گرفته است. نتایج تحقیق او نشان می دهد که بلوک لیکا بهترین و LSF بدترین سیستم دیوارچینی در میان چهار سیستم مذکور و مطابق معیارهای در نظر

تعیین گزینه بهینه از طریق آنها صورت می‌گیرد. منظور از این دو راه حل به ترتیب مجموعه‌ای از بهترین و بدترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری است که به ترتیب به عنوان راه حل‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی شناخته می‌شوند.

گزینه بهینه در این روش، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و در عین حال بیش‌ترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی را داشته باشد [۱۰]. به عبارتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها به این روش، گزینه‌هایی که بیشترین تشابه با راه حل ایده‌آل مثبت و کم‌ترین تشابه با راه حل ایده‌آل منفی را داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند.

فضای هدف بین دو معیار فرضی X_1 و X_2 ، در شکل (۱) نشان داده شده است. در اینجا A^+ و A^- به ترتیب، راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی هستند. چنان‌که مشاهده می‌گردد، گزینه A_1 به نسبت گزینه A_2 فاصله کمتری تا راه حل ایده‌آل مثبت و فاصله بیشتری تا راه حل ایده‌آل منفی دارد و لذا گزینه برتری است.



شکل ۱ فضای هدف در روش TOPSIS

به طور کلی تصمیم‌گیری به روش TOPSIS مستلزم طی کردن گام‌های زیر است:

گام اول. آماده‌سازی ماتریس تصمیم.

گام دوم. به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V).

گام سوم. تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی.

گام چهارم. به دست آوردن فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی.

گام پنجم. تعیین نزدیکی نسبی (CL_i) یک گزینه به

از دو تکنیک TOPSIS و تحلیل سلسله‌مراتبی به یافتن بهترین گزینه مربوط به استفاده مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از میان گزینه‌های استفاده در فضای سبز، استفاده در کشاورزی، تولید بیوگاز و بیابان‌زدایی پرداختند. آنها به منظور دست‌یابی به گزینه بهینه از چهار معیار اصلی شامل فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی - اجتماعی - فرهنگی و زیست‌محیطی استفاده کردند. در نهایت پس از آن‌که کارشناسان و خبرگان به وسیله روش دلفی و از طریق پرسش‌نامه‌ها به امتیازدهی معیارها و گزینه‌ها پرداختند؛ مشخص گردید که «استفاده از لجن در فضای سبز» بهترین گزینه برای کاربرد مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

مبانی و روش‌ها

گزینه‌های مورد ارزیابی. باتوجه به اهمیت و میزان کاربرد در ساختمان‌سازی کشور، سیستم‌های دیوارچینی مورد ارزیابی شامل «آجر فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های سبک گازی»، «پانل‌های سه‌بعدی» و «صفحات روکش‌دار گچی» بوده‌اند. به طور کلی در تعیین گزینه‌ها تلاش شده است تا به نسل‌های مختلف دیوارچینی شامل دیوارهای سنتی، نیمه‌مدرن و مدرن توجه شود.

روش TOPSIS برای ارزیابی گزینه‌ها. واژه TOPSIS مخفف Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution به معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل است. این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص ارزیابی می‌شوند و هر مسئله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت.

اصول کلی روش TOPSIS این است که با استفاده از گزینه‌های موجود، دو راه حل فرضی تعریف می‌شود و

راه حل ایده آل.

وسایل الکتریکی و امکانات رفاهی، به کار برده می شود. در تحقیق حاضر برای ارزیابی انرژی حرارتی مرحله بهره برداری از معیار «میزان مقاومت حرارتی» و برای ارزیابی میزان انرژی فرآیند تولید از معیار «مصرف ویژه انرژی برای ساخت» استفاده گردیده است.

پارامترهای ارزیابی

هنگامی که از ارزش های زیست محیطی سخن به میان می آید، طیف گسترده ای از مسائل هم چون آلودگی هوا، آلودگی آب های زیرزمینی و سطحی، آلودگی های صوتی و خاک، تخریب اکوسیستم های طبیعی و مصرف منابع به ذهن متبادر می شوند. این که کدام دسته از مسائل زیست محیطی، مبنای ارزیابی قرار گیرند، دارای اهمیت است. در نظر گرفتن مسائل غیرضروری و نامتناسب با واقعیت ها می تواند موجب کم ارزش شدن نتایج ارزیابی شود. از همین رو در تحقیق حاضر با توجه به نیازها و شرایط بومی و اقلیمی کشور و ویژگی های صنعت ساختمان، و به منظور اجتناب از این نقص، ضمن بررسی و انجام مطالعات کتابخانه ای، با استفاده از نظرات خبرگان حوزه زیست محیطی، هفت پارامتر مشابه جدول (۱) به عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شده اند.

جدول ۱ معیارهای ارزیابی

معیارهای کمی	۱- مصرف انرژی برای ساخت ۲- مصرف آب ۳- تولید CO ₂ ۴- مقاومت حرارتی (میزان اتلاف انرژی)
معیارهای کیفی	۱- مصرف منابع و مواد اولیه دارای اهمیت ۲- تولید ضایعات و نخاله در اجرای دیوار ۳- زیبایی حاصل از اجرا

الف- مصرف ویژه انرژی. مصرف ویژه انرژی معیاری جهانی است که برای مقایسه میزان مصرف انرژی کارخانه های مختلف پذیرفته شده است و عبارت از آن میزان انرژی است که به ازای یک واحد تولید، مصرف می شود. مصرف ویژه انرژی به صورت سه شاخص مصرف ویژه انرژی حرارتی، مصرف ویژه انرژی الکتریکی و مصرف ویژه انرژی کل بیان می گردد.

ب- مصرف ویژه انرژی کل گزینه ها. نحوه اندازه گیری و محاسبه مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی یک کارخانه، براساس مدارک و مستندات صادر شده از مراجع رسمی مانند قبوض مربوط به حامل های انرژی برای دوره ارزیابی، تعیین شده است؛ اما از آنجا که معمولاً مصرف ویژه انرژی حرارتی و الکتریکی کارخانه های مختلف سازنده یک محصول متفاوت است، در تحقیق حاضر برای تعیین این مقادیر، از استانداردها و معیارهای ملی، مانند ضوابط وزارت نیرو، سازمان استاندارد و... استفاده شده است. همچنین در مواردی که ضوابطی در این زمینه موجود نیست، از روش اول استفاده گردیده است.

مصرف منابع و مواد اولیه دارای اهمیت. منظور از منابع، موادی است که به صورت مستقیم از معادن در طبیعت استخراج می شوند و به عنوان ماده اولیه در تهیه و تولید مصالح به کار گرفته می شوند. از جمله این مواد و مصالح می توان به خاک های رسی، ماسه ها، آب، سنگ گچ، محصولات نفتی و مواد سیلیسی اشاره نمود. برای فراهم نمودن امکان ارزیابی و تعیین ارزش نسبی گزینه ها در ارتباط با این معیار، مواد شاخصی با سه ویژگی در نظر

مصرف انرژی برای ساخت. انرژی مصرفی به شکل انرژی الکتریکی و حرارتی، در مرحله تولید مصالح با هدف تأمین حرارت لازم فرآیندهای شیمیایی و به کار انداختن تجهیزات و در مرحله بهره برداری با هدف تأمین شرایط دمایی مطلوب و فراهم آوردن امکان راه اندازی

علاوه بر این، همواره مقداری آب در مرحله برپایی دیوار به مصرف می‌رسد. بر همین اساس، آب مصرفی مربوط به هر یک از گزینه‌ها در دو بخش «آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح» و «آب مصرفی در مرحله برپایی دیوار» ارزیابی گردیده است. ارزش نسبی گزینه‌ها نیز پس از محاسبه هر دو نوع آب مصرفی، از جمع جبری مقادیر این دو بخش حاصل شده است.

الف- آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح. منظور از آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح، مقدار آبی است که برای تولید واحد حجم هر کدام از گزینه‌ها در کارخانه سازنده، به عنوان یکی از مواد اولیه، به مصرف می‌رسد.

ب- آب مصرفی در مرحله برپایی دیوار. در مرحله برپایی دیوار هم‌چون مرحله ساخت، برای انجام عملیات مونتاژ دیوار (سفت کاری) و اجرای اندودها و رویه‌های نهایی (نازک کاری) به آب نیاز است. آب جزء مهمی از ملات‌های سیمان و اندودهای خاک و گچ و گچ است. پس از تعیین قسمت‌های مختلف دیوار اجرا شده با هر کدام از گزینه‌ها، مقدار آب مصرفی مربوط به این قسمت‌ها محاسبه گردیده است.

تولید CO_2 . از بزرگ‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهان امروز، افزایش بیش از حد اثر گازهای گلخانه‌ای است. در میان انواع مختلف گازهای گلخانه‌ای، CO_2 از اهمیت بیشتری برخوردار است. محمودزاده و همکاران [۱۳] بیان می‌کنند که با وجود ناچیز بودن سهم ایران از کل CO_2 تولیدی جهان، میزان تولید این گاز به تولید ناخالص ملی در ایران، بسیار بالا و حدود ۸ برابر کشور آمریکا است. نقش صنعت ساختمان در انتشار CO_2 را می‌توان به بخش‌هایی مانند «تهیه و تولید محصولات و مصالح»، «حمل و نقل از محل تولید تا مصرف»، «مصرف سوخت در مرحله برپایی ساختمان»، «مصرف سوخت در مرحله بهره‌برداری و مرحله تخریب و دفع مواد حاصل از آن»

گرفته شدند: «مواد شاخص نباید از نظر کمی در هیچ یک از گزینه‌ها برابر صفر باشند»، «مواد شاخص می‌بایست دارای اهمیت باشند» و «مواد شاخص می‌بایست از نظر کیفی در گزینه مورد نظر دارای نقشی غیرقابل جبران و جایگزینی باشند» به عبارتی جزء مواد اصلی سازنده گزینه‌ها باشند.

پس از مشخص شدن مواد تشکیل‌دهنده هر گزینه، ماده شاخص آن گزینه تعیین و با هم‌ارز گرفتن ارزش ماده شاخص هر گزینه با آن گزینه، ارزش‌های نسبی محاسبه شدند.

الف- ماده شاخص تشکیل‌دهنده گزینه‌ها. باتوجه به مقادیر و میزان اهمیت مواد موجود در گزینه‌ها برای آجرهای فشاری و بلوک‌های سفالی «خاک رس»، بلوک‌های AAC «سیلیس»، پانل‌های سه‌بعدی «گرانول»، ماده اصلی پلی‌استایرن» و برای صفحات روکش‌دار گچی «گچ» به عنوان مواد شاخص سازنده در نظر گرفته شدند.

ب- تعیین زیرمعیار برای سنجش ارزش نسبی مواد شاخص. به منظور تعیین ارزش نسبی مواد شاخص، سه زیرمعیار در نظر گرفته شدند؛ این زیرمعیارها شامل «قابلیت استفاده از مواد شاخص در کشاورزی»، «خطر از بین رفتن منابع سازنده مواد شاخص» و «قابلیت بازگشت به حالت اولیه در مواد ساخته شده از مواد شاخص» بودند.

مصرف آب. صنعت ساختمان از جمله بخش‌هایی است که مقدار فراوانی آب در آن مصرف می‌شود. این صنعت برخلاف بسیاری از صنایع، از آب نه تنها به عنوان ماده‌ای فرعی بلکه به عنوان یکی از اصلی‌ترین مصالح مورد نیاز خود استفاده می‌کند، حتی گاهی آب را مهم‌ترین فرآورده خام ساختمانی می‌دانند [۱۱].

آب به عنوان ماده اولیه در تولید مصالح سازنده دیوارها نقش مستقیم دارد؛ به طوری که مقدار و کیفیت آن در ویژگی‌های مصالح تأثیر فراوانی خواهد داشت [۱۲].

مقاومت‌های اجزای مختلف آن خواهد بود [۱۳ و ۱۵].

ب- تعیین مقاومت حرارتی گزینه‌ها. باتوجه به جزئیات اجرای دیوارهای خارجی و همچنین مقادیر مربوط به ضرایب مقاومت حرارتی گزینه‌های مختلف، میزان مقاومت دیوارهای خارجی اجراشده با هر کدام از گزینه‌ها محاسبه گردیده‌است.

تولید ضایعات و نخاله. ضایعات ساختمانی را می‌توان به نخاله‌های مربوط به مرحله استخراج مواد اولیه، ساخت و تولید، برپایی و اجرا، تخریب و جمع‌آوری و حمل‌ونقل میان بخش‌های مختلف (از تولید تا تخریب) تقسیم کرد. در تحقیق حاضر بررسی میزان ضایعات و نخاله‌ها تنها در مرحله برپایی و اجرای (استفاده از مصالح) دیوارها انجام گرفته‌است. از طرف دیگر برای انجام مقایسات این بخش، لازم است تعریف روشنی از ضایعات و نخاله ارائه شود. از آنجا که گزینه‌های مورد بررسی در ابعاد و شکل‌های مشخص تولید و عرضه می‌گردند، می‌توان نخاله و ضایعات را به دو شکل تعریف نمود: «قطعات و برش‌هایی که حین باراندازی و جابه‌جایی مصالح در کارگاه به‌وجود می‌آیند» یا «قطعات و برش‌هایی که به‌منظور اندازه کردن مصالح به‌منظور جانمایی و اجرای دیوار توسط اجرا کنندگان (مانند بنا) از مصالح جدا می‌شوند».

بدین ترتیب می‌توان از میزان تقریبی ضایعات تولیدی حاصل از باراندازی و جابه‌جایی‌های مصالح در کارگاه و همچنین میزان ضایعات تولیدی در نتیجه اجرای دیوارها آگاه شد. کارشناسان باتوجه به تجربه کاری، ویژگی‌های عرضه ماده مورد نظر، چگونگی جابه‌جایی آن در کارگاه و همچنین واقعیت‌های اجرایی قادرند تخمینی نزدیک به واقع از این ضایعات داشته باشند.

زیبایی. زندگی در میان دیوارهایی بدون آراستگی و

تقسیم نمود. ارزیابی میزان انتشار کل این گاز در تمامی بخش‌های یک ساختمان به‌کمک روش‌های ارزیابی چرخه طول عمر صورت می‌گیرد. در تحقیق حاضر برای تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با میزان تولید CO_2 ، استفاده از مقدار انرژی حرارتی و الکتریکی به‌کار گرفته‌شده در فرآیند ساخت هر گزینه، مقدار CO_2 معادل آن انرژی محاسبه شده‌است. به این ترتیب مقدار CO_2 منتشرشده در مرحله ساخت گزینه‌ها به‌دست آمده‌است. از طرف دیگر باتوجه به نقش مؤثر تولید سیمان در ایجاد و انتشار گاز CO_2 و تشابه تمام گزینه‌ها در استفاده از سیمان در مرحله برپایی دیوارهای خارجی، مقدار تولیدی این گاز در نتیجه مصرف سیمان مربوط به برپایی دیوار نیز محاسبه و در جمع کل دخالت داده شده‌است.

مقاومت حرارتی. تنظیم درجه حرارت فضای داخلی ساختمان‌های مسکونی برای تأمین آسایش ساکنان، اصلی‌ترین عامل مصرف بی‌رویه انرژی است. براساس برآوردها میزان تبادل حرارتی از دیوارهای پیرامونی در ساختمان‌های مسکونی بین ۲۵٪-۱۵٪ است [۱۴]. از آنجا که مواد و مصالح مختلف مقاومت‌های متفاوتی در برابر انتقال حرارت از خود نشان می‌دهند، توجه به قابلیت انتقال حرارت در مصالح به‌کار گرفته‌شده برای اجرای این دیوارها دارای اهمیت ویژه‌است. در این معیار گزینه‌های مختلف مورد نظر برای اجرای دیوارهای خارجی از نظر میزان مقاومتشان در برابر انتقال حرارت با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند.

الف- مقاومت حرارتی. مقاومت حرارتی مقدار مقاومت در مقابل جریان حرارت در یک نوع مصالح یا ترکیبی از آنها با ضخامت معین است. مقاومت حرارتی هر نوع مصالح از تقسیم ضخامت آن بر ضریب هدایت حرارتی‌اش به‌دست می‌آید. همچنین در مواردی که ترکیبی از چند نوع مصالح، مانند دیوارهای ساختمانی، وجود داشته باشد که به‌صورت لایه‌های موازی روی هم قرار گرفته‌اند، مقاومت کل، معادل جمع جبری

شد.

محاسبه ارزش نسبی معیارها. پس از جمع‌آوری پاسخ کارشناسان به پرسش‌نامه‌ها، درایه‌های ماتریس‌های مقایسه زوجی و ارزش نسبی معیارها، مشابه جدول (۲) به دست آمده‌اند.

محاسبه ارزش نسبی زیرمعیارها در ارتباط با معیارها. در محاسبه درایه‌های ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی زیرمعیارهای «میزان مصرف منابع»، «میزان تولید ضایعات و نخاله» و «زیبایی» (جدول‌های ۳ تا ۵)، از پاسخ‌های کارشناسان به پرسش‌نامه‌های ارزیابی استفاده گردیده‌است.

محاسبه ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با معیارها. براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌های معیارهای کیفی و محاسبات معیارهای کمی، ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها در هر کدام از معیارها مطابق جدول‌های (۶) تا (۱۲) به دست آمده‌است. لازم به توضیح است که جدول‌های (۶) و (۱۱) و (۱۲) مربوط به ارزش نسبی زیرمعیارهایی است که براساس درایه‌های ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی محاسبه شده‌اند.

همچنین درخصوص مقادیر جدول (۸) می‌بایست ذکر شود که باتوجه به صفر بودن مقدار آب مصرفی در فرآیند برپایی دیوارهای با صفحات روکش‌دار گچی، به‌منظور فراهم شدن امکان مقایسه با سایر گزینه‌ها، مقدار یک کیلوگرم آب در مترمربع دیوار برای این گزینه در نظر گرفته شده است

چشم‌نوازی، هرچند امنیت لازم برای رسیدن به آرامش روانی را فراهم می‌نماید اما هرگز مطلوبیت کافی برای لذت از زندگی را تأمین نمی‌کند. دیوارها به‌عنوان المان‌های اصلی فضاسازی در ساختمان‌های مسکونی، نقش مهمی در ایجاد تصویری زیبا از محیط بر عهده دارند. با عنایت به همین اهمیت است که «زیبایی» به‌عنوان معیاری مهم مورد توجه قرار گرفته‌است. از طرفی باتوجه به متکثر بودن مفهوم زیبایی در اذهان، می‌بایست برای دست یافتن به تعریفی مشترک ابتدا، زیرمعیارهایی برای آن در نظر گرفته شود. سؤال اساسی این است که وقتی گفته می‌شود: «دیواری از دیوار دیگر زیباتر است» منظور چیست؟ در تحقیق حاضر موارد سه گانه‌ای به‌عنوان مفهوم واقعی انتخاب دیوار زیباتر در نظر گرفته شده‌اند: «شاقولی بودن دیوار»، «گونی بودن دیوار» و «داشتن سطح صاف و یک‌دست برای اجرای رنگ و پوشش دیوار».

ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها و زیرمعیارها

از آنجا که مطابق جدول (۱) تعدادی از معیارهای ارزیابی، پارامترهایی کیفی بودند؛ انجام مقایسه میان گزینه‌ها بر مبنای آنها با طراحی و تدوین پرسش‌نامه‌هایی، مطابق روش دلفی، انجام گرفته‌است. برای این منظور نسخه‌های تحت وب پرسش‌نامه‌ها به آدرس الکترونیکی حدود هشتاد نفر از اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران در سراسر کشور ارسال شد. همچنین نسخه کاغذی این پرسش‌نامه‌ها در اختیار تعدادی از فعالان ساختمان‌سازی مانند مهندسان اجرایی، سرپرستان کارگاه، مسئولان دفاتر فنی و مهندسان نظام مهندسی استان خراسان قرار گرفت. در انتها با استفاده از روش میانگین هندسی، برآیند نظرات مربوط به هر پرسش‌نامه محاسبه و به‌کار گرفته شد. در خصوص تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با معیارهای کمی از منابع علمی، دستورالعمل‌ها و نشریات رسمی نهادهای قانون‌گذار و اطلاعات میدانی استفاده

جدول ۲: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی معیارها

معیارها	الف	ب	پ	ت	ث	ج	ج	ارزش نسبی
الف = مصرف انرژی	۱/۰۰۰	۱/۰۸۷	۱/۰۳۸	۱/۰۸۷	۰/۹۳۵	۱/۵۱۰	۳/۸۷۱	۰/۱۷۳
ب = مصرف منابع	۰/۹۲۰	۱/۰۰۰	۰/۸۸۳	۱/۱۳۰	۱/۴۷۴	۱/۸۹۲	۳/۵۵۴	۰/۱۸۱
پ = مصرف آب	۰/۹۶۳	۱/۱۳۳	۱/۰۰۰	۱/۳۳۷	۱/۳۹۰	۲/۱۲۵	۳/۶۷۰	۰/۱۹۵
ت = تولید CO ₂	۰/۹۲۰	۰/۸۸۵	۰/۷۴۸	۱/۰۰۰	۱/۱۸۹	۱/۵۷۶	۳/۷۴۹	۰/۱۶۲
ث = مقاومت حرارتی	۱/۰۶۹	۰/۶۷۸	۰/۷۲۰	۰/۸۴۱	۱/۰۰۰	۱/۲۲۱	۲/۱۱۱	۰/۱۳۴
ج = تولید ضایعات	۰/۶۶۲	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۶۳۴	۰/۸۱۹	۱/۰۰۰	۲/۴۸۷	۰/۱۰۶
ج = زیبایی	۰/۲۵۸	۰/۲۸۱	۰/۲۷۲	۰/۲۶۷	۰/۴۷۴	۰/۴۰۲	۱/۰۰۰	۰/۰۴۹

جدول ۳: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای مصرف منابع

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف = قابلیت استفاده در کشاورزی	۱/۰۰۰	۰/۵۹۹	۰/۶۶۰	۰/۲۳۷
ب = خطر از میان رفتن منابع سازنده	۱/۶۶۹	۱/۰۰۰	۱/۴۷۳	۰/۴۳۶
پ = قابلیت بازگشت به حالت اولیه	۱/۵۱۶	۰/۶۷۹	۱/۰۰۰	۰/۳۲۶

جدول ۴: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای تولید ضایعات

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف = ضایعات ناشی از جابه‌جایی	۱/۰۰۰	۰/۳۸۵	۰/۴۱۷	۰/۱۶۷
ب = ضایعات ناشی از اجرا	۲/۵۹۵	۱/۰۰۰	۰/۸۶۸	۰/۴۰۲
پ = قابلیت استفاده‌ی مجدد از ضایعات	۲/۳۹۹	۱/۱۵۲	۱/۰۰۰	۰/۴۳۱

جدول ۵: ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی زیرمعیارهای زیبایی

زیرمعیارها	الف	ب	پ	ارزش نسبی
الف = شاقولی بودن	۱/۰۰۰	۱/۱۹۷	۱/۰۱۵	۰/۳۵۵
ب = گونیا بودن	۰/۸۳۵	۱/۰۰۰	۰/۹۹۲	۰/۳۱۳
پ = داشتن سطح صاف و یکدست	۰/۹۸۵	۱/۰۰۸	۱/۰۰۰	۰/۳۳۲

جدول ۶: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مصرف انرژی جهت ساخت

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف = آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۷۲	۱/۱۴۷	۰/۰۴۰	۰/۰۷۹
ب = بلوک سفالی	۱/۷۴۹	۱/۰۰۰	۲/۰۰۷	۰/۰۷۱	۰/۱۳۷
پ = بلوک AAC	۰/۸۷۱	۰/۴۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۶۸
ت = پانل سب‌بعدی	۲۴/۷۹۸	۱۴/۱۷۷	۲۸/۴۵۵	۱/۰۰۰	۱/۹۴۷
ث = صفحات روکش‌دار گچی	۱۲/۷۳۳	۷/۲۸۰	۱۴/۶۱۱	۰/۵۱۳	۱/۰۰۰

جدول ۷: ارزش‌های نسبی مواد شاخص در ارتباط با زیرمعیارهای میزان مصرف منابع

زیرمعیارها	قابلیت بازگشت به حالت اولیه	خطر از بین رفتن منابع سازنده	قابلیت استفاده در کشاورزی
خاک‌های رسی	۰/۴۷۹	۰/۳۰۲	۰/۴۸۹
خاک‌های سیلیسی	۰/۳۲۳	۰/۳۰۱	۰/۲۹۹
خاک‌های گچی	۰/۱۵۱	۰/۲۶۲	۰/۱۰۱
مواد پلیمری	۰/۰۴۷	۰/۱۳۵	۰/۱۰۲

جدول ۸: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مصرف آب

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف = آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۸۰	۰/۳۷۳	۰/۸۳۵	۰/۰۰۹
ب = بلوک سفالی	۱/۷۲۵	۱/۰۰۰	۰/۶۴۳	۱/۴۴۱	۰/۰۱۵
پ = بلوک AAC	۲/۶۸۳	۱/۵۵۵	۱/۰۰۰	۲/۲۴۱	۰/۰۲۳
ت = پانل سه‌بعدی	۱/۱۹۷	۰/۶۹۴	۰/۴۴۶	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰
ث = صفحات روکش دار گچی	۱۱۴/۷۵۵	۶۶/۵۰۹	۴۲/۷۷۴	۹۵/۸۴۹	۱/۰۰۰

جدول ۹: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر تولید CO₂

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف = آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۲۱	۱/۱۱۳	۰/۳۸۹	۰/۰۷۱
ب = بلوک سفالی	۱/۹۱۸	۱/۰۰۰	۲/۱۳۵	۰/۷۴۵	۰/۱۳۶
پ = بلوک AAC	۰/۸۹۸	۰/۴۶۸	۱/۰۰۰	۰/۳۴۹	۰/۰۶۴
ت = پانل سه‌بعدی	۲/۵۷۴	۱/۳۴۲	۲/۸۶۶	۱/۰۰۰	۰/۱۸۳
ث = صفحات روکش دار گچی	۱۴/۰۶۵	۷/۳۳۳	۱۵/۶۶۰	۵/۴۶۴	۱/۰۰۰

جدول ۱۰: ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها از نظر مقاومت حرارتی

گزینه‌ها	الف	ب	پ	ت	ث
الف = آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۰۴	۰/۲۰۶	۰/۱۸۰	۰/۱۲۵
ب = بلوک سفالی	۱/۹۸۵	۱/۰۰۰	۰/۴۰۸	۰/۳۵۷	۰/۲۴۷
پ = بلوک AAC	۴/۸۶۰	۲/۴۴۸	۱/۰۰۰	۰/۸۷۳	۰/۶۰۶
ت = پانل سه‌بعدی	۵/۵۶۹	۲/۸۰۵	۱/۱۴۶	۱/۰۰۰	۰/۶۹۴
ث = صفحات روکش دار گچی	۸/۰۲۲	۴/۰۴۱	۱/۶۵۱	۱/۴۴۱	۱/۰۰۰

جدول ۱۱: ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارهای تولید ضایعات و نخاله

زیرمعیارها / گزینه‌ها	قابلیت استفاده مجدد از ضایعات	ضایعات ناشی از اجرا	ضایعات ناشی از جابه‌جایی
آجر فشاری	۰/۳۶۰	۰/۱۵۸	۰/۱۱۴
بلوک سفال	۰/۱۸۱	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰
بلوک AAC	۰/۲۹۱	۰/۲۹۴	۰/۲۸۱
پانل سه‌بعدی	۰/۰۷۱	۰/۳۲۸	۰/۴۳۰
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۰۹۷	۰/۱۷۰	۰/۱۳۵

جدول ۱۲: ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارهای زیبایی

زیرمعیارها / گزینه‌ها	داشتن سطح صاف و یکدست	گونیا بودن دیوار	شاقولی بودن دیوار
آجر فشاری	۰/۰۶۵	۰/۱۳۸	۰/۰۶۵
بلوک سفال	۰/۰۹۲	۰/۱۲۵	۰/۰۸۶
بلوک AAC	۰/۲۰۲	۰/۲۹۷	۰/۲۷۳
پانل سه‌بعدی	۰/۱۴۹	۰/۲۲۳	۰/۳۰۰
صفحات روکش‌دار گچی	۰/۴۹۳	۰/۲۱۷	۰/۲۷۷

تحلیل داده‌ها

نسبت به سایر گزینه‌ها، به دلیل ارزش پایین از نظر «خطر از بین رفتن منابع سازنده» و «قابلیت بازگشت به حالت اولیه» دارای کم‌ترین وزن در میان سایر گزینه‌ها است. در این میان آجر فشاری با وجود مصرف بالای خاک‌های رسی، به دلیل ارزش نسبی اندک زیرمعیار «قابلیت استفاده در کشاورزی» نسبت به سایر زیرمعیارها، به عنوان بهترین گزینه معرفی گردیده است. هم‌چنین مشاهده می‌گردد که صفحات روکش‌دار گچی به دلیل عدم نیاز به اندوهای زیرکار و روکار، دارای کم‌ترین میزان مصرف آب و بالاترین امتیاز در ارتباط با معیار مصرف آب هستند. در خصوص معیار تولید CO_2 می‌توان گفت که علی‌رغم پایین‌تر بودن میزان مصرف انرژی در فرآیند ساخت پانل‌های سه‌بعدی و ارزش نسبی بالای آنها نسبت به صفحات روکش‌دار گچی از این نظر، به دلیل مصرف بالای سیمان در مرحله برپایی این دیوارها،

ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار را می‌توان به صورت شکل‌های (۲) و (۳) نشان داد. آنچه در این دو شکل قابل توجه است، ارزش نسبی پایین بلوک AAC نسبت به مصالح نوینی هم‌چون صفحات روکش‌دار گچی و پانل سه‌بعدی در معیار مصرف انرژی برای ساخت است. هر چند این اختلاف می‌تواند ناشی از واقعی بودن مقادیر مصرف انرژی در محاسبات مربوط به این گزینه و لحاظ شدن مقادیر مربوط به استانداردهای وزرات نیرو در محاسبات سایر گزینه‌ها باشد؛ اما محاسبات نشان می‌دهد که با وجود در نظر گرفتن ۳۰٪ مصرف انرژی بالاتر از استانداردها برای چهار گزینه دیگر، تغییر قابل توجهی در رتبه‌بندی گزینه‌ها در این زیرمعیار به وجود نخواهد آمد. نتایج مربوط به مصرف منابع و مواد اولیه دارای اهمیت نشان می‌دهند که پانل سه‌بعدی علی‌رغم داشتن ارزش بالایی از نظر چالش‌آفرینی در امر کشاورزی

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (Nd). چنان‌که بیان گردید، برای تعیین گزینه بهینه با روش TOPSIS در گام نخست لازم است که ماتریس تصمیم‌گیری، شامل تمامی زیرمعیارها و گزینه‌ها تشکیل گردد. برای این منظور با استفاده از مقادیر حاصل از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی گزینه‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری (Nd) مشابه رابطه (۱) تشکیل شده‌است.

تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون (V). باتوجه به ارزش نسبی معیارها در ارتباط با هدف و زیرمعیارها در ارتباط با معیارها، ماتریس بردار وزن (W) برابر با مقادیر رابطه (۲) تشکیل گردیده‌است. چنان‌که در این رابطه ملاحظه می‌شود، در ماتریس مربعی بردار وزن (W) به‌جز درایه‌های قطر اصلی سایر درایه‌ها برابر صفر هستند. با مشخص شدن مقادیر مربوط به ماتریس تصمیم‌گیری (Nd) و ماتریس بردار وزن (W)، ماتریس بی‌مقیاس موزون مشابه رابطه (۳) تشکیل شده‌است.

تعیین گزینه‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-). در مرحله برپایی ماتریس‌های مقایسات زوجی در تحقیق حاضر، پارامترهای با جنبه منفی مانند مقدار مصرف آب و... به‌صورت معکوس و بر اساس ارزش بیشینه تکمیل گردیده‌اند.

ارزش نسبی آنها از نظر میزان تولید CO_2 در مقایسه با صفحات روکش‌دار گچی بسیار پایین‌تر است.

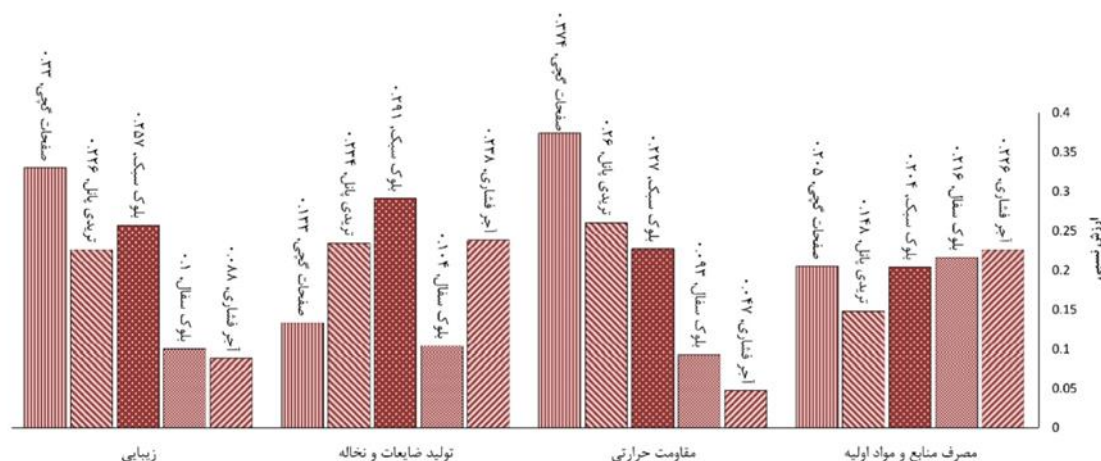
ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مقاومت حرارتی نشان می‌دهد که صفحات روکش‌دار گچی به‌دلیل استفاده از عایق‌های حرارتی در هسته مرکزی، دارای بیش‌ترین مقاومت حرارتی و آجرهای فشاری به‌دلیل تبادل حرارتی بالا، دارای کم‌ترین مقاومت حرارتی هستند.

از سوی دیگر آجرهای فشاری و پانل‌های سه‌بعدی به‌دلیل دارا بودن قابلیت بالای استفاده مجدد در کف‌سازی‌ها، بیش‌ترین ارزش را نسبت به سایر گزینه‌ها در معیار تولید ضایعات به خود اختصاص داده‌اند.

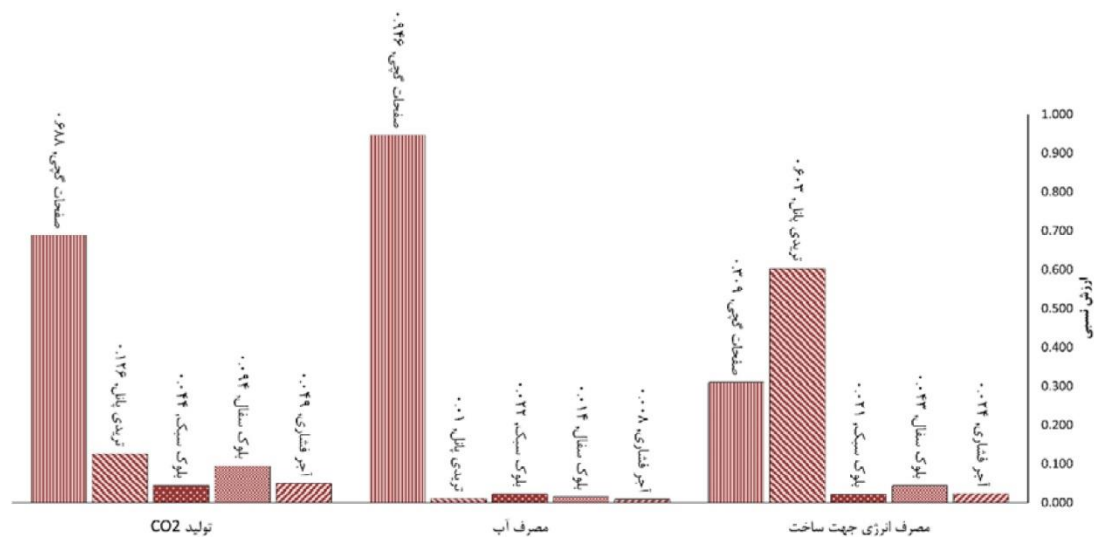
ارزش‌های نسبی گزینه‌ها از نظر زیبایی نیز نشان از آن دارد که بلوک AAC، پانل سه‌بعدی و صفحات روکش‌دار گچی به‌دلیل داشتن ابعاد بزرگ‌تر نسبت به آجرهای فشاری و بلوک‌های سفالی، از نظر زیرمعیارهای زیبایی، دارای ارزش نسبی بالاتری هستند.

تعیین بوم‌سازگارترین گزینه

با مشخص شدن ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر زیرمعیارها و زیرمعیارها در ارتباط با معیارها، ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر معیارها و رتبه‌بندی آنها محاسبه گردیده‌است.



شکل ۲ ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار



شکل ۳ ارزش نسبی گزینه‌ها در هر معیار

ایده‌آل مثبت و منفی را نشان می‌دهد.

تعیین نمرات (نسبت نزدیکی به گزینه ایده‌آل). نسبت نزدیکی هر کدام از گزینه‌ها تا گزینه‌های ایده‌آل (CL_i) مطابق مقادیر جدول (۱۴) به دست آمده است.

$$N_D = \begin{pmatrix} 0.024 & 0.226 & 0.008 & 0.049 \\ 0.043 & 0.216 & 0.014 & 0.094 \\ 0.021 & 0.204 & 0.022 & 0.044 \\ 0.603 & 0.148 & 0.010 & 0.126 \\ 0.309 & 0.205 & 0.946 & 0.688 \end{pmatrix}$$

جدول ۱۳ فاصله گزینه‌ها تا گزینه‌های

ایده‌آل مثبت و منفی

d_i	d_i^+	گزینه‌ها (i)
۰/۰۲۰	۰/۲۳۷	آجر فشاری
۰/۰۱۶	۰/۲۳۲	بلوک سفالی
۰/۰۳۴	۰/۲۳۲	بلوک AAC
۰/۱۰۷	۰/۲۰۵	پانل سه بعدی
۰/۲۲۱	۰/۰۵۴	صفحات روکش دار گچی

$$\begin{pmatrix} 0.047 & 0.238 & 0.088 \\ 0.093 & 0.104 & 0.100 \\ 0.227 & 0.291 & 0.257 \\ 0.260 & 0.234 & 0.226 \\ 0.374 & 0.133 & 0.330 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$W = [a_{ij}] ; \text{ if } i = j : a_{ij} \neq 0 ; \text{ if } i \neq j : a_{ij} = 0 \quad (2)$$

بر اساس محاسبات، مقادیر مربوط به گزینه ایده‌آل مثبت (A^+) با انتخاب بیشترین مقدار در هر یک از ستون‌های ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)، مشابه رابطه (۴) و گزینه ایده‌آل منفی (A^-) با انتخاب کمترین مقدار در هر ستون، مشابه رابطه (۵)، تعیین گردیده است.

تعیین فاصله هر گزینه تا گزینه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی. جدول (۱۳) فاصله گزینه‌ها تا گزینه‌های

جدول ۱۴ نسبت نزدیکی گزینه‌ها

به گزینه‌های ایده‌آل

CL_i	گزینه‌ها (i)
۰/۰۷۸	آجر فشاری
۰/۰۶۶	بلوک سفالی
۰/۱۲۸	بلوک AAC
۰/۳۴۲	پانل‌های سه بعدی
۰/۸۰۵	صفحات روکش دار گچی

نشان از غلظت فعالان حوزه ساختمان به جنبه‌های روحی و روانی بهره‌برداران دارد. نتایج تحقیق نشان از آن دارد که سیستم‌های نوین دیوارچینی از نظر میزان مصرف انرژی، تولید CO₂ و مصرف آب، گزینه‌های بهتری هستند.

باتوجه به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول (۱۴)، نمرات نسبی گزینه‌ها به‌صورت شکل (۴) قابل ارائه است. چنان‌که در این شکل مشاهده می‌شود، صفحات روکش‌دار گچی و پانل‌های سه‌بعدی به‌ترتیب به‌عنوان بهترین و بدترین گزینه دیوارچینی از نظر بوم‌سازگاری مشخص شده‌اند.

از سوی دیگر، براساس ارزش‌های نسبی محاسبه‌شده، سیستم‌های نوین دیوارچینی از نظر میزان مصرف منابع و مواد اولیه مزیت چشم‌گیری نسبت به سیستم‌های سنتی نداشته‌اند.

پانل‌های مشبک سه‌بعدی علی‌رغم امتیاز بالا در بسیاری از معیارها، به‌دلیل امتیاز اندک در دو معیار مهم «میزان مصرف انرژی» و «میزان مصرف آب» در مجموع پایین‌ترین امتیاز (برابر با ۰,۰۹) را کسب کردند. وزن نهایی گزینه‌های مورد بررسی شامل صفحات روکش‌دار گچی، پانل سه‌بعدی، بلوک سبک، بلوک سفالی و آجر فشاری به‌ترتیب برابر ۰,۴۲۲، ۰,۰۹، ۰,۱۵۷، ۰,۱۴۵ و ۰,۱۸۵ به‌دست آمد؛ به این ترتیب در نهایت مشخص گردید که صفحات روکش‌دار گچی بوم‌سازگارترین سیستم دیوارچینی از میان پنج سیستم مورد ارزیابی هستند.

$$V = \begin{bmatrix} 0.004152 & 0.040906 & 0.001560 & 0.007938 \\ 0.007439 & 0.039096 & 0.002730 & 0.015228 \\ 0.003633 & 0.036924 & 0.004290 & 0.007128 \\ 0.004319 & 0.026788 & 0.001950 & 0.020412 \\ 0.053457 & 0.037105 & 0.0184470 & 0.011456 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.006298 & 0.025228 & 0.004312 \\ 0.012462 & 0.011024 & 0.004900 \\ 0.030418 & 0.030846 & 0.012593 \\ 0.034840 & 0.024804 & 0.011074 \\ 0.050116 & 0.014098 & 0.016170 \end{bmatrix}$$

(۳)

$$A^+ = \begin{bmatrix} 0.004319 & 0.040906 & 0.0184470 & 0.011456 \\ 0.050116 & 0.030846 & 0.016170 \end{bmatrix}$$

(۴)

$$A^- = \begin{bmatrix} 0.003633 & 0.026788 & 0.001560 & 0.007128 \\ 0.006298 & 0.011024 & 0.004312 \end{bmatrix}$$

(۵)

نتیجه‌گیری

چنان‌که مشاهده شد، واقعیت‌های اقلیمی کشور ایران باعث شده‌است تا «میزان مصرف آب» با ارزش نسبی ۰,۱۹۵ بیشترین اهمیت را در میان هفت معیار زیست‌محیطی به خود اختصاص دهد. «زیبایی» نیز با ارزش نسبی ۰,۰۴۹ از نظر پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه‌ها، دارای کم‌ترین درجه از اهمیت بوده‌است، مسئله‌ای که

مراجع

۱. اقبالی قاضی جهانی، الف. و مکنون، ر. «مقایسه و نمره‌دهی زیست‌محیطی، اقتصادی و سبک‌سازی سه سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی از دیدگاه‌های ملی و بهره‌بردار»، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، دانشگاه سمنان، (۱۳۸۷).
۲. قالیبافان، م. «بتن و محیط‌زیست»، فصل‌نامه انجمن بتن ایران، ۱۱(۳)، (۱۳۸۲).

۳. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «فناوری‌های نوین ساختمانی»، چاپ پنجم، وزارت مسکن و شهرسازی ایران، تهران، (۱۳۸۸).
۴. مددی قله‌زو، ه.، دانش، ش.، و توکلی‌زاده، م.، «ارزیابی زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی انواع سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی»، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۵)، صص. ۱-۱۸، (۱۳۹۹).
۵. هلاکویی، ص.، «بررسی مقایسه‌ای مصالح ساخت دیوار با استفاده از فناوری‌های نوین 3D، LSF، ICF و بلوک لیکا به منظور سبک‌سازی دیوار ساختمان‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری AHP» کنفرانس ملی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن ۲۱، کرج، (۱۳۹۷).
۶. زارعی، ف.، کاظمینی، م. ج.، و مردانی، ب.، «تعیین مناسب‌ترین سقف ساختمانی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی»، سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، مازندران، (۱۳۹۶).
۷. ارجمندعسکری، ع.، و سریزدی، م.، «ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های متداول اجرای دیوارهای ساختمانی با رویکرد صنعتی‌سازی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS»، کنفرانس بین‌المللی مهندسی شهرسازی، عمران، معماری، قم، (۱۳۹۵).
۸. نامداری، ز.، رضائیان، س.، و جعفرزاده، ن.، «بررسی آثار زیست‌محیطی بهره‌برداری کارخانه‌های کوره‌های آجرپزی منطقه قهاب شهرستان اصفهان»، مجله محیط‌شناسی، ۳۹(۳)، صص. ۱۱۷-۱۳۲، (۱۳۹۲).
۹. مقصودلو کمالی، ب.، قانعان، م.، و عبداللهی، ط.، «بهره‌مندی از مدل‌های TOPSIS و AHP در راستای بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری استفاده مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری»، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، (۱۳۹۲).
۱۰. اصغرپور، م. ج.، «تصمیم‌گیری چند معیاره»، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۰).
۱۱. دفتر برنامه‌ریزی و تدوین کتب درسی، «مجموعه کتاب‌های دوره آموزش متوسطه (فنی و حرفه‌ای)»، چاپ‌های متعدد، وزارت آموزش و پرورش جمهوری اسلامی ایران، تهران، (۱۳۹۲).
۱۲. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، «نشریه شماره ۵۵: مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی»، تجدید نظر دوم، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، (۱۳۸۳).
۱۳. محمودزاده، الف.، حقانی، ز.، و حاتمی‌پور، م. ص.، «برآورد میزان تقریبی تولید دی‌اکسید کربن، منابع و روش‌های بازیابی آن در ایران»، مجله مهندسی شیمی ایران، ۲۶(۵)، صص. ۵۵-۶۳، (۱۳۸۵).
۱۴. رمضانیان، م.، و بحرکاظمی، م.، «انتخاب مناسب‌ترین دیوار خارجی ساختمان جهت صرفه‌جویی در انرژی با تکنیک AHP»، نشریه انرژی ایران، ۱۴(۳)، صص. ۱۷-۳۲، (۱۳۹۰).
۱۵. سرمد نهری، الف.، و کاردان، م.، «مرجع کامل شناخت مصالح ساختمانی»، چاپ دوم، انتشارات متفکران، تهران، (۱۳۸۸).

ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک در اثر وقوع زمین‌لرزه با استفاده از چند الگوریتم طبقه‌بندی هوشمند در نرم‌افزار Orange*

هادی فتاحی^(۱) فاطمه جیریایی^(۲)

چکیده یکی از پیامدهای احتمالی وقوع زمین‌لرزه در زمین‌های اشباع، روان‌گرایی خاک و در نتیجه آن شکست و خرابی فونداسیون ساختمان‌ها، انواع زیرساخت‌ها، پل‌ها و بسیاری فجایع دیگر می‌باشد. در این تحقیق سعی شد به منظور ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک بر روی ۷۹ نمونه از پایگاه داده زلزله تنگشان کشور چین، چند مدل طبقه‌بندی هوشمند با کمک نرم‌افزار Orange ساخته شود. به همین منظور عملکرد ۵ روش طبقه‌بندی هوشمند (رگرسیون لاجستیک، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) و جنگل تصادفی) بر اساس معیارهای مختلف با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد روش‌های SVM، ANN و رگرسیون لاجستیک از توانایی بالایی برای پیش‌بینی کلاس روان‌گرایی خاک برخوردار هستند و در بین آنها روش رگرسیون لاجستیک با مقدار شاخص AUC (۰/۹۸) به عنوان بهترین روش انتخاب شد. علاوه بر این، بررسی تأثیرگذاری متغیرها با استفاده از چهار معیار بهره اطلاعاتی، بهره اطلاعاتی نسبی، شاخص جینی و شاخص ReliefF بیانگر این است که متغیر مقاومت نوک مخروط نفوذ مخروطی مؤثرترین روش است و در اولویت اول قرار می‌گیرد. هم‌چنین متغیرهای نسبت تنش تناوبی و حداکثر شتاب افقی زلزله در سطح زمین ویژگی‌های مهمی به حساب می‌آیند.

واژه‌های کلیدی زمین‌لرزه، روان‌گرایی، الگوریتم‌های طبقه‌بندی هوشمند، نرم‌افزار Orange.

Evaluation of Soil Liquefaction Potential Due to Earthquake using Intelligent Classification Algorithm in Orange Software

H.Fattahi

F.Jiryae

Abstract One of the possible consequences of earthquakes in saturated areas is soil liquefaction and as a result the failure of foundations of buildings, types of infrastructure, bridges and many other disasters. In this study, in order to evaluate the potential of soil liquefaction on 79 samples from China Tangshan Earthquake Database, several intelligent classification models were constructed with the help of Orange software. Therefore, the performance of 5 intelligent classification methods (Logistic Regression, Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine (SVM), K-fold Nearest Neighbor (KNN) and Random Forest) were compared based on different criteria. The results showed that SVM, ANN and Logistic Regression methods have a high ability to predict soil liquefaction class and among them the Logistic Regression method with AUC index (0.98) was selected as the best method. In addition, the study of the effectiveness of variables using three criteria of Information Gain, Information Gain Ratio and Gini Index, indicates that the variable measured CPT tip resistance is the most effective variable and is the first priority. The variables of cyclic stress ratio and peak acceleration at the ground surface are also important features.

Key Words: Earthquake, liquefaction, intelligent classification algorithms, Orange software

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۰/۲/۱۶ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۱۰/۵ از صفحه ۳۹ تا ۵۲ می‌باشد.

Email: h.fattahi@arakut.ac.ir

(۱) نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک.

(۲) دانشجو، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک.

مقدمه

وجود لایه‌های سست و روان‌گرا و رخداد روان‌گرایی (Liquefaction) در اثر پاسخ لرزه‌ای زمین یکی از مخرب‌ترین حوادث در حوزه ژئوتکنیک می‌باشد. از جمله پیامدهای روان‌گرایی می‌توان به کاهش مقاومت خاک و در نتیجه زمین‌لغزش‌ها، شکست و تخریب فونداسیون‌های ساختمان‌ها و پل‌ها، شناور شدن سازه‌های کم‌وزن مدفون در خاک، جوشش ماسه در سطح زمین، خروج آب از میان ترک‌های سطح زمین و رفتار ماسه‌گونه زمین‌های سخت اشاره کرد [1]. پدیده روان‌گرایی تنها در خاک‌های اشباع رخ می‌دهد، به‌طوری‌که در مناطق نزدیک آب مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، خلیج‌ها و اقیانوس‌ها اثرات تخریبی بیشتری دارد. در محیط‌های اشباع آب در میان ذرات خاک با فشار متعادلی که دارد ذرات خاک را در کنار هم نگه می‌دارد و مانع از حرکت آن‌ها می‌شود. با وقوع لرزش زمین، فشار آب میان منافذ خاک افزایش می‌یابد و ذرات خاک از حالت سکون خارج می‌شوند و در کنار هم شروع به حرکت می‌کنند. در این حالت مقاومت برشی خاک به‌شدت کاهش می‌یابد و به صفر نزدیک می‌شود و موجب روان‌گرایی خاک می‌شود [3,2]. شکل (۱) چگونگی جابه‌جایی ذرات خاک در یک محیط اشباع پس از وقوع زمین‌لرزه را نشان می‌دهد.

ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک‌ها اغلب توسط آزمایش‌های صحرایی انجام می‌شود که دو مورد از مرسوم‌ترین آزمایش‌های نفوذی در محل، آزمایش نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test) و آزمایش نفوذ مخروطی (Cone Penetration Test) می‌باشد. از طرفی امروزه الگوریتم‌های طبقه‌بندی از مجموعه تکنیک‌های داده‌کاوی توانایی بالایی در پیش‌بینی طبقه متغیرهای چندکلاسه از خود نشان داده‌اند که با استفاده از آنها به‌جای روش‌های سنتی می‌توان یک مدل دقیق برای طبقه‌بندی داده‌ها ساخت و سپس از آنها در امر پیش‌بینی استفاده کرد. طبقه‌بندی یکی از شاخه‌های اساسی یادگیری ماشین و داده‌کاوی است و اساس آن داده‌های جمع‌آوری شده از

اعمال گذشته است [4]. محققان متعددی در این زمینه پژوهش‌هایی انجام داده‌اند که به این شرح است:

راماگریشن و همکاران [5] با کمک الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، موضوع روان‌گرایی یک منطقه را مدل‌سازی کردند و مورد مطالعه قرار دادند.

چرن و لی [6] از روشی بر مبنای شبکه فازی-عصبی برای ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک استفاده کردند و سپس یک روش جستجو برای یافتن نقاط داده‌ها بر روی تابع حالت حدی ارائه دادند.

مقیدا [7] در سال ۲۰۰۹ به‌منظور ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک، مجموعه داده‌های آزمایش نفوذ مخروطی و طیف گسترده‌ای از پارامترها را با یک برنامه شبکه عصبی مصنوعی تلفیق کرد.

ماریا با استفاده از برخی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به تحلیل شش مسئله ژئوتکنیکی پرداخت که یکی از این مسائل ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک است [8].

سامویی و سیتارام [9] به پیش‌بینی حساسیت روان‌گرایی خاک بر اساس داده‌های آزمایش نفوذ استاندارد پرداختند و به این منظور از دو روش یادگیری ماشین شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند.

فرخزاد و همکاران [10] به زون‌بندی روان‌گرایی خاک در شهر بابل با استفاده از یک مدل شبکه عصبی پرداختند.

مرت یک مقایسه بین روش‌های آنالیز روان‌گرایی انجام داد و جدولی برای راهنمایی تعیین روش و برنامه صحیح برای ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک ارائه داد [11].

مودولی و داس [12] یک تکنیک تلفیقی هوش مصنوعی و برنامه ژنتیک برای ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک بر اساس داده‌های آزمایش نفوذ استاندارد اجرا کردند.

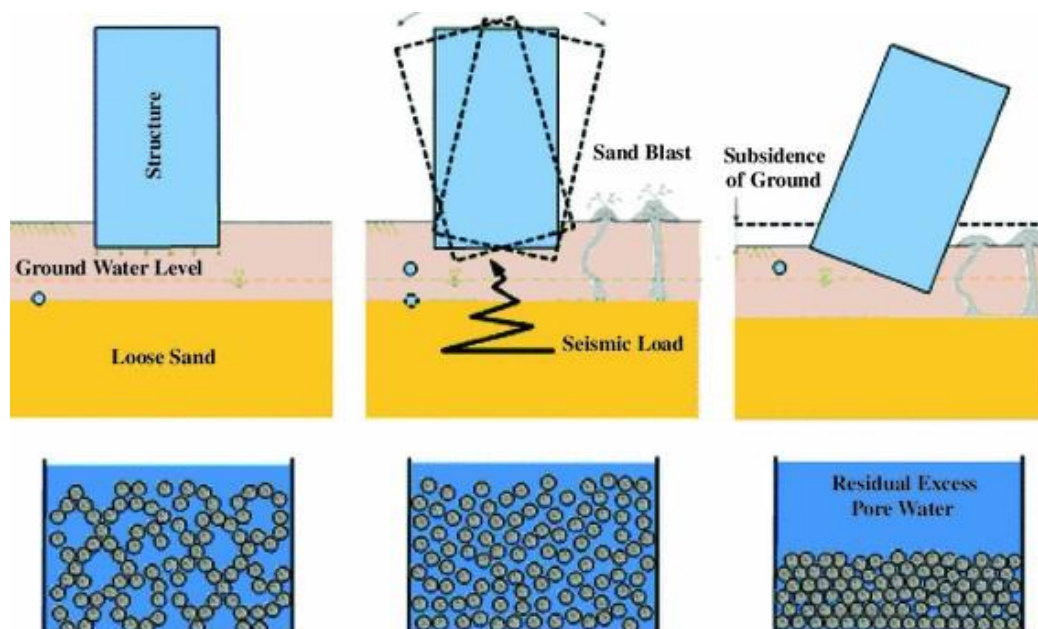
در این تحقیق به ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک پرداخته خواهد شد. این ارزیابی بر روی داده‌های میدانی

تکنیک‌های داده‌کاوی در بخش طبقه‌بندی

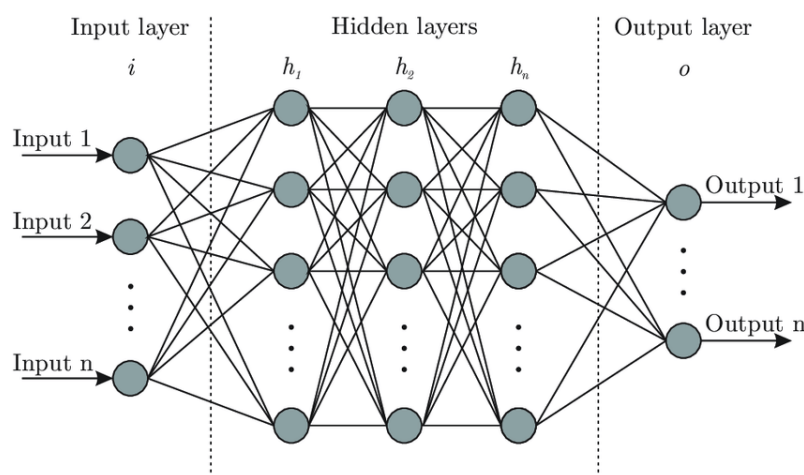
هوشمند

استفاده از ابزار داده‌کاوی برای شناسایی الگوها و مدل‌ها و نیز ارتباط عناصر مختلف در پایگاه داده به منظور کشف دانش نهفته در داده‌ها و نهایتاً تبدیل داده به اطلاعات، روبه‌روز ضروری‌تر می‌شود. در سال‌های اخیر استخراج و کشف سریع و دقیق اطلاعات با ارزش و پنهان از مجموعه داده‌ها، به عنوان علم داده‌کاوی مورد توجه قرار گرفته است که شامل کاربرد ابزارهای مختلف برای تحلیل داده‌های مصنوعی و کشف یک الگوی ناشناخته معتبر بر روابط بین مجموعه داده‌ها می‌باشد. در این بخش به توصیف برخی از تکنیک‌های داده‌کاوی مربوط به طبقه‌بندی پرداخته خواهد شد.

آزمایش نفوذ مخروطی مربوط به زلزله تانگشان (Tangshan) در کشور چین انجام می‌شود. به این منظور از ۵ مدل طبقه‌بندی هوشمند، رگرسیون لاجستیک، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) و جنگل تصادفی برای پیش‌بینی کلاس روان‌گرایی خاک استفاده خواهد شد. در این مدل‌ها پارامترهای بزرگی زلزله، سطح آب زیرزمینی، تنش قائم کل، تنش مؤثر قائم، عمق، حداکثر شتاب افقی زلزله در سطح زمین، نسبت تنش تناوبی، میانگین اندازه دانه‌ها، مقاومت نوک مخروط اندازه‌گیری شده در آزمایش CPT، به عنوان پارامترهای ورودی و پتانسیل روان‌گرایی خاک به عنوان پارامتر خروجی می‌باشد و مسئله از نوع طبقه‌بندی است. مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار Orange صورت می‌گیرد. به علاوه آنالیز حساسیت پارامترها برای بررسی اهمیت آن‌ها انجام شده است.



شکل ۱: ساختار ذرات خاک اشباع قبل و پس از وقوع زمین لرزه [۳]



شکل ۲: ساختار بخش‌های یک سلول عصبی [۱۵]

موردنظر محاسبه می‌کند. برای استفاده از شبکه عصبی، باید سیستم شبکه ابتدا آموزش ببیند. پس از اتمام آموزش، معمولا خطای شبکه به حداقل می‌رسد و خروجی شبکه نیز مشابه با خروجی هدف خواهد شد [14,13]. شکل (۲) ساختار بخش‌های یک سلول عصبی در یک شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان، یکی از روش‌های یادگیری با نظارت است که از تئوری یادگیری آماری سرچشمه می‌گیرد و از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌کند. SVM پیشگویی‌های خود را با استفاده از ترکیبی خطی از تابع کرنل که بر روی مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی با نام بردارهای پشتیبان عمل می‌کند، انجام می‌دهد. در تقسیم‌بندی خطی داده‌ها، سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. یکی از خصوصیات مهم بردار پشتیبان این است که به‌طور هم‌زمان خطای تجربی طبقه‌بندی را کمینه و حاشیه‌های هندسی را بیشینه می‌کند؛ بنابراین طبقه‌بندی بیشینه‌کننده حاشیه نیز نامیده می‌شود. در ماشین بردار پشتیبان، هدف به حداکثر رساندن حاشیه بین دو کلاس است؛ بنابراین ابرصفحه‌ای انتخاب می‌شود که فاصله آن از نزدیک‌ترین داده‌ها در هر دو طرف جداکننده خطی، بیشینه باشد. این ابرصفحه از طریق رابطه زیر به دست می‌آید [15].

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

می‌توان یک نرون عصبی انسان و عملکرد آن را توسط الگوهای ریاضی الگوسازی کرد. در پردازش اطلاعات یک شبکه عصبی مصنوعی از یک سامانه عصبی زیستی ایده می‌گیرد و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد. این سامانه از شمار زیادی عناصر پردازشی به نام نرون‌ها تشکیل شده‌است که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند. از این‌رو یک شبکه عصبی مصنوعی برای انجام وظیفه‌ای مشخص مانند شناسایی الگوها و دسته‌بندی اطلاعات در طول یک فرآیند یادگیری تنظیم می‌شود. یک شبکه عصبی مصنوعی، از سه لایه ورودی، خروجی و میانی یا پنهان تشکیل می‌شود. ورودی‌ها در وزن‌های مخصوص خود ضرب و با هم جمع می‌شوند و در انتها به وسیله تابع‌هایی خاص خروجی از روی ورودی تصمیم‌گیری می‌شود. نرون می‌تواند یک تابع ریاضی غیرخطی باشد، در نتیجه یک شبکه عصبی که از اجتماع این نرون‌ها تشکیل می‌شود نیز می‌تواند یک سامانه کاملاً پیچیده و غیرخطی باشد. یک سلول عصبی از پنج بخش اصلی تشکیل می‌شود که عبارتند از ورودی، وزن‌ها، تابع جمع، تابع فعال‌سازی و خروجی. ورودی‌ها، اطلاعات یا داده‌های خامی هستند که به شبکه تغذیه شده‌است. وزن‌ها مقادیری هستند که اثر یک مجموعه ورودی یا یک عنصر ورودی لایه قبلی را در سلول جدید بیان می‌کنند. تابع جمع، تابعی است که اثر ورودی‌ها و وزن‌ها را به‌طور کامل بر روی عنصر

و کمتر از ۰/۵ به صفر تبدیل می‌شود. رابطه رگرسیون لاجستیک به شکل زیر است [17].

$$P(Y_i = 1|X_i) = \frac{\exp(B_1 + B_2X_i + \dots + B_nX_i)}{1 + \exp(B_1 + B_2X_i + \dots + B_nX_i)} \quad (3)$$

در این رابطه P احتمال وقوع، B_1 ضریب ثابت، B_n ضریب زاویه متغیرها یا عرض از مبدأ، Y_i متغیر وابسته و X_i متغیر مستقل است.

جنگل تصادفی

روش جنگل تصادفی یک نوع مدرن از روش‌های درخت-پایه است که از تعداد زیادی درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیونی تشکیل شده‌است. هم‌چنین یکی از روش‌های ناپارامتریک مناسب برای مدل‌سازی داده‌های پیوسته و گسسته روش درخت تصمیم می‌باشد. جنگل تصادفی با استفاده از مجموعه‌ای از درخت‌ها با در نظر گرفتن n داده مشاهده مستقل ساخته می‌شود، به‌طوری‌که با ترکیب چندین درخت تصمیم دقت مدل را بالا می‌برد. هر درخت تصمیم‌گیری با استفاده از یک نمونه تصادفی از مجموعه نمونه‌های تعلیم، آموزش می‌بیند. هم‌چنین انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای تقسیم‌بندی گره‌ها به‌صورت تصادفی انجام می‌شود. در روش جنگل تصادفی ویژگی mtry برای تعداد متغیرهای کمکی مورد استفاده در هر زیرمجموعه و یا هر گره درخت تصمیم و ntree تعداد درختان مورد استفاده در جنگل تصادفی است که به‌عنوان پارامترهایی برای این روش بایستی تنظیم شود. یکی از قابلیت‌های این روش تخمین اهمیت و تأثیر متغیرهای کمکی با استفاده از تغییر خطا در صورت وجود و عدم وجود آن متغیر است [18].

روش‌های ارزش‌گذاری (Scoring Method) به‌کار گرفت شده

الگوریتم درخت تصمیم از جمله روش‌های طبقه‌بندی و رگرسیون است که انواع مختلفی دارد. یک موضوع مهم در ساخت این درخت‌ها انتخاب

$$W^T \phi(x) + b = 0 \quad (1)$$

در این رابطه بردار وزن w برداری عمود بر ابرصفحه است. b بردار بایاس است که به‌منظور اندازه‌گیری فاصله ابرصفحه تا مبدأ استفاده می‌شود. $\phi(x)$ کرنلی برای انتقال داده به فضای با ابعاد بالاتر است.

نزدیک‌ترین همسایگی (KNN)

به‌طور کلی الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی دو کاربرد دارد. کاربرد اول تخمین تابع چگالی توزیع داده‌های تعلیم و کاربرد دوم طبقه‌بندی داده‌های تست می‌باشد. اساس کار این روش تخمین ویژگی‌های یک سری داده‌های مجهول با توجه به بیشترین شباهت این داده‌ها با داده‌های معلوم که در همسایگی یا نزدیکی آنها قرار دارند، می‌باشد. گام اول در این الگوریتم انتخاب روش یا رابطه‌ای برای محاسبه فاصله بین داده‌های مورد آزمایش و داده‌های تعلیم می‌باشد که در اکثر موارد از فاصله اقلیدسی در رابطه زیر استفاده می‌شود [16].

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2)$$

n تعداد فیله‌های هر رکود است و p_i و q_i مقادیر ویژگی نام برای رکودها هستند. ابتدا فاصله رکورد جدید از همه رکوردهای آموزشی محاسبه می‌شود. سپس K نزدیک‌ترین رکوردها را به نمونه جدید براساس یک معیار شباهت به‌دست می‌آورد و دسته‌های این K همسایه را بررسی می‌کند. در آخر، دسته نمونه جدید را برابر با بیشترین دسته در K همسایه آن قرار می‌دهد.

رگرسیون لاجستیک

در تحلیل مسائل چندمتغیره در حالتی که متغیر هدف به‌صورت متغیر دودویی باشد از مدل رگرسیون لاجستیک برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود. در این مدل رابطه رگرسیونی متغیرها خطی نیست و به‌صورت منحنی S شکل است. در این روش پس از محاسبه احتمال عضویت نمونه، مقدار احتمال بیشتر از ۰/۵ به ۱

$$Entropy_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times Entropy(D_j) \quad (6)$$

که در آن c تعداد برچسب کلاس‌های موجود در داده‌های آموزشی، P_i احتمال این‌که نمونه‌ای از داده‌ها متعلق به کلاس i ام باشد، v تعداد اعضای دامنه پارامتر A و D_j قسمتی از داده‌های اولیه که مقدار پارامتر آن‌ها v_j است را نشان می‌دهد. در ضمن $|D|$ دلالت بر اندازه داده‌های D دارد.

علاوه بر معیارهای نام‌برده شده، روش دیگری که برای آنالیز حساسیت یا به عبارتی ارزیابی اهمیت پارامترهای ورودی به کار گرفته می‌شود استفاده از معیار ReliefF است. ReliefF الگوریتمی است که توسط Kira و Rendell در سال ۱۹۹۲ توسعه یافته است [20]. این معیار رویکردی با روش فیلتر برای انتخاب پارامترها دارد و به طور قابل توجهی به روابط بین پارامترها حساسیت نشان می‌دهد. این روش امتیازی برای هر پارامتر محاسبه می‌کند که می‌تواند برای رتبه‌بندی و انتخاب پارامترهای برتر استفاده شود.

معرفی نرم‌افزار Orange

نرم‌افزار Orange یک ابزار داده‌کاوی بسیار کارآمد برپایه زبان برنامه‌نویسی پایتون است که با استفاده از آن به صورت تعاملی و کاملاً بصری می‌توان عملیات داده‌کاوی را بدون نیاز به کدنویسی انجام داد و خروجی مناسبی را تهیه نمود. کار با این نرم‌افزار به صورت گرافیکی است؛ به همین دلیل مدل‌سازی‌ها را بسیار آسان و قابل فهم کرده است؛ به طوری که به صورت هم‌زمان امکان کشف اطلاعات از چندین مجموعه داده در طی مدل‌سازی‌های مختلف را می‌دهد. این نرم‌افزار هم‌چنین دارای ویژگی متن باز (Open source) است و قابلیت اضافه کردن کدهای دلخواه و تکمیل مدل‌های موجود را دارد. نرم‌افزار Orange شامل مجموعه‌ای از الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت برای طبقه‌بندی و رگرسیون، روش‌های اعتبارسنجی براساس

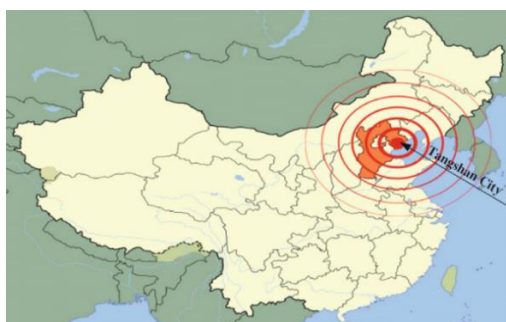
شایسته‌ترین صفت‌ها (Attribute Selection Method) یا ویژگی‌ها در سطوح بالاتر یا نزدیک به ریشه است و در هر نوع از درخت تصمیم می‌توان از روش‌های مختلف ارزش‌گذاری یا روش‌های انتخاب صفت کمک گرفت. یک نوع از درخت تصمیم ID3 است که از روش بهره اطلاعاتی (Information Gain) استفاده می‌کند. هرچه مقدار این شاخص برای یک ویژگی بالاتر باشد، اطلاعات بیشتری توسط آن ویژگی گرفته می‌شود و بهتر می‌توان مجموعه داده‌ها را براساس آن ویژگی کلاس‌بندی کرد. نوع دیگر درخت تصمیم CART (Classification and Regression Tree) است که براساس متغیرهای دودویی بنا نهاده شده است و از معیاری به نام شاخص جینی (Gini Index) برای انتخاب صفت‌ها کمک می‌گیرد. هر چه شاخص جینی کمتر باشد یعنی آن ویژگی اطلاعات بیشتری به ما می‌دهد و می‌تواند در درخت ساخته شده در سطوح بالاتر و نزدیک به ریشه قرار بگیرد. معیار دیگری به نام بهره اطلاعاتی نسبی (Information Gain Ratio) وجود دارد که بهتر از شاخص بهره اطلاعاتی عمل می‌کند. در بهره اطلاعاتی نسبی از بین ویژگی‌ها، آن‌که نسبت بهره اطلاعاتی به آنتروپی آن بزرگ‌تر باشد وزن بیشتری خواهد داشت. معیار بهره اطلاعاتی خود از معیار آنتروپی استفاده می‌کند. روابط (۴) تا (۶)، چگونگی محاسبه بهره اطلاعاتی نسبی را بیان می‌کند [19].

$$Information\ Gain(A) = Entropy(D) - Entropy_A(D) \quad (4)$$

رابطه (۴) بهره اطلاعاتی را برای پارامتر (A) محاسبه می‌کند که در آن D دلالت بر مجموعه داده‌های آموزشی دارد:

$$Entropy(D) = - \sum_{i=1}^c P_i \times \log_2(P_i) \quad (5)$$

قائم (σ'_{v0})، عمق (d_s)، حداکثر شتاب افقی زلزله در سطح زمین (α_{max})، نسبت تنش تناوبی (τ_{av} / σ'_{v0})، میانگین اندازه دانه‌ها (D_{50})، مقاومت نوک مخروط اندازه‌گیری شده در آزمایش CPT (q_c). نمونه‌ها شامل ۷۹ داده میدانی روان‌گرایی خاک براساس آزمون نفوذ مخروطی هستند. داده‌ها قبل از ورود به مدل بین مقدار ۱- و ۱ بدون بعد می‌شوند. شمای کلی مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار در شکل (۴) نشان داده شده است. در روند مدل‌سازی همان‌طور که مشخص است، در ابتدا چیزی که مهم است نرمال کردن داده‌های ورودی است. سپس این داده‌های تبدیل یافته به ۵ مدل طبقه‌بندی از الگوریتم‌های موجود وارد می‌شوند و مدل‌های KNN، SVM، ANN، جنگل تصادفی و رگرسیون لاجستیک ساخته می‌شوند. در نهایت برای ارزیابی عملکرد آنها از امکانات موجود مانند ماتریس درهم‌ریختگی (Confusion Matrix) و نمودار ROC (Receiver Operating Characteristic) کمک گرفته شده است.



شکل ۳: نمایی از مکان زلزله تنگشان [۳]

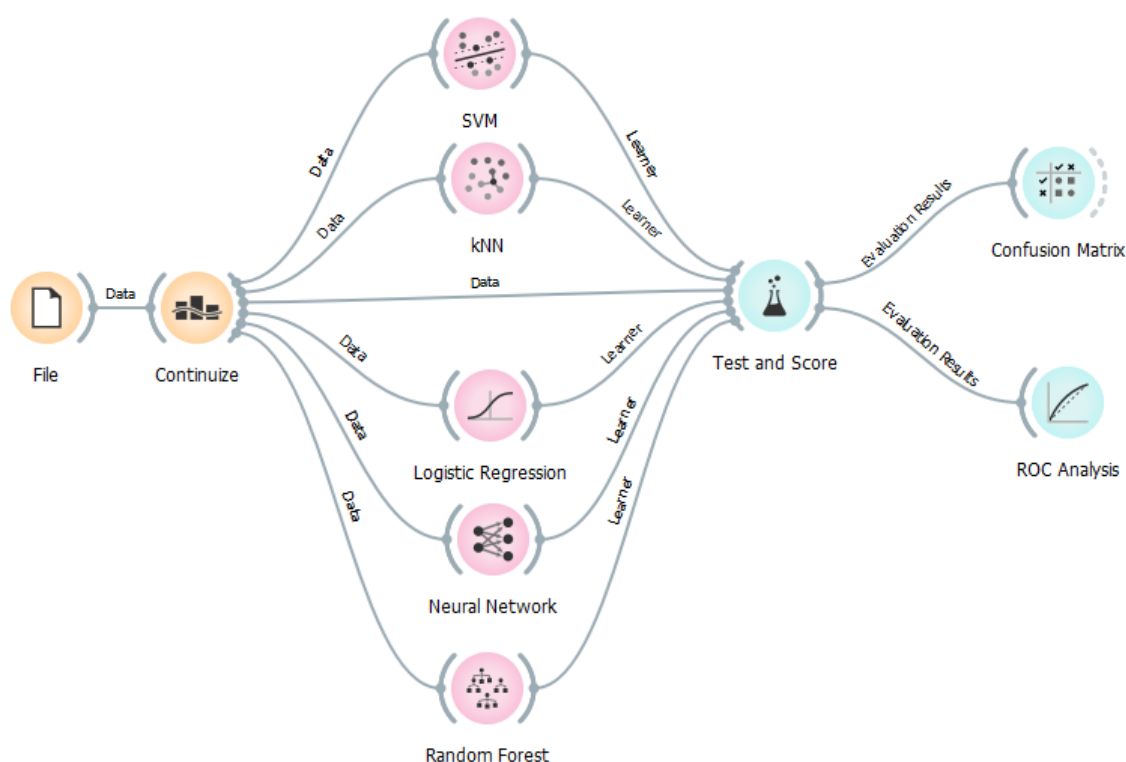
نمونه‌برداری و ارزیابی قابل اطمینان، الگوریتم‌های بدون نظارت یادگیری برای خوشه‌بندی، الگوریتم‌های قواعد انجمنی، الگوریتم‌هایی برای پردازش زبان طبیعی و استخراج متن و الگوریتم‌هایی برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی و مدل‌سازی و ... است.

تحلیل و نتایج

ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک یکی از مسائل پیچیده ژئوتکنیک است که بررسی آن با تأثیر گرفتن از چندین فاکتور اعم از خصوصیات خاک، شرایط زمین‌شناسی و ویژگی‌های حرکت زمین انجام می‌شود. در این قسمت به منظور پیش‌بینی پتانسیل روان‌گرایی خاک در یک پایگاه داده، از نرم‌افزار Orange کمک گرفته می‌شود و با به کار بستن روش‌های مختلف مدل‌سازی، کارایی و عملکرد آنها در یک پیش‌بینی دقیق و صحیح مقایسه خواهد شد. این پایگاه داده مربوط به زلزله تانگشان به بزرگی ۷/۸ ریشتر است، یک فاجعه طبیعی که در روز چهارشنبه ۲۸ ژوئیه ۱۹۷۶ در کشور چین رخ داده است. مرکز زمین‌لرزه در نزدیکی تانگشان در هبی (Hebei)، جمهوری خلق چین، یک شهر صنعتی با حدود یک میلیون نفر است (شکل ۳) [۳]. مشخصات آماری این پایگاه داده در جدول (۱) آورده شده است. پتانسیل روان‌گرایی خاک به عنوان متغیر هدف در نظر گرفته می‌شود و از نوع دودویی با دو مقدار صفر، یعنی عدم رخداد روان‌گرایی و ۱ یعنی رخداد پدیده روان‌گرایی می‌باشد. هم‌چنین ورودی مدل‌ها شامل ۱ متغیر قطعی و ۸ متغیر تصادفی است که عبارتند از بزرگی زلزله (M)، سطح آب زیرزمینی (d_w)، تنش قائم کل (σ_v)، تنش مؤثر

جدول ۲: مقدار شاخص‌های ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی به‌آزای هر روش

مدل‌های طبقه‌بندی	مساحت زیر منحنی ROC	صحت طبقه‌بندی	F_1	دقت طبقه‌بندی	بازیابی مدل
نزدیک‌ترین همسایگی	۰/۹۳۹	۰/۹۲۴	۰/۹۲۳	۰/۹۲۴	۰/۹۲۴
ماشین بردار پشتیبان	۰/۹۱۴	۰/۹۳۷	۰/۹۳۴	۰/۹۴۲	۰/۹۳۷
جنگل تصادفی	۰/۹۳۸	۰/۸۸۶	۰/۸۸۲	۰/۸۸۷	۰/۸۸۶
شبکه عصبی هوشمند	۰/۹۱۴	۰/۹۳۷	۰/۹۳۵	۰/۹۳۸	۰/۹۳۷
رگرسیون لاجستیک	۰/۹۷۹	۰/۹۳۷	۰/۹۳۶	۰/۹۳۶	۰/۹۳۷



شکل ۴: شمای کلی مدلسازی انجام شده در نرم‌افزار Orange

بیان شد، مقدار هر معیار در مدل SVM طبق رابطه (۸) تا (۱۱) محاسبه می‌شود. بایستی دقت کرد که درمورد دو معیار دقت و بازیابی، در هر کلاس به‌طور مجزا محاسبه می‌شود و از آنها میانگین وزن‌دار گرفته می‌شود. وزن هر کلاس متناسب با نسبت نمونه‌های آن کلاس به تعداد کل نمونه‌ها است.

$$CA = \frac{19 + 55}{79} = 0.9367 \quad (8)$$

$$Precision = \left(\frac{24}{79} \times \frac{19}{19} \right) + \left(\frac{55}{79} \times \frac{55}{60} \right) = 0.9419 \quad (9)$$

$$Recall = \left(\frac{24}{79} \times \frac{19}{24} \right) + \left(\frac{55}{79} \times \frac{55}{55} \right) = 0.9367 \quad (10)$$

$$F_1 = \frac{2 \times 0.9419 \times 0.9367}{0.9419 + 0.9367} = 0.9393 \quad (11)$$

در جدول (۲) برای هر مدل طبقه‌بندی مقدار شاخص‌های مختلفی محاسبه شده‌است و براساس آنها می‌توان به مقایسه عملکرد مدل‌ها پرداخت. همه شاخص‌های به‌کاربرده شده از طریق ماتریس درهم‌ریختگی به‌دست آمده‌اند. در این جدول AUC (Receiver Operating Characteristic)، مساحت زیر منحنی ROC، CA نسبت نمونه‌های درست پیش‌بینی‌شده به تعداد کل نمونه‌ها، Precision نسبت نمونه‌های مثبت صحیح به تعداد نمونه‌هایی که مثبت پیش‌بینی شده‌اند، Recall نسبت نمونه‌های مثبت صحیح به تعداد نمونه‌هایی که در واقعیت مثبت بوده‌اند و F₁ یک میانگین هارمونیک وزن‌دار شده دو شاخص Precision و Recall می‌باشد که در رابطه (۷) بیان شده‌است.

$$F_1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (7)$$

شکل (۵) ماتریس درهم‌ریختگی مدل ماشین بردار پشتیبان را نشان می‌دهد. باتوجه به تعاریفی که از معیارها

است. ارزیابی عملکرد مدل‌های طبقه‌بندی دودویی معمولاً با استفاده از شاخص‌هایی به نام حساسیت (Sensitivity) و بازیابی (Recall) انجام می‌شود؛ درحالی‌که این نمودار هر دو شاخص را دارا می‌باشد و موجب بررسی هر دوی آنها به صورت هم‌زمان می‌شود. در نمودار مشخصه عملکرد بر محور افقی نرخ مثبت کاذب (False Positive Rate) FPR و بر محور عمودی نرخ مثبت صحیح (True Positive Rate) TPR قرار می‌گیرد. در این نمودار یک خط قطری وجود دارد که ناحیه بالای این خط، ناحیه مطلوب و ناحیه زیر آن ناحیه نامطلوب محسوب می‌شود. منحنی ترسیم شده برای هر مدل طبقه‌بندی هرچه به بالا و سمت چپ نمودار نزدیک‌تر باشد از توانایی و دقت بالاتری برای تشخیص صحیح کلاس داده‌ها برخوردار است. به عبارت دیگر می‌توان گفت، روشی که دقت و کارایی بالاتری دارد منحنی آن در نمودار ROC مساحت بیشتری را در زیر خود شامل می‌شود. در نمودار شکل (۶) همان‌طور که مشخص است منحنی مربوط به روش رگرسیون لاجستیک نسبت به سایر آنها بالاتر است و پس از آن منحنی مربوط به روش KNN قرار می‌گیرد و پایین‌تر از همه روش جنگل تصادفی می‌باشد.

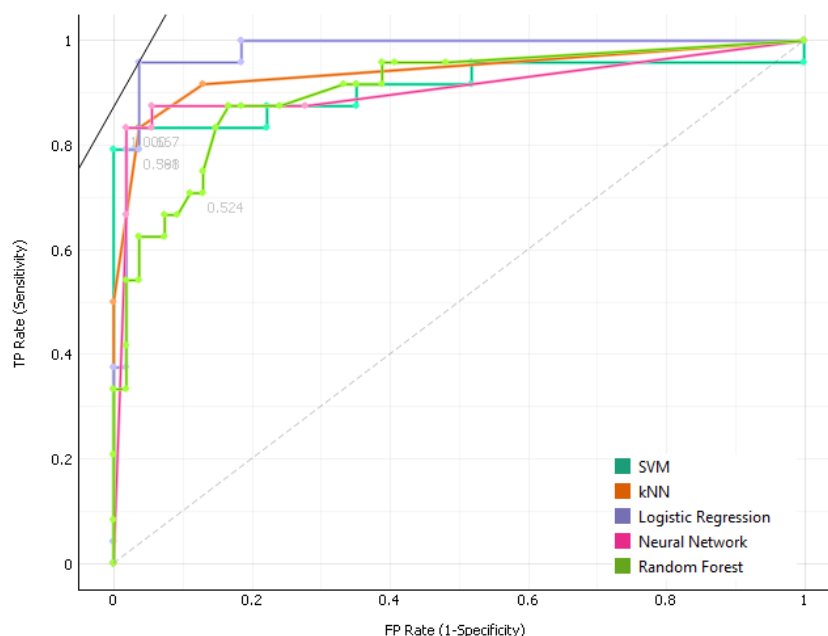
		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	19	5	24
	1	0	55	55
Σ		19	60	79

شکل ۵: ماتریس درهم ریختگی مدل SVM در نرم‌افزار Orange

مقایسه مدل‌ها با استفاده از شاخص AUC در جدول (۳) آورده شده است. در این جدول مدل‌ها دوی‌به‌دو براساس یک شاخص ارزیابی انتخابی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. این مقایسه‌ها با استفاده از تفسیر بیزی از آزمون t است. عددی که در جدول در هر سلول نوشته شده است، بیانگر آن است که به احتمال زیاد همان عدد مدل مربوط به سطر سلول از مدل مربوط به ستون سلول بهتر است. جدول (۲) نیز همانند این جدول نتیجه‌گیری مشابه دارند و از هر دو می‌توان یک نتیجه را برداشت کرد. با استفاده از آنها می‌توان گفت که براساس شاخص AUC روش رگرسیون لاجستیک بهترین روش است؛ اما اگر این شاخص را نادیده بگیریم، براساس سایر شاخص‌ها روش‌های SVM، ANN و رگرسیون لاجستیک عملکردی مشابه هم دارند و از هر سه آنها می‌توان برای پیش‌بینی استفاده کرد. یکی از روش‌های مقایسه عملکرد مدل‌های طبقه‌بندی دودویی (Binary Classifier) استفاده از نمودار مشخصه عملکرد ROC

جدول ۳: مقایسه دو به دو مدل‌ها براساس شاخص AUC

مدل‌های طبقه بندی	نزدیک‌ترین همسایگی	ماشین بردار پشتیبان	جنگل تصادفی	شبکه عصبی هوشمند	رگرسیون لاجستیک
نزدیک‌ترین همسایگی	-	۰/۶۱۱	۰/۴۰۴	۰/۵۷۰	۰/۱۹۳
ماشین بردار پشتیبان	۰/۳۸۹	-	۰/۳۰۳	۰/۴۱۷	۰/۱۹۳
جنگل تصادفی	۰/۵۹۶	۰/۶۹۷	-	۰/۶۵۳	۰/۰۸۳
شبکه عصبی هوشمند	۰/۴۳۰	۰/۵۸۳	۰/۳۴۷	-	۰/۲۰۹
رگرسیون لاجستیک	۰/۸۰۷	۰/۸۰۷	۰/۹۱۷	۰/۷۹۱	-



شکل ۶: نمودار مشخصه عملکرد روش‌های طبقه‌بندی هوشمند

AUC با اختلاف زیادی روش برتر محسوب می‌شود؛ اما اگر این شاخص را کنار بگذاریم، روش‌های رگرسیون لاجستیک، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان براساس دو شاخص دقت و صحت طبقه‌بندی هوشمند نسبت به دو روش دیگر بهتر عمل می‌کنند و می‌توان گفت عملکرد نزدیک به هم دارند. هم‌چنین این نمودار نشان می‌دهد که روش جنگل تصادفی نسبت به سایر روش‌ها عملکرد ضعیفی دارد.

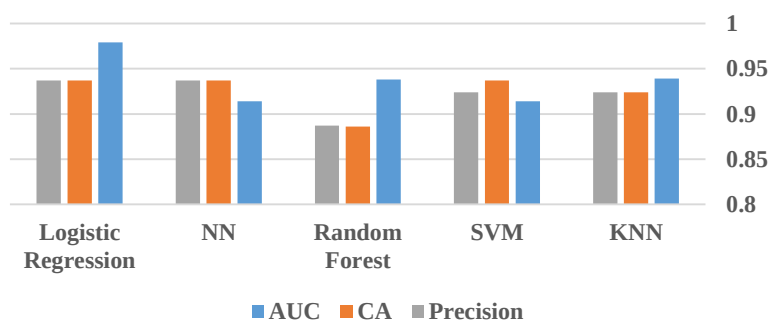
شکل (۸) انجام یکی دیگر از قابلیت‌های نرم‌افزار Orange به نام Rank را نشان می‌دهد که به رتبه‌بندی و امتیازدهی متغیرها با توجه به ارتباط آنها با متغیر هدف می‌پردازد و این کار را براساس روش‌های مختلف ارزش‌گذاری مانند روش‌های بهره اطلاعاتی، بهره اطلاعاتی نسبی، شاخص جینی و شاخص ReliefF انجام می‌دهد. خروجی این عملیات در جدول (۵) نشان داده شده است. بر این اساس متغیر مقاومت نوک مخروط در آزمایش CPT با اختلاف بسیاری در هر چهار معیار در اولویت اول قرار گرفته است. به این معنی که مؤثرترین متغیر در کلاس‌بندی صحیح داده‌ها می‌باشد.

جدول ۴: مقایسه نتایج تحقیقات مختلف در مورد یک مطالعه

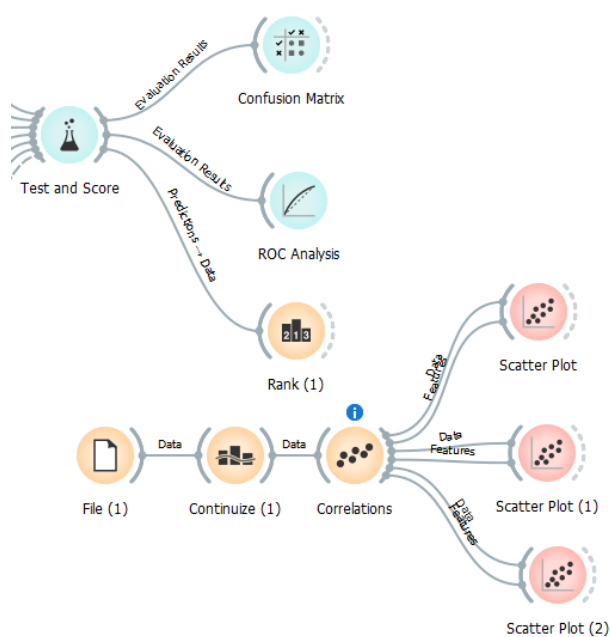
موردی	مدل	CA	مرجع
Xue, Yang	ANFIS	۰/۹۶۳	[۳]
Xue, Yang	PSO-SVM	۰/۹۶۵	[۲۱]
تحقیق حاضر	رگرسیون لاجستیک	۰/۹۳۷	-

در جدول (۴) نتایج عملکرد سه مدل براساس معیار صحت طبقه‌بندی بیان شده است. دو مورد از مدل‌ها در تحقیقات دیگری انجام شده که مدل‌سازی‌ها به صورت دستی بوده است. در این تحقیق نیز مدل رگرسیون لاجستیک برای مقایسه انتخاب شده است. نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با دو تحقیق دیگر [3, 21] نشان می‌دهد، نتایج با اختلاف اندکی به هم شبیه هستند؛ ضمن این‌که نرم‌افزار Orange کار مدل‌سازی را بسیار آسان نموده است و در کوتاه‌ترین زمان می‌توان انواع مدل‌ها را ساخت و ارزیابی کرد.

در نمودار شکل (۷) سه شاخص AUC، CA و Precision به دست آمده از هر یک از مدل‌های طبقه‌بندی هوشمند با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که نشان داده شده است روش رگرسیون لاجستیک براساس شاخص



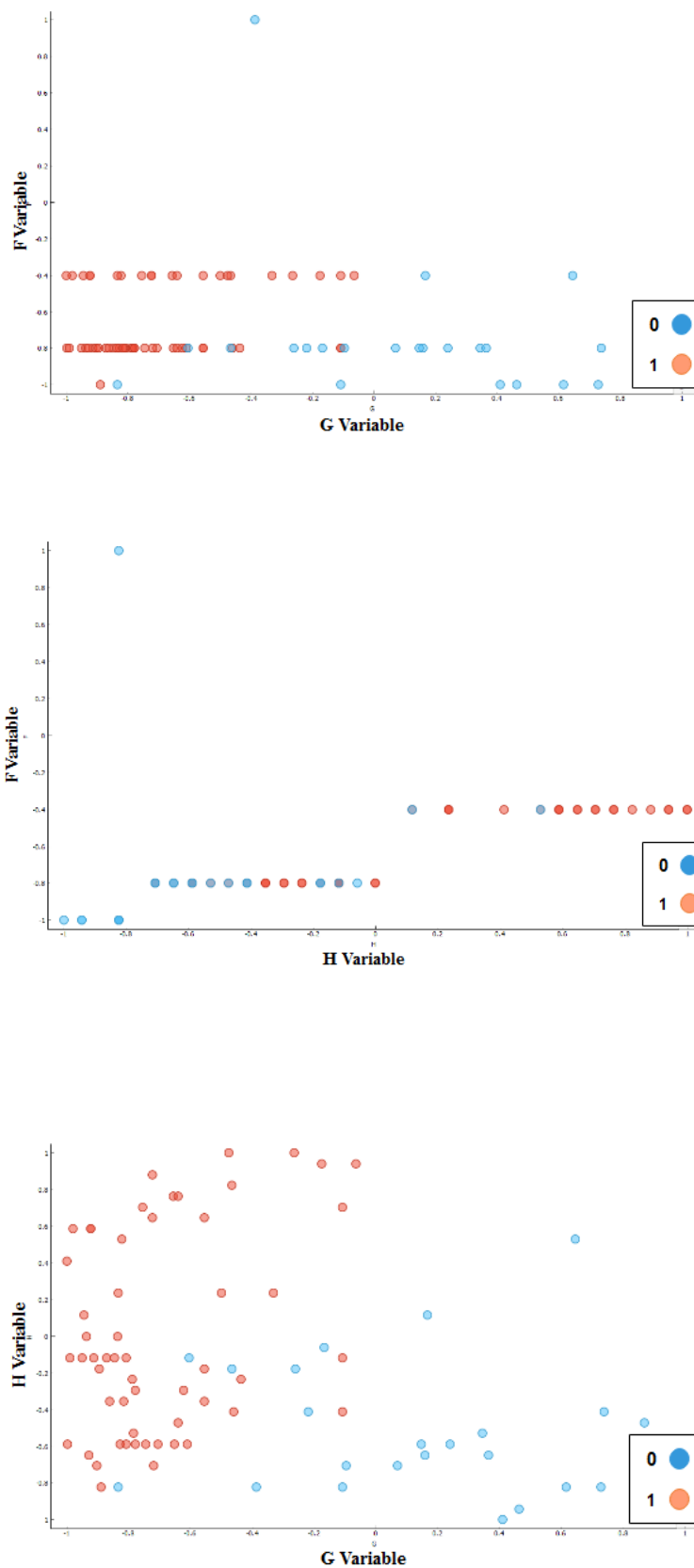
شکل ۷: نمودار ستونی معیارهای ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی هوشمند



شکل ۸: استفاده از قابلیت Rank و نمودارهای پراکندگی در نرم افزار Orange

جدول ۵: رتبه‌بندی متغیرهای ورودی براساس روش‌های ارزش‌گذاری

پارامترها	بهره اطلاعاتی	بهره اطلاعاتی نسبی	شاخص جینی	شاخص ReliefF
q_c (MPa)	۰/۴۱۷	۰/۲۰۹	۰/۲۱۶	۰/۲۶۵
τ_{av} / σ'_{v0}	۰/۲۰۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴
α_{max} (g)	۰/۱۸۴	۰/۱۳۳	۰/۱۰۶	۰/۰۵۴
d_w (m)	۰/۱۵۸	۰/۰۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۶۶
σ'_{v0} (KPa)	۰/۱۳۱	۰/۰۶۵	۰/۰۷۴	۰/۰۱۶
D_{50} (mm)	۰/۰۸۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۲۶
d_s (m)	۰/۰۵۴	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲
σ_v (KPa)	۰/۰۴۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۱۳
M	.	.	.	.



شکل ۹: نمودار پراکندگی متغیرها

• مدل‌های طبقه‌بندی هوشمند انجام شده برای پیش‌بینی پتانسیل روان‌گرایی خاک از توانایی و دقت بالایی برخوردار هستند. باتوجه به مقایسه‌هایی که براساس معیارهای مختلف بین روش‌ها انجام شد، روش رگرسیون لاجستیک براساس شاخص AUC بهترین روش معرفی شد.

• براساس شاخص‌های بازیابی، دقت و صحت طبقه‌بندی، سه مدل رگرسیون لاجستیک، SVM و ANN عملکردی نزدیک به هم داشتند و از دقت و صحت بالایی برخوردار بودند. در بین مدل‌سازی‌ها، مدل جنگل تصادفی نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد ضعیف‌تری داشت.

• بررسی تأثیرگذاری متغیرهای ورودی و ارزش‌گذاری آنها براساس چهار معیار بهره اطلاعاتی، بهره اطلاعاتی نسبی، شاخص جینی و شاخص ReliefF نشان داد متغیر مقاومت نوک مخروط در آزمایش CPT اندازه‌گیری شده، نقش عمده‌ای در پیش‌بینی صحیح کلاس روان‌گرایی خاک داشته‌است و پس از آن هم متغیرهای نسبت تنش تناوبی و حداکثر شتاب افقی زلزله در سطح زمین از تأثیرگذاری بالایی در مدل‌سازی‌ها برخوردار هستند.

برای بررسی سه متغیری که بیشترین تأثیرگذاری را در روند مدل‌سازی داشتند، نمودار پراکندگی آنها در شکل (۹) رسم شده‌است تا تغییرات دوه‌دوی متغیرها نسبت به یکدیگر مشخص شود. همان‌طور که نشان داده شده‌است، بین دو متغیر نسبت تنش تناوبی (H) و حداکثر شتاب در سطح زمین (F) و همچنین دو متغیر مقاومت نوک مخروط (G) و حداکثر شتاب در سطح زمین (F)، هم‌بستگی و نظم خاصی مشاهده نمی‌شود؛ اما بین دو متغیر مقاومت نوک مخروط (G) و نسبت تنش تناوبی (H)، در هر کلاس از روان‌گرایی، یک جهت‌گیری تقریبی وجود دارد، به‌طوری‌که داده‌ها با کلاس ۱ در سمت چپ نمودار و داده‌ها با کلاس صفر در پایین نمودار تجمع یافته‌اند.

نتیجه‌گیری

ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک درخصوص پایگاه داده زلزله تنگشان با ۵ الگوریتم طبقه‌بندی هوشمند، رگرسیون لاجستیک، SVM، KNN، ANN و جنگل تصادفی و با کمک نرم‌افزار Orange صورت گرفت. مدل‌سازی از ۹ متغیر عددی ورودی و یک متغیر کیفی هدف تشکیل شده بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد:

مراجع

1. Seed, H.B.J.E.e.r.i., "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", *Earthquake engineering research insititue*, Vol. 5, pp. 1249-1273, (1982).
2. Xue, X. and Yang, X.J.N.h., "Application of the adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of soil liquefaction", *Natural hazards*, Vol. 67, pp. 901-917, (2013).
3. Seed, H.B. and Idriss, I.M., "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential" *Journal of the Soil Mechanics and Foundations division*, Vol. 97, pp. 1249-1273, (1971).
4. Kiang, M.Y.J.D.s.s., "A comparative assessment of classification methods", *Decision support systems*, Vol. 35, pp. 441-454, (2003).
5. Ramakrishnan, D., et al., "Artificial neural network and liquefaction susceptibility assessment: a case study using the 2001 Bhuj earthquake data, Gujarat, India", *Computational Geosciences*, Vol. 12, pp.

- 491-501, (2008).
6. Chern, S.-G., Lee, C.-Y.J.J.o.M.S., and Technology, "CPT-based simplified liquefaction assessment by using fuzzy-neural network", *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 17, pp. 326-331, (2009).
 7. Mughieda, O., Bani-Hani, K., and Safieh, B.J.I.J.o.G.E., "Liquefaction assessment by artificial neural networks based on CPT", *International Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 3, pp. 289-302, (2009).
 8. Sulewska, M.J.J.C.A.M.i.E. and Science, "Applying artificial neural networks for analysis of geotechnical problems", *Computer Assisted Methods in Engineering and Science*, Vol. 18, pp. 231-241, (2017).
 9. Samui, P., Sitharam, T.J.N.H., and Sciences, E.S., "Machine learning modelling for predicting soil liquefaction susceptibility", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 11, pp. 1-9, (2011).
 10. Farrokhzad, F., Choobbasti, A., and Barari, A.J.J.o.K.S.U.-S., "Liquefaction microzonation of Babol city using artificial neural network", *Journal of King Saud University*, Vol. 24, pp. 89-100, (2012).
 11. Tolon, M.J.I.J.H.S., "A comparative study on computer aided liquefaction analysis methods", *Int. Journal for Housing Science*, Vol. 37, pp. 121-35, (2013).
 12. Muduli, P.K. and Das, S.K.J.I.G.J., "CPT-based seismic liquefaction potential evaluation using multi-gene genetic programming approach", *Indian Geotechnical Journal*, Vol. 44, pp. 86-93, (2014).
 13. Bre, F., et al., "Prediction of wind pressure coefficients on building surfaces using artificial neural networks", *Energy and Buildings*, Vol. 158, pp. 1429-1441, (2018).
 14. Mashrei, M.A.J.F.I.S.-T., "Neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system applied to civil engineering problems", *Fuzzy Inference System-Theory and Applications*, Vol., (2012).
 15. Noble, W.S.J.N.b., "What is a support vector machine?", *Nature biotechnology*, Vol. 24, pp. 1565-1567, (2006).
 16. Wu, X. and Kumar, V., "*The top ten algorithms in data mining*". CRC pres, (2009).
 17. Wright, R.E., "Logistic regression", *American Psychological Association*, Vol., (1995).
 18. Breiman, L.J.M.l., "Random forests", *Machine learning*, Vol. 45, pp. 5-32, (2001).
 19. Raileanu, L.E., Stoffel, K.J.A.o.M., and Intelligence, A., "Theoretical comparison between the gini index and information gain criteria", *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, Vol. 41, pp. 77-93, (2004).
 20. Kira, K. and Rendell, L.A. The feature selection problem: Traditional methods and a new algorithm. in Aai. 1992.
 21. Xue, X., Yang, X.J.B.o.E.G., and Environment, t., "Seismic liquefaction potential assessed by support vector machines approaches", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 75, pp. 153-162, (2016).

اثر منیزیم اکسید در به سازی یک خاک رسی آلوده به فنانترن*

محدثه امینی^(۱) علی رئیسی استبرق^(۲) جمال عبدالهی علی بیک^(۳)

چکیده در این پژوهش، اثر ماده افزودنی منیزیم اکسید (MgO) برای به سازی یک خاک رسی معمولی و نیز خاک آلوده شده به ماده آلی فنانترن با انجام آزمایش های آزمایشگاهی گوناگون (شامل حدود اتربرگ، تراکم استاندارد، مقاومت فشاری تک محوری (UCS) و میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM)) مورد مطالعه قرار گرفت. خاک آلوده به فنانترن به صورت مصنوعی در آزمایشگاه تهیه گردید. درصد های وزنی منیزیم اکسید مورد استفاده برای به سازی خاک معمولی و خاک آلوده معادل ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ می باشند. نتایج نشان داد که افزودن فنانترن به خاک سبب تغییر ساختار خاک و کاهش درصد رطوبت بهینه (w_{opt})، حدود اتربرگ، مقاومت تک محوری و ضریب کشسانی مربوط به ۵۰٪ از مقاومت نهایی (E_{50}) خاک می شود. هم چنین نتایج مشخص کرد که با افزودن منیزیم اکسید به خاک طبیعی و خاک آلوده، مقاومت و E_{50} افزایش می یابد، به طوری که این افزایش تابعی از درصد ماده افزودنی و زمان عمل آوری می باشد. علاوه بر این براساس نتایج SEM مشخص گردید که محصولات کربناسیون تولید شده در نمونه های به سازی شده سبب افزایش مقاومت می گردند.

واژه های کلیدی فنانترن، منیزیم اکسید، مقاومت، SEM .Improvement the Behaviors of a Clay Soil Contaminated with Phenanthrene by Using MgO

M. Amini

A. Raeesi Estabragh

J. Abdollahi Ali Beik

Abstract In this work, the effect of MgO on the treatment of a natural and contaminated clay soil with phenanthrene was studied through conducting various experimental tests including Atterberg limits, standard compaction, uniaxial compressive strength (UCS), and SEM tests. The contaminated soil was prepared artificially in the lab. Natural and contaminated soil were mixed with 5, 10, 20, and 30% of MgO as an agent. The results showed that phenanthrene changes the structure of the soil and causes a reduction in Atterberg limits, w_{opt} , UCS , and E_{50} of the soil. The results also indicated that the UCS and E_{50} of mixture natural and contaminated soil with different percentages of MgO are increased and the amount of increasing of them is dependent on the percentage of MgO and curing time. SEM results also showed that the formation of carbonation products due to hydration of MgO is effective in increasing the strength of treated soil samples.

Keywords: MgO , Phenanthrene, UCS , SEM .

*تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۰/۵/۱۵ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۹/۲۸ از صفحه ۵۳ تا ۶۶ می باشد.

(۱) نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه های آبی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران.

Email: amini.mohadeseh@ut.ac.ir

(۲) استاد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران.

(۳) مربی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران.

مقدمه

آلودگی خاک به ترکیبات نفتی، یکی از مهم ترین مشکلات زیست محیطی می باشد که افزایش جمعیت و نرخ بالای فعالیت های صنعتی سبب تشدید این مشکل شده است. این نوع از آلودگی به خصوص در اطراف تأسیسات اکتشاف، پالایش، محل ذخیره و در مسیر انتقال این مواد به صورت گسترده وجود دارد. آلودگی خاک مختص محل و محدوده خاصی از خاک آلوده شده نیست و آلاینده می تواند همراه با بارندگی یا رواناب آب های سطحی در توده خاک در جهت ثقل حرکت کند و خود را به منابع آب زیرزمینی برساند. متداول ترین آلاینده های نفتی شامل هیدروکربن های نفتی کل (TPH)، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) و ترکیبات آلیفاتیک می باشد که از این میان PAHs به دلیل طولانی بودن زمان تجزیه پذیری آنها در محیط از اهمیت خاصی برخوردار می باشند [۱]. هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای از ترکیبات سمی، جهش زا و سرطان زا می باشند [2]. این آلاینده های آلی در مقابل تجزیه شدن بسیار مقاوم هستند و معمولاً در محل های مرتبط با تولید نفت و گاز و صنایع پردازش چوب یافت می شوند [3]. هیدروکربن های آروماتیک حدود ۲۰ تا ۴۰٪ نفت خام را تشکیل می دهند و این ترکیبات می توانند از طریق نشت مواد نفتی که در طی استخراج، فرآوری و انتقال رخ می دهد، سبب ایجاد آلودگی های محدود و یا گسترده در آب و خاک شوند [4]. گزارش هایی از وجود آلودگی نفتی در اطراف پالایشگاه ها و تأسیسات نفتی ایران ارائه شده است [1]. بروز این نوع آلودگی در کشوری هم چون ایران به علت در اختیار داشتن نزدیک به ۹٪ منابع نفتی جهان و وجود بیش از ۱۴۰۰۰ کیلومتر خط انتقال نفت، امری حتمی به نظر می رسد [5].

انواع مختلفی از ترکیبات PAHs در محیط وجود دارد، لیکن آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (US EPA)، ۲۸ هیدروکربن آروماتیک را به عنوان ترکیبات خطرناک معرفی کرده است [3]. فنانترن یکی از هیدروکربن های آروماتیک با سه حلقه بنزن می باشد که

در گروه آلاینده الویت دار قرار گرفته است. در ایران بیشینه غلظت این ماده آلی که تاکنون گزارش شده است، مربوط به خاک مناطق نفتی استان بوشهر به میزان mg/kg ۱۸۶/۵۸ می باشد [1]. هم چنین حضور این ماده در مناطق مجاور تأسیسات نفتی ری و پالایشگاه نفت تهران نیز گزارش شده است [۶، ۷].

آلودگی خاک علاوه بر تهدیدات و اثرات مخرب زیست محیطی، از نظر ژئوتکنیکی نیز حائز اهمیت می باشد، زیرا با ورود آلاینده به خاک امکان تغییر رفتار مهندسی خاک و در نتیجه ایجاد خسارت بر روی سازه های بنا شده روی آنها وجود دارد. پژوهشگران زیادی به بررسی تغییرات فیزیکی و مکانیکی خاک آلوده به آلاینده های آلی پرداختند و گزارش نمودند که پارامترهایی مانند نفوذپذیری، زاویه اصطکاک داخلی، تراکم پذیری، حدود اتربرگ و مقاومت خاک پس از آلوده شدن تغییر می کند [۸-۱۲]. با در نظر گرفتن مسائل یاد شده، به منظور حفاظت از محیط زیست و تأمین محیطی سالم برای زندگی انسان و سایر موجودات، می بایست از ورود این آلاینده به منابع آب جلوگیری نمود که این امر با پاک سازی خاک های آلوده امکان پذیر می باشد. امروزه به سازی خاک های آلوده به روش های مختلف با هدف بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک و به منظور استفاده از آنها به عنوان منبع قرضه برای اجرای پروژه و یا احداث سازه بر روی آنها در حال انجام می باشد. یکی از روش های به سازی، روش شیمیایی است که در این روش مواد افزودنی مانند سیمان، آهک، خاکستر بادی و یا اختلاطی از آنها با نسبت های متفاوت با یکدیگر به خاک اضافه می شوند و واکنش های شیمیایی که بین ذرات خاک و مواد افزودنی رخ می دهد، سبب بهبود خواص خاک می شود. بررسی منابع نشان می دهد که سیمان به صورت گسترده برای به سازی خاک غیر آلوده و خاک آلوده به آلاینده های آلی مورد استفاده قرار گرفته است [10-24]. در تولید سیمان انرژی قابل توجهی صرف می شود، هم چنین گاز کربن دی اکسید زیادی وارد محیط می شود؛ به همین دلیل در سال های اخیر، پژوهشگران به دنبال

فتالات با استفاده از ترکیب منیزیم اکسید و سرباره کوره ذوب آهن (GGBS) پرداختند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد این ترکیب در مقایسه با سیمان پرتلند و ترکیب سیمان پرتلند و خاکستر بادی بهتر می باشد [29].

جانداري و همکاران نیز در پژوهش خود به بررسی به سازی خاک آلوده به گلیسرول با افزودن منیزیم اکسید پرداختند. نتایج آنها نشان داد که محصولات به دست آمده از کربناسیون منیزیم اکسید و نمک آلی - معدنی تولید شده در خاک سبب افزایش مقاومت خاک آلوده می شود [25]. بررسی منابع نشان می دهد که گرچه در سال های اخیر به سازی خاک با استفاده از منیزیم اکسید صورت گرفته است، لیکن تاکنون پژوهشی در زمینه به سازی خاک آلوده به آلایندة هیدروکربنی نفتی صورت نپذیرفته است.

ضرورت تحقیق

گاهی اوقات ضروری است پروژه ها در مناطقی اجرا گردند که در آن نواحی، خاک قرضه موجود به دلایل مختلف به مواد آلاینده نفتی آلوده شده است و امکان دسترسی و انتقال خاک طبیعی مطلوب هم به محل پروژه مقدور و مقرون به صرفه نباشد. بنابراین، این مسائل ایجاب می کند که خواص خاک آلوده موجود در آن منطقه بررسی گردد و روش های به سازی آن، مورد مطالعه قرار گیرد که در صورت عدم ایجاد مشکل در محیط زیست، در اجرای پروژه ها می توان از آن خاک به سازی شده، استفاده کرد. هم چنین زمین هایی که در اطراف پالایشگاه های تصفیه نفت، مجتمع های پتروشیمی و سایر صنایع شیمیایی قرار دارند، ممکن است تحت تأثیر شرایط مختلف مانند وارد شدن پساب این تأسیسات، آلوده به مواد آلاینده شوند. آلاینده های مذکور ممکن است از طریق باران و آب های سطحی تحت تأثیر نیروی ثقل به اعماق پایین تر انتقال یابند و در نهایت به سفره های آب زیرزمینی برسند و مشکلات زیست محیطی ایجاد کنند؛ بنابراین خاک آلوده می بایست به نحوی به سازی شود که هم نفوذپذیری آن کم گردد و هم تبدیل مواد آلاینده به مواد غیرسمی میسر گردد. برای ارزیابی به سازی

جایگزینی مناسب برای سیمان که در تولید آن انرژی کمتری صرف شده و گاز کربن دی اکسید کمتری تولید شده باشد، بوده اند. منیزیم اکسید یکی از آن مواد افزودنی جایگزین می باشد که در سال های اخیر به تنهایی و یا اختلاط آن با مواد افزودنی دیگر برای به سازی خاک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [22, 23, 25-29]. به طور کلی سه نوع منیزیم اکسید (light-burnt، hard-burnt و dead-burnt) تولید می شود که تفاوت آنها با یکدیگر در دمای پخت و میزان واکنش پذیری شان می باشد [30]. در این بین منیزیم اکسید light-burnt که نام دیگر آن منیزیم اکسید واکنش پذیر است، در پژوهش ها مورد استفاده قرار گرفته است [26-28]. این نوع منیزیم اکسید، در دمای کمتر از 1000°C تولید می شود، بنابراین انرژی کمتری در تولید آن در مقایسه با سیمان پرتلند (که در دمای 1450°C تولید می شود) مصرف می شود. هم چنین واکنش پذیری منیزیم اکسید مذکور، در مقایسه با دو نوع دیگر منیزیم اکسید تولیدی بیشتر می باشد [30]. لازم به ذکر است که در تولید منیزیم اکسید مقدار زیادی گاز کربن دی اکسید تولید می شود لیکن 63 تا 79% گاز کربن دی اکسید، هنگام واکنش های کربناسیون جذب می گردد [26]. در واقع منیزیم اکسید قادر به جذب گاز کربن دی اکسید محیط نیز می باشد.

اخیرا پژوهشگرانی از جمله لی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی تأثیر افزودن منیزیم اکسید، آهک زنده و سیمان پرتلند در تثبیت و جامدسازی خاک آلوده به فلزات سنگین پرداختند و نتیجه گرفتند که هر یک از مواد افزودنی ذکر شده، برای به سازی و جامدسازی خاک آلوده به آلایندة معدنی مشخصی مناسب می باشند و انتخاب نوع ماده افزودنی بستگی به نوع آلایندة غالب در خاک دارد؛ به عنوان مثال منیزیم اکسید سبب کاهش بیشتر غلظت آلایندة های معدنی از جمله سرب، کادمیم و روی در مقایسه با افزودنی هایی مانند آهک و سیمان می شود [27].

هم چنین وانگ و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی تثبیت و جامدسازی خاک آلوده به آلایندة آلی دی متیل

۱۶/۸ و ۱۸٪ تعیین شد. آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. هم‌چنین آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) روی خاک انجام شد و نتایج نشان داد که کانی‌های این خاک شامل کوارتز، کلسیت و فلدسپار (سدیم، کلسیم و پتاسیم) و کانی‌های رسی غالب آن ایلیت و کلریت می‌باشد.

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

ویژگی	مقدار
وزن مخصوص دانه‌های جامد (G_s)	۲/۷
ماسه (%)	۲
سیلت (%)	۴۵
رس (%)	۵۳
حد روانی (%)	۴۷
حد خمیری (%)	۲۶
شاخص خمیری (%)	۲۱
بیشینه وزن واحد حجم خشک بیشینه (kN/m^3)	۱۶/۸
درصد رطوبت بهینه (%)	۱۸

جدول ۲ ویژگی‌های شیمیایی خاک

ویژگی	مقدار
pH	۸
EC (dS/m)	۱۰/۷۴
K^+ (meq/l)	۰/۳۳
Ca^{2+} (meq/l)	۲۴
Mg^{2+} (meq/l)	۱۰
CL^- (meq/l)	۶۰
CO_3^{2-} (meq/l)	۰/۶
HCO_3^- (meq/l)	۴
SO_4^{2-} (meq/l)	۸۳
$CaCO_3$ (%)	۱۰/۲
O.C. (%)	۰/۰۵

صورت گرفته خاک در هر حالت و هر شرایطی می‌بایست، خواص فیزیکی و مکانیکی آن مانند مقاومت مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ماده افزودنی منیزیم/کسید بر بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک آلوده به ماده آلی فنانترون می‌باشد. به این منظور آزمایش‌های حدود اتربرگ، تراکم استاندارد، مقاومت تک‌محوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بر روی نمونه‌های خاک طبیعی، خاک آلوده، خاک طبیعی و آلوده اختلاط یافته با درصد‌های مختلف منیزیم/کسید صورت گرفته است و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده و بحث لازم در خصوص آنها صورت پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل خاک رسی، ماده آلی فنانترون، استون و منیزیم/کسید می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها در ادامه توضیح داده خواهد شد.

خاک

خاک رسی مورد استفاده در این پژوهش از قرضه‌ای واقع در اطراف دشت تاکستان در استان قزوین تهیه شد. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه، آزمایش‌های وزن مخصوص ذرات جامد (G_s)، دانه‌بندی، حدود اتربرگ، تراکم براساس استاندارد ASTM روی خاک مورد نظر صورت گرفت، که نتایج آنها در جدول (۱) آورده شده است. براساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود اتربرگ، این خاک در سیستم طبقه‌بندی خاک یونیفاید (USCS)، رس با خاصیت خمیری (پلاستیسیته) پایین (CL) طبقه‌بندی گردید. هم‌چنین براساس نتایج آزمایش تراکم استاندارد، وزن واحد حجم خشک بیشینه (γ_{dmax}) و درصد رطوبت بهینه (w_{opt}) خاک مورد استفاده به ترتیب برابر (kN/m^3)

فنانترون

فنانترون یک هیدروکربن آروماتیک سه حلقه‌ای است که به صورت طبیعی در سوخت‌های فسیلی وجود دارد. همچنین این ماده از سوختن ناقص ترکیبات آلی مانند سوخت‌های فسیلی و چوب به وجود می‌آید. از فنانترون در تولید رنگ، دارو، مواد منفجره و پژوهش‌های بیوشیمی استفاده می‌شود [31]. در پژوهش حاضر به منظور آلوده نمودن خاک از فنانترون با خلوص ۹۷٪ که از تولیدات شرکت مرک آلمان است، استفاده شد.

استون

باتوجه به این که ماده آلی فنانترون دارای حلالیت بسیار پایینی در آب می‌باشد (۱/۱۵ mg/l)، در این پژوهش از استون به عنوان حلال استفاده گردید. استون مورد استفاده در این پژوهش، محصولی از شرکت شیمی دارویی نوترون با درجه خلوص ۹۹/۹٪ می‌باشد.

منیزیم اکسید

در این کار پژوهشی، از منیزیم اکسید برای بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک رسی و خاک آلوده به آلاینده آلی استفاده گردید. منیزیم اکسید به کار رفته، محصولی از شرکت شیمی دارویی نوترون است و شامل ۹۴٪/۲ منیزیم اکسید، ۱٪/۷ کلسیم اکسید، ۰٪/۸۵ سیلیسیم اکسید و ۰٪/۶۲ فریک اکسید و ۰٪/۱۶ آلومینیوم اکسید می‌باشد. وزن مخصوص، میانگین اندازه ذرات و سطح ویژه آن نیز به ترتیب معادل ۳/۵۵، ۶۰ (μm) و ۳۰۰-۲۵۰ (m²/g) می‌باشد.

تهیه خاک آلوده

در این پژوهش برای تهیه نمونه خاک آلوده، از ماده آلی فنانترون با درصد وزنی ۰/۱۲ (۱۲۰۰ میلی گرم در یک کیلوگرم خاک) استفاده گردید. از آنجا که فنانترون ماده‌ای جامد است، می‌بایست قبل از اضافه کردن به خاک

در حلالی مناسب به صورت کامل حل گردد. سپس به منظور توزیع یکنواخت در خاک، به صورت اسپری به خاک اضافه شود. حلالیت فنانترون در آب بسیار کم می‌باشد، به همین علت از استون که حلالی مناسب برای این ماده است و به سرعت در محیط تبخیر می‌شود، استفاده گردید. پژوهشگران دیگری نیز از استون برای حل کردن فنانترون در پژوهش‌های خود استفاده نموده‌اند [32-34]. به منظور انجام کامل واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده و خاک، خاک آلوده به مدت یک هفته در کیسه پلاستیکی مسدود شده نگهداری شد [10].

ساخت و نگهداری نمونه‌ها

نمونه‌های خاک مورد بررسی در این پژوهش شامل خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترون و خاک طبیعی و آلوده اختلاط یافته با منیزیم اکسید در درصدهای وزنی ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ می‌باشد. برای ساخت نمونه‌های خاک، ابتدا آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه‌های مختلف براساس استاندارد ASTM-D698-12^{e2} صورت گرفت [35] و منحنی‌های تراکمی هر یک از آنها تعیین شد. سپس براساس مشخصات نقطه بهینه هر یک از منحنی‌های تراکمی، اقدام به ساخت نمونه‌های مربوط به روش تراکم استاتیکی شد. نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه بارگذاری تک محوری در سه لایه و با سرعت mm/min ۱/۵ متراکم گردیدند. نمونه‌های ساخته شده دارای قطر و ارتفاع معادل ۵۰ mm و قطر ۱۰۰ mm بودند. نمونه‌های حاوی منیزیم اکسید پس از ساخت در اتاقکی با رطوبت بالای ۹۵٪ و دمای ۲۵ °C نگهداری شدند (مشابه شرایط نگهداری به کار رفته در پژوهش استبرق و همکاران [23]) و در زمان‌های عمل‌آوری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز از اتاقک خارج و آزمایش مقاومت تک محوری بر روی آنها انجام گردید.

آزمایش حدود اتربرگ

به منظور بررسی اثر افزودن ماده آلی فنانترون و ماده افزودنی منیزیم اکسید بر روی مقادیر حدود اتربرگ،

رویشی اقدام به عکس برداری گردید. این آزمایش در آزمایشگاه SEM پژوهشگاه مواد و انرژی انجام گردید.

نتایج

در این پژوهش تعداد ۱۰ آزمایش حدود اتربرگ، ۱۰ آزمایش تراکم استاندارد، ۱۰۲ آزمایش مقاومت تک-محوری و ۶ آزمایش SEM بر روی نمونه های خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترون، خاک طبیعی و آلوده اختلاط یافته با درصد های مختلف منیزیم اکسید انجام پذیرفت. نتایج به دست آمده از آزمایش های صورت گرفته به شرح زیر می باشد.

نتایج آزمایش حدود اتربرگ

نتایج آزمایش حدود اتربرگ نمونه های خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترون و خاک طبیعی و آلوده اختلاط یافته با منیزیم اکسید در درصد های مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. براساس این شکل، حدود روانی و خمیری خاک طبیعی به ترتیب برابر ۴۷ و ۲۶٪ می باشد. با افزودن منیزیم اکسید در درصد های گوناگون به خاک، حدود اتربرگ افزایش می یابد. به عنوان مثال افزودن ۵٪ منیزیم اکسید به خاک، حدود روانی و خمیری خاک را به ۵۰ و ۳۲٪ رسانده است که این مقادیر به ازای افزودن ۳۰٪ منیزیم اکسید برابر ۵۵ و ۳۸٪ می باشد. هم چنین این شکل نشان می دهد که اضافه کردن فنانترون به خاک سبب کاهش ۵ درصدی حد روانی و ۴ درصدی حد خمیری در مقایسه با خاک طبیعی شده است. این مقادیر با افزودن منیزیم اکسید به خاک آلوده افزایش پیدا کرده است. به عنوان مثال اضافه کردن ۳۰٪ منیزیم اکسید به خاک آلوده حد روانی و حد خمیری را به ترتیب به مقادیر ۵۴ و ۳۸٪ رسانده است. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که افزودن منیزیم اکسید به خاک طبیعی و خاک آلوده به فنانترون سبب افزایش حدود روانی و خمیری می شود.

حدود روانی و خمیری نمونه های خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترون و خاک طبیعی و خاک آلوده حاوی درصد های مختلف منیزیم اکسید براساس استاندارد ASTM-D4318-17^{el} تعیین گردید [36].

آزمایش مقاومت تک محوری

آزمایش مقاومت تک محوری (UCS) براساس ASTM-D1633-17 روی نمونه های مختلف خاک صورت پذیرفت [37]. نمونه ها پس از قرارگیری در دستگاه بارگذاری، با سرعت ۱ mm/min تا گسیختگی کامل تحت تأثیر اعمال بار قرار گرفتند. در طول آزمایش، مقادیر بار اعمال شد و تغییر شکل ایجاد شده در نمونه ها ثبت گردید و با استفاده از داده های ثبت شده اقدام به تعیین منحنی تنش-کرنش هر یک از آنها شد. لازم به ذکر است که در این کار پژوهشی آزمایش مقاومت تک محوری برای هر یک از حالت های مورد بررسی، با سه تکرار صورت گرفت. سپس در صورت نزدیک بودن نتایج، میانگین آنها به عنوان نتیجه نهایی منظور گردید. حال اگر یکی از نتایج آزمایش ها با دو آزمایش دیگر اختلاف معنی داری داشت، آن نمونه حذف شد و میانگین نتایج باقی مانده گزارش گردید.

SEM

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) امکان بررسی و تحلیل ریزساختار نمونه های خاک را در ابعاد میکرونی فراهم کرده است. در این پژوهش، آزمایش SEM روی نمونه های خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترون، خاک طبیعی اختلاط یافته با ۵ و ۳۰٪ منیزیم اکسید و خاک آلوده اختلاط یافته با ۵ و ۳۰٪ منیزیم اکسید در زمان عمل آوری ۲۸ روز صورت گرفت. آماده سازی نمونه ها برای انجام آزمایش SEM به این صورت بود که از وسط نمونه ها، بخش کوچکی جدا گردید و بر روی پایه ای مخصوص برای عمل پوشش دهی طلا قرار داده شد. سپس با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی

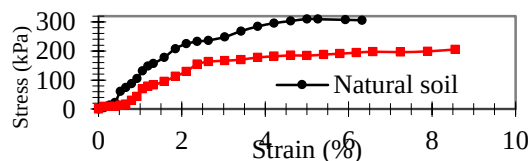
منیزیم اکسید شده است.

جدول ۳ پارامترهای تراکمی نمونه های خاک طبیعی و آلوده به سازی شده

پارامترهای تراکمی				
γ_{dmax} (kN/m ³)		w (%)		
MgO (%)	خاک طبیعی	خاک آلوده	خاک طبیعی	خاک آلوده
۵	۲۱	۲۱/۸	۱۵/۲	۱۵/۳
۱۰	۲۱	۲۲	۱۵	۱۵/۱
۲۰	۲۲/۸	۲۳/۵	۱۴/۹	۱۵
۳۰	۲۳/۷	۲۴	۱۴/۸	۱۴/۸

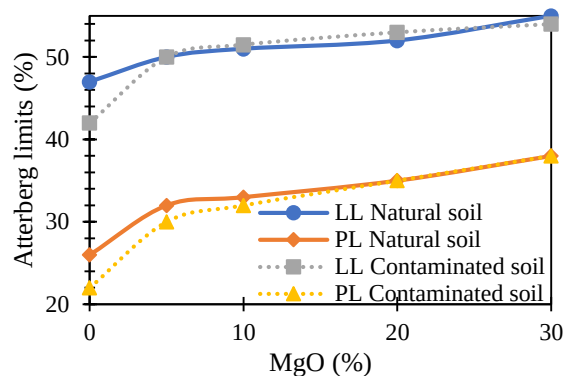
نتایج آزمایش مقاومت تک محوری

شکل (۳)، منحنی های تنش - کرنش نمونه های خاک طبیعی و خاک آلوده به فنانترن را نشان می دهد. همان طور که در این شکل ملاحظه می گردد، آلوده کردن خاک با ماده آلی فنانترن سبب تغییر مقاومت خاک از ۳۰۶ kPa به ۲۰۳ شده است. در واقع افزودن فنانترن به خاک سبب کاهش ۳۴ درصدی مقاومت فشاری در مقایسه با خاک طبیعی شده است. همچنین مشاهده می شود که گسیختگی نمونه خاک طبیعی در کرنش ۶٪ و خاک آلوده در کرنش ۸/۵٪ اتفاق افتاده است.



شکل ۳ منحنی تنش - کرنش خاک طبیعی و خاک آلوده

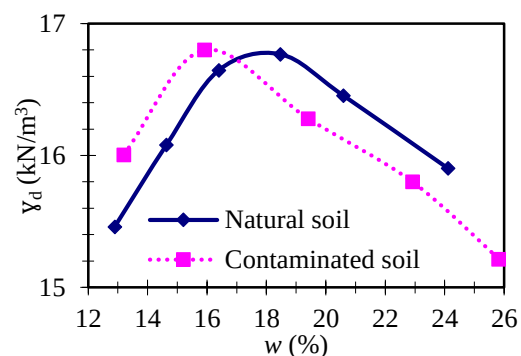
نتایج مقاومت فشاری نهایی به دست آمده از منحنی - های تنش - کرنش نمونه های خاک طبیعی و آلوده حاوی منیزیم اکسید در درصدهای وزنی ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ و زمان های عمل آوری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به صورت نمودار میله ای در شکل (۴) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می گردد، در هر یک از درصدهای ثابت ماده



شکل ۱ نتایج حدود اتربرگ نمونه های خاک مورد مطالعه

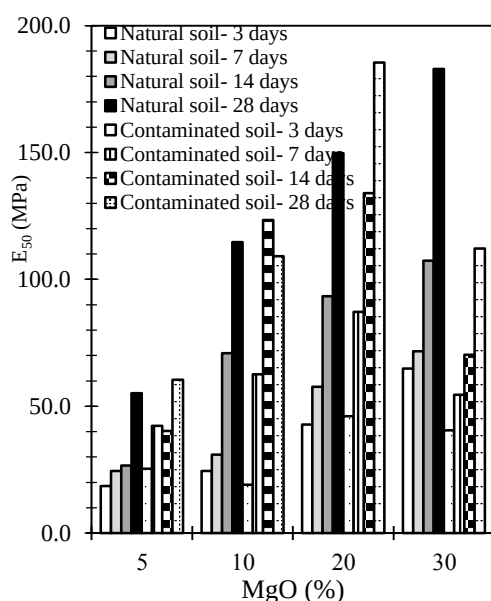
نتایج آزمایش تراکم استاندارد

شکل (۲)، منحنی تراکمی نمونه های خاک طبیعی، خاک آلوده به فنانترن را نشان می دهد. براساس این شکل، افزودن فنانترن به خاک سبب کاهش رطوبت بهینه خاک شده است و آن را از ۱۸ به ۱۶٪ رسانده است لیکن افزودن این ماده آلی تأثیری در مقدار وزن واحد حجم خشک بیشینه نداشته است و مقدار آن برابر ۱۶/۸ kN/m³ گردیده است.



شکل ۲ منحنی تراکم نمونه های خاک طبیعی و آلوده مورد مطالعه

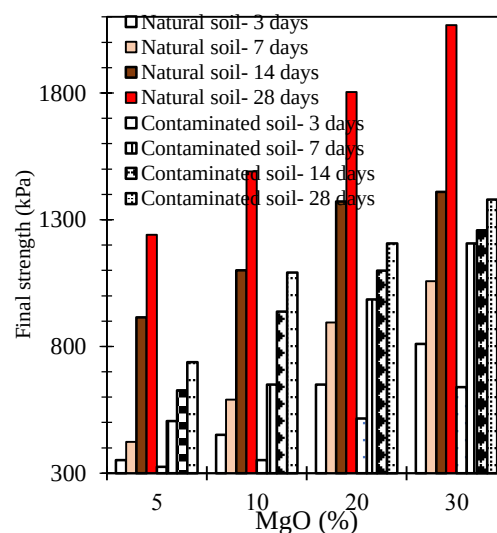
پارامترهای تراکمی نمونه های به سازی شده با منیزیم - اکسید براساس منحنی های تراکمی به دست آمده برای هر یک از آنها تعیین گردید و نتایج آنها در جدول (۳) آورده شد. همان طور که مشاهده می شود افزودن منیزیم اکسید سبب کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه و افزایش رطوبت بهینه در نمونه های خاک طبیعی و آلوده حاوی



شکل ۵ تغییرات E_{50} نمونه‌های به‌سازی شده با منیزیم/اکسید

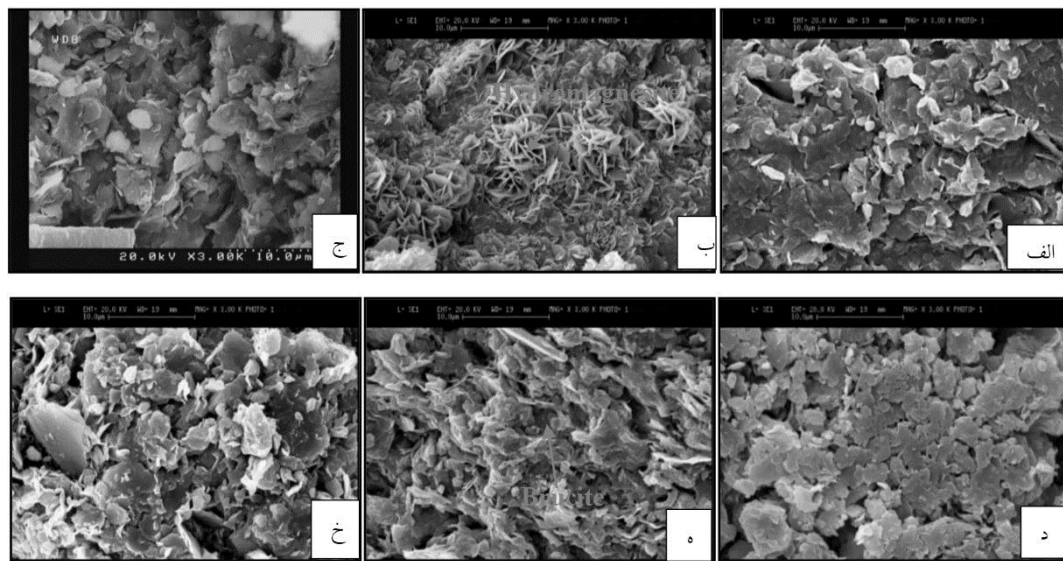
باتوجه به شکل (۳) و محاسبات صورت گرفته، E_{50} خاک طبیعی و خاک آلوده به ترتیب برابر ۱۲/۲ و ۶/۱ به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن فنانترن به خاک سبب کاهش ضریب کشسانی نمونه خاک آلوده در مقایسه با خاک طبیعی می‌شود. نتایج محاسبات مربوط به نمونه‌های خاک طبیعی و آلوده حاوی منیزیم-اکسید در شکل (۵) آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که افزودن منیزیم/اکسید به نمونه‌های خاک سبب افزایش E_{50} در مقایسه با نمونه‌های خاک آلوده و طبیعی می‌شود. همچنین مقایسه مقادیر E_{50} نمونه‌های به‌سازی شده نشان می‌دهد که به ازای درصد ثابت ماده افزودنی، مقادیر ضریب کشسانی با گذشت زمان افزایش می‌یابد. همچنین به ازای زمان عمل‌آوری ثابت، افزایش E_{50} نمونه‌های خاک با افزایش درصد ماده افزودنی مشاهده می‌شود (البته این امر در برخی از نمونه‌های آلوده صادق نمی‌باشد که علت آن به شکل منحنی تنش-کرنش نمونه‌های خاک و پراکندگی داده‌های ثبت شده مرتبط می‌باشد). علاوه بر این مقایسه نتایج نشان می‌دهد که به ازای افزودن ۳۰٪ از ماده افزودنی، E_{50} نمونه‌های خاک طبیعی حاوی منیزیم/اکسید بیشتر از نمونه‌های آلوده حاوی منیزیم/اکسید می‌باشد.

افزودنی، مقاومت فشاری نهایی نمونه‌های خاک طبیعی و آلوده با گذشت زمان افزایش می‌یابد. به عنوان مثال با افزودن ۵٪ منیزیم/اکسید به خاک طبیعی، مقاومت فشاری نهایی آن از ۳۰۶ به مقادیر ۳۵۲ و ۱۲۴۰ کیلوپاسکال به ترتیب در زمان‌های عمل‌آوری ۳ و ۲۸ روز رسیده است که با افزایش درصد ماده افزودنی به ۳۰٪، این مقادیر به ترتیب برابر ۸۱۰ و ۲۰۶۸ کیلوپاسکال به دست آمده است. این مقادیر برای خاک آلوده به ازای افزودن ۵٪ منیزیم/اکسید به ترتیب برابر ۳۲۵ و ۷۳۸ کیلوپاسکال و به ازای افزودن ۳۰٪ منیزیم/اکسید به ترتیب برابر ۶۴۰ و ۱۳۸۰ کیلوپاسکال شده است. در واقع می‌توان بیان کرد که مقاومت فشاری نهایی خاک طبیعی و آلوده به سازی شده با منیزیم/اکسید، با افزایش درصد ماده افزودنی و زمان عمل‌آوری افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه نتایج مقاومت فشاری نهایی خاک طبیعی با آلوده در شکل (۴) نشان می‌دهد که به طور کلی مقاومت فشاری نمونه‌های خاک طبیعی به سازی شده، بیشتر از نمونه‌های خاک آلوده به سازی شده با منیزیم/اکسید می‌باشد.



شکل ۴ مقاومت فشاری نهایی نمونه‌های به‌سازی شده با منیزیم-اکسید

همچنین ضریب کشسانی (الاستیک) مربوط به ۵۰٪ از مقاومت نهایی (E_{50}) نمونه‌ها براساس منحنی‌های تنش-کرنش هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید.



شکل ۶ تصاویر SEM نمونه‌های خاک با بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰ برابر (الف) خاک طبیعی، (ب) خاک طبیعی + ۵٪ منیزیم اکسید، (ج) خاک طبیعی + ۳۰٪ منیزیم اکسید، (د) خاک آلوده، (ه) خاک آلوده + ۵٪ منیزیم اکسید و (خ) خاک آلوده + ۳۰٪ منیزیم اکسید

نتایج SEM

خاک، بخشی از آن سطح ذرات خاک را می‌پوشاند و از آنجا که این ماده آلی غیرقطبی است، کاهش پتانسیل جذب آب توسط ذرات و در نتیجه کاهش حدود اتربرگ را سبب می‌شود. هم‌چنین شکل (۱) نشان می‌دهد که افزودن درصد‌های مختلف منیزیم اکسید به خاک طبیعی و خاک آلوده، سبب افزایش حدود اتربرگ می‌شود که این افزایش تابعی از درصد ماده افزودنی می‌باشد. دلیل این امر آن است که ماده افزودنی منیزیم اکسید دارای سطح ویژه بالایی ($250-300 \text{ m}^2/\text{g}$) می‌باشد که این امر سبب افزایش قدرت جذب آب توسط ذرات و در نتیجه افزایش حدود اتربرگ می‌گردد. این نتایج با یافته‌های پژوهشگران دیگر نیز مطابقت دارد [23, 25].

نتایج آزمایش تراکم در شکل (۲) نشان می‌دهد که آلوده کردن خاک با ماده آلی فنانترن سبب کاهش ۲٪ رطوبت بهینه می‌شود، لیکن وزن واحد حجم خشک بیشینه تغییری نمی‌کند. هم‌چنین مقایسه دو عکس SEM در شکل (۶-الف و د) نشان‌دهنده تغییر ساختار خاک از

شکل (۶) تصاویر SEM نمونه‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۶-الف) مشاهده می‌شود که خاک طبیعی دارای ساختار لخته می‌باشد که افزودن فنانترن به آن سبب تغییر ساختار خاک شده و آن را به سمت پراکنده شدن تغییر داده است (شکل ۶-د). با اضافه کردن منیزیم اکسید به خاک، ساختار نمونه‌های خاک (شکل‌های ۶-ب و ۶-ج) در مقایسه با نمونه خاک طبیعی لخته‌تر شده و فضاهای خالی بین ذرات به وسیله مواد به‌دست‌آمده از کربناسیون و واکنش‌هایی که در محیط خاک رخ داده است، پر شده است. این امر در نمونه‌های آلوده به‌سازی شده (شکل‌های ۶-ه و ۶-خ) نیز مشاهده می‌گردد.

بحث

نتایج آزمایش حدود اتربرگ نشان می‌دهد که افزودن فنانترن به خاک سبب کاهش حدود اتربرگ در مقایسه با خاک طبیعی شده است. در واقع با افزودن فنانترن به

حالت لخته به پراکنده می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه-گیری کرد که آلوده کردن خاک سبب تغییر ساختار و کاهش فضاهای بین ذرات، در مقایسه با خاک طبیعی شده‌است. در خاک طبیعی با اضافه کردن رطوبت و اعمال انرژی تراکمی بر آن، امکان جابه‌جایی ذرات وجود دارد، لیکن این جابه‌جایی در خاک آلوده به علت داشتن ساختار پراکنده و محدودیت فضاهای خالی بین ذرات کمتر رخ داده‌است. این امر سبب تغییر نکردن وزن واحد حجم خشک بیشینه در دو خاک طبیعی و آلوده شده‌است. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط پژوهشگران دیگر هم‌خوانی ندارد [10-12, 25]. پژوهشگرانی مانند خلوصی و همکاران و حاجی محمدی و حمیدی، کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه و افزایش درصد رطوبت بهینه به خاک را با افزودن ماده هیدروکربنی آنتراسن به خاک گزارش نمودند. لیکن استبرق و همکاران و جاندار و همکاران نتیجه گرفتند که به‌ازای افزودن بیش از ۳٪ گلیسرول به خاک، وزن واحد حجم خشک بیشینه و درصد رطوبت بهینه، به‌ترتیب افزایش و کاهش پیدا کرده‌است.

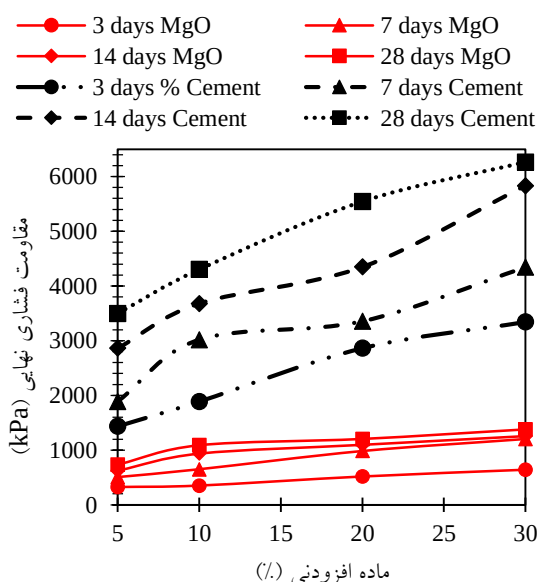
مقایسه مقادیر پارامترهای تراکمی در جدول (۳) نشان می‌دهد که افزودن منیزیم‌اکسید به خاک طبیعی و خاک آلوده سبب کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه و افزایش درصد رطوبت بهینه می‌شود. هم‌چنین با مقایسه تصاویر SEM تهیه شده در شکل (۶) می‌توان گفت که افزودن منیزیم‌اکسید به خاک سبب افزایش درجه لختگی ذرات و افزایش فضاهای خالی بین آنها می‌شود. بنابراین باتوجه به نتایج آزمایش‌های تراکم و SEM می‌توان نتیجه‌گیری کرد که منیزیم‌اکسید به‌علت داشتن سطح ویژه بالای ذرات، سبب افزایش درجه لختگی ساختار خاک و افزایش فضاهای خالی بین آنها شده‌است. هم‌چنین با لخته‌شدن ساختار، ذرات درشت‌دانه‌تر می‌شوند و سطح ویژه آنها کاهش می‌یابد؛ در نتیجه پتانسیل جذب آب نیز کاهش پیدا می‌کند و رطوبت اضافه شده در حین آزمایش تراکم، در بین ذرات قرار می‌گیرد و با اعمال انرژی تراکمی، ذرات به‌علت وجود پیوندهای قوی که در بین

آنها وجود دارد نمی‌توانند نسبت به هم جابه‌جا شوند، بنابراین موجبات کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه آنها فراهم می‌گردد. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط پژوهشگران دیگر هماهنگی دارد [23, 25].

نتایج آزمایش مقاومت تک‌محوری (شکل ۳) نشان می‌دهد که مقاومت خاک با آلوده شدن با فنانترن، کاهش پیدا کرده‌است. دلیل این امر آن است که خاک طبیعی به‌علت داشتن ساختار لخته، بین ذرات آن اصطکاک وجود دارد، لیکن این اصطکاک بین ذرات در خاک آلوده وجود ندارد و ذرات به‌راحتی بر روی یکدیگر می‌لغزند که این امر سبب کاهش مقاومت آن در مقایسه با خاک طبیعی می‌گردد. پژوهشگران دیگر نیز کاهش مقاومت خاک آلوده به آلایندۀ آلی را گزارش نموده‌اند [10-12, 20, 25].

شکل (۴) نشان می‌دهد که افزودن منیزیم‌اکسید به خاک طبیعی و خاک آلوده، مقاومت فشاری نهایی را افزایش می‌دهد. با اضافه کردن منیزیم‌اکسید به خاک، منیزیم‌اکسید تحت فرآیند هیدراسیون به یون منیزیم تبدیل می‌شود و تبادل کاتیونی بین این یون و کاتیون‌های کانی‌های خاک صورت می‌گیرد. منیزیم‌اکسید با جذب آب به بروسیت ($Mg(OH)_2$) تبدیل می‌شود که این ماده توانایی چسباندن محدودی از ذرات را دارد. بروسیت تحت تأثیر شرایط مناسبی و با جذب آب و گاز کربن دی‌اکسید، واکنش‌های کربناسیونی انجام می‌دهد و به موادی به نام نسکوهنیت ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$)، دیپنجیت ($(Mg)_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$) و هیدرومگنیزیت ($(Mg)_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$) تبدیل می‌گردد. این مواد فضاهای خالی بین ذرات را پر می‌کنند و سبب چسباندن ذرات به یکدیگر و در نتیجه افزایش مقاومت نمونه‌های خاک می‌شوند [38]. بدیهی است که عامل زمان در کسب مقاومت بسیار مهم است. تصاویر SEM تشکیل این مواد را حین فرآیند کربناسیون تأیید می‌کند. پژوهشگرانی مانند استبرق و همکاران و جاندار و همکاران نیز افزایش مقاومت خاک طبیعی و خاک آلوده به ماده آلی

رابطه با مسائل زیست محیطی دارد، به طوری که در هنگام تولید، CO_2 کمتری وارد محیط می شود و از طرفی در حین مراحل هیدراسیون نیز، از محیط CO_2 جذب می نماید. پژوهشگران مختلف از جمله لی و همکاران و وانگ و همکاران با پژوهش های خود نیز به این نتیجه رسیده اند که در عملیات پاکسازی خاک های آلوده به مواد آلاینده، منیزیم اکسید عملکرد بهتری نسبت به سیمان دارد [27, 29]. بنابراین اگر هزینه انرژی و سایر موارد با مبالغ واقعی منظور گردد و مقاومت ایجاد شده نیز مطلوب باشد، کاربرد منیزیم اکسید باتوجه به جمیع جهات، نسبت به سیمان ارجح است.



شکل ۷ مقاومت فشاری نهایی نمونه های آلوده اختلاط یافته با درصد های مختلف منیزیم اکسید و سیمان در زمان های عمل آوری متفاوت

نتیجه گیری

براساس مطالعات انجام شده در این پژوهش، نتایج زیر قابل استخراج است:

- براساس تصاویر SEM ارائه شده برای خاک طبیعی و آلوده، افزودن فنانترن به خاک رسی سبب تغییر ساختار خاک می شود و ساختار آن را به سمت پراکنده

گلیسرول را با افزودن منیزیم اکسید گزارش نمودند [23, 25].

نتایج ضریب کشسانی متناظر با ۵۰٪ از مقاومت نهایی نمونه های مورد مطالعه نشان می دهد که این ضریب با افزایش زمان عمل آوری و درصد ماده افزودنی افزایش یافته است. علت این امر آن است که فرآیند کربناسیون و تولید محصولات آن با گذشت زمان صورت می گیرد که این فرآیند سبب افزایش مقادیر E_{50} می شود.

نتایج این پژوهش نشان می دهد که ماده افزودنی منیزیم اکسید، قابلیت به سازی خاک طبیعی و خاک آلوده به فنانترن را دارا می باشد. هم چنین آزمایش های مشابهی نیز روی نمونه هایی از خاک اختلاط یافته با درصد های مختلف سیمان و زمان های عمل آوری گوناگون صورت پذیرفت که نتایج آن همراه با نتایج و کاربرد منیزیم اکسید، در شکل (۷) ارائه شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می گردد، نمونه های به سازی شده با منیزیم اکسید در درصد های یکسان و زمان های عمل آوری مشابه، دارای مقاومت نهایی کمتری نسبت به سیمان می باشند. براساس قیمت های اخذ شده از فروشندگان مصالح ساختمانی، هزینه به سازی ۱ مترمکعب خاک با ۱۰٪ منیزیم اکسید، معادل ۲۲۷۰۰۰ تومان می گردد، لیکن برای به سازی آن با ۵٪ سیمان که مقاومت بیشتری از کاربرد درصد منیزیم اکسید مذکور دارد، مبلغ ۸۶۰۰۰ تومان محاسبه می شود. مقایسه این ارقام و نیز مقاومت کسب شده نشان می دهد که برای به سازی خاک در شرایط کنونی کشور (پایین بودن نرخ مواد سوختی) مصرف سیمان به ظاهر اقتصادی و مطلوب می باشد. لیکن باید توجه داشت که برای تولید سیمان، به حرارتی با دمای ۱۴۵۰ درجه سانتی گراد نیاز است که این خود سبب مصرف مقدار زیاد مواد سوختی می گردد، لیکن در تولید منیزیم اکسید حرارتی کمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد مورد نیاز است؛ بنابراین اگر هزینه انرژی به صورت واقعی مطابق آنچه در کشورهای غربی معمول است منظور گردد، هزینه های تولید آنها حدوداً یکسان می شود. از طرفی منیزیم اکسید اثر تخریبی کمتری نسبت به سیمان در

- شدن پیش می برد.
- افزودن ماده آلی فنانترن به خاک رسی، سبب کاهش درصد رطوبت بهینه آن در مقایسه با خاک طبیعی می گردد، لیکن مقدار وزن واحد حجم خشک بیشینه تغییر نمی یابد.
- فنانترن سبب کاهش مقاومت در مقایسه با خاک طبیعی می شود که اضافه کردن منیزیم/اکسید به آن، مقاومت خاک آلوده و E₅₀ را افزایش می دهد که این افزایش تابعی از درصد ماده افزودنی به کار رفته و زمان عمل-آوری می باشد.
- نتایج آزمایش SEM مشخص نمود که افزودن فنانترن به خاک سبب تغییر ساختار خاک در مقایسه با خاک طبیعی می شود. از طرفی اضافه کردن منیزیم/اکسید سبب تشکیل محصولات کربناسیون در نمونه های به سازی شده می گردد که این امر موجب پیوند ذرات خاک به یکدیگر و افزایش مقاومت می شود.

مراجع

۱. شاکری، ع.، رضی کرد محله، ل. و اسماعیلی، ا. «بررسی غلظت هیدروکربن های نفتی کل، پلی هیدروآروماتیک ها و آلیفاتیک ها در خاک مناطق نفتی استان بوشهر»، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، دانشگاه خوارزمی، (۱۳۹۰).
2. Harvey, R. G., "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Chemistry and Carcinogenicity", Cambridge University Press, New York, (1991).
3. Kuppasamy, S., Thavamani, P., Venkateswarlu, K., Lee, Y. B., Naidu, R., and Megharaj, M., "Remediation Approaches for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Contaminated Soils: Technological Constraints, Emerging Trends and Future Directions", *Chemosphere*, Vol. 168, pp. 944-968, (2017).
4. Kharisov, B.I., Dias, H.V.R., and Kharissova, O. V., "Nanotechnology-based Remediation of Petroleum Impurities from Water", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 122, pp. 705-718, (2014).
5. <https://www.ioptc.ir>
۶. علایی، ا.، وکیلی، ف. و مهرداد شریف، ا.ع.، «گیاه پالایی خاک های آلوده به فنانترن با استفاده از گیاه سورگوم»، نشریه محیط شناسی، دوره ۳۶، شماره ۵۳، صص. ۷۹-۸۸ (۱۳۸۹).
7. Arbabi, M., Nasser, S., and Chimezie, A., "Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Petroleum Contaminated Soils", *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 53-59, (2009).
8. Meegoda, N. J., and Ratnaweera, P., "Compressibility of Contaminated Fine-grained Soils", *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 17, No. 1, pp. 101-112, (1994).
9. Khamchayan, M., Hossein Charkhabi, A., and Tajik, M., "Effects of Crude Oil Contamination on Geotechnical Properties of Clayey and Sandy Soils", *Engineering Geology*, Vol. 89, No. 3-4, pp. 220-229, (2007).
10. Estabragh, A. R., Khatibi, M., and Javadi, A. A., "Effect of Cement on Treatment of a Clay Soil Contaminated with Glycerol", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp. 04015157-10, (2016).

۱۱. خلوصی، م.م.، رئیسی استبرق، ع.، عبدالهی، ج.، «بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رسی آلوده به ماده هیدروکربنی با افزودن سیمان»، نشریه مهندسی عمران مدرس، دوره ۱۷، شماره ۲، صص. ۹۳-۱۰۶، (۱۳۹۶).
۱۲. حاجی محمدی، م. و حمیدی، ا.، «به سازی رفتار مکانیکی رس کائولینیت آلوده به آنتراسن با سیمان و آهک»، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، دوره ۵۱، شماره ۷، صص. ۱۷۸۳-۱۷۹۵، (۱۳۹۹).
13. Sherwood, T. P., "Soil Stabilization with Cement and Lime: State of the Art Review", HMSO Books, London, (1993).
14. Bergado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N., and Balasubramaniam, A.S., "Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments", ASCE Press, New York, (1996).
15. Al-Tabbaa, A., "Soil Mixing in the UK 1991-2001: State of Practice Report", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, Vol. 7, No. 3, pp. 117-126, (2003).
16. Puppala, A. J., Wattanasanticharoen, E., and Punthutaecha, K., "Experimental Evaluations of Stabilisation Methods for Sulphate-rich Expansive Soils", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, Vol. 7, No. 1, pp. 25-35, (2003).
17. Chew, S. H., Kamruzzaman, A. H. M., and Lee, F. H., "Physicochemical and Engineering Behavior of Cement Treated Clays", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 7, pp. 696-706, (2004).
18. Lee, F.-H., Lee, Y., Chew, S.-H., and Yong, K.-Y., "Strength and Modulus of Marine Clay-Cement Mixes", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 2, pp. 178-186, (2005).
19. Kitazume, M., and Terash, M., "The deep mixing method. Leiden, the Netherlands", CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands, (2013).
20. Chen, H., Jiang, Y., Zhang, W., and He, X., "Experimental Study of the Stabilization Effect of Cement on Diesel Contaminated Soil", *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol. 50, No. 2, pp. 199-205, (2017).
21. Estabragh, A. R., Kholoosi, M. M., Ghaziani, F., and Javadi, A. A., "Stabilization and Solidification of a Clay Soil Contaminated with MTBE", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 143, No. 9, pp. 04017054-8, (2017).
22. Estabragh, A.R., Jahani, A., Javadi, A.A., and Babalar, M., "Assessment of Different Agents for Stabilisation of a Clay Soil", *International Journal of Pavement Engineering*, Published online, (2020).
23. Estabragh, A. R., Khajepour, H., Javadi, A. A., and Amini, M., "Effect of Forced Carbonation on the Behaviour of a Magnesia-stabilised Clay Soil", *International Journal of Pavement Engineering*, Published online, (2020).
24. Oluwatuyi, O. E., Ojuri, O. O., and Khoshghalb, A., "Cement-lime Stabilization of Crude Oil Contaminated Kaolin Clay", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 160-167, (2020).
۲۵. جاننداری، ف.، ریسی استبرق، ع.، عبدالهی علی بیک، ج.، امینی، م. و انصار شوربجه، آ.، «به سازی خاک آلوده به ماده آلی گلیسرول با

منیزیم اکسید، نشریه زمین شناسی مهندسی خوارزمی، (پذیرفته شده).

26. Yi, Y., Lu, K., Liu, S., and Al-Tabbaa, A., "Property Changes of Reactive Magnesia-Stabilized Soil Subjected to Forced Carbonation", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 53, No. 2, pp. 314–325, (2016).
27. Li, W., Ni, P., and Yi, Y., "Comparison of Reactive Magnesia, Quick Lime, and Ordinary Portland Cement for Stabilization/Solidification of Heavy Metal-Contaminated Soils", *Science of the Total Environment*, Vol. 671, pp. 741–753, (2019).
28. Yang, Y., Ruan, S., Wu, S., Chu, J., Unluer, C., Liu, H., and Cheng, L., "Biocarbonation of Reactive Magnesia for Soil Improvement", *Acta Geotechnica*, Vol. 16, No. 4, pp. 1113–1125, (2021).
29. Wang, F., Xu, J., Zhang, Y., Shen, Z., and Al-Tabbaa, A., "MgO-GGBS Binder-Stabilized/Solidified PAE-Contaminated Soil: Strength and Leachability in Early Stage", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 147, No. 8, pp. 04021059-7, (2021).
30. Shand, M., Al-Tabbaa, A., Qian, J., Mo, L., and Jin, F., "Magnesia Cements: From Formulation to Application", Elsevier, (2020).
31. Wexler, P., Anderson, B.D., Gad, S.C., Hakkinen, P.B., Kamrin, M., De Peyster, A., Locey, B., Pope, C., Mehendale, H.M., and Shugart, L.R., "Encyclopedia of Toxicology", Vol. 3, Academic Press, (2005).
32. López-Vizcaíno, R., Sáez, C., Cañizares, P., and Rodrigo, M. A., "The Use of a Combined Process of Surfactant-Aided Soil Washing and Coagulation for PAH-contaminated Soils Treatment", *Separation and Purification Technology*, Vol. 88, pp. 46–51, (2012).
33. Alcántara, T., Pazos, M., Cameselle, C., and Sanromán, M. A., "Electrochemical Remediation of Phenanthrene from Contaminated Kaolinite", *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 30, No. 2, pp. 89–94, (2008).
34. Chang, M. C., Huang, C. R., and Shu, H. Y., "Effects of Surfactants on Extraction of Phenanthrene in Spiked Sand", *Chemosphere*, Vol. 41, No. 8, pp. 1295–1300, (2000).
35. ASTM D698-12 ϵ 2, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))", ASTM International, West Conshohocken, PA, (2012).
36. ASTM D4318-17 ϵ 1, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).
37. ASTM D1633-17, "Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders", ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).
38. Yi, Y., Liska, M., Unluer, C., and Al-Tabbaa, A., "Carbonating Magnesia for Soil Stabilization", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 50, No. 8, pp. 899–905, (2013).

شناسایی عوامل مؤثر بر علل عبور وسایل نقلیه از چراغ قرمز در تقاطع‌های چراغ‌دار مورد مطالعه: کلان‌شهر رشت*

ایرج برگ‌گل^(۱) سبجان حسن‌جانی^(۲) سعید فاطمی^(۳) سید امیر سعادتجو^(۴)

چکیده باتوجه به رشد فزاینده استفاده از خودروها در شهرها، بخش قابل توجهی از معابر درون‌شهری مورد استفاده رانندگان قرار می‌گیرند. تقاطع‌های چراغ‌دار هم‌سطح، مسیر مشترک عبور عابران و خودروها می‌باشند و باتوجه به حجم زیاد تردد در این نقاط، کوچک‌ترین بی‌نظمی در جریان تردد باعث کاهش شدید ظرفیت تقاطع می‌شود. نقض چراغ‌قرمز توسط رانندگان یکی از عوامل مشکل‌ساز در تقاطع‌های چراغ‌دار و بروز حوادث رانندگی برای عابران پیاده می‌باشد. مطالعه پیش‌رو با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر علل عدم رعایت قانون، با ترکیب مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده‌شده از ۱۰۱ وسیله نقلیه انجام شد. متغیرهای جمعیت‌شناختی از قبیل سن و جنسیت و پوشش و وزن رانندگان به‌عنوان پارامترهای احتمالی تأثیرگذار بر نقض چراغ‌قرمز مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی هر یک از شاخص‌های رفتاری نشان داد که نقض چراغ‌قرمز به‌طور مستقیم با سن، جنسیت و پوشش و وزن مرتبط می‌باشد. همچنین تعداد تخلف در گروه‌های سنی بالاتر، کاهش چشم‌گیری داشت؛ به‌طوری‌که در گروه سنی بالاتر از ۶۰ سال هیچ تخلفی مشاهده نشد و این امر رابطه‌ای با جنسیت نداشت و رفتار هر دو گروه آقایان و بانوان مشابه یکدیگر بود.

واژه‌های کلیدی تقاطع چراغ‌دار، چراغ‌قرمز، عبور از چراغ‌قرمز.

Identifying the Factors Affecting Vehicles Red-light Running at Traffic Light Intersections (Case Study: Rasht Metropolis)

I. Bargegol S. Hassanjani S. Fatemi S. A. Saadatjoo

Abstract Despite the growing trend of car use in cities, a significant part of the users of city roads is drivers. Level-crossing intersections are a common passageway for pedestrians and vehicles, and due to the large volume of traffic in these areas, the slightest irregularity in the flow of traffic causes a severe reduction in the capacity of the intersection. Violation of red lights by drivers is one of the problematic factors in traffic light intersections and the occurrence of traffic accidents for pedestrians. The present study aimed to identify the factors affecting this phenomenon, by combining a set of data observed from 101 vehicles, demographic variables such as age, gender, coverage, and weight of drivers were examined as possible parameters affecting red light violation. The results were evaluated by statistical tests to determine the significance of the effect of each variable. Examination of each of the behavioral indicators showed that red light violations were consistently related to age, gender, and clothing, and weight.

Key Words Traffic light intersection, Red light, Red light running, RLR.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۰/۹/۷ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ از صفحه ۶۷ تا ۸۰ می‌باشد.

Email: bargegol@guilan.ac.ir

(۱) نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، گروه مهندسی عمران دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
(۳) دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(۴) دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

مقدمه

انجام بسیاری از فعالیت‌های روزمره بشر مستلزم جابه جایی و سفر از مکانی به مکان دیگر است که برخی از این جابه‌جایی‌ها درون شهر و برخی دیگر خارج از شهر صورت می‌گیرد [1]. استفاده از وسیله نقلیه یکی از قدیمی‌ترین شکل‌های جابه‌جایی است و مسیرها یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم حمل‌ونقل می‌باشند [2].

امروزه با افزایش جمعیت شهرها علی‌رغم رشد روزافزون استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی، بخش قابل توجهی از سفرهای درون‌شهری با استفاده از وسیله نقلیه شخصی انجام می‌شود. تقاطع‌ها از اجزای مهم شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری و عبور از تقاطع‌ها بخش حساس در طی این مسیر از مبداء به مقصد می‌باشد. امروزه در تمام جوامع بشری ترافیک به یک معضل فراگیر تبدیل شده‌است. شلوغی و ازدحام ناشی از وجود بیش از حد خودروها باعث ایجاد فشار روحی در جامعه می‌شود.

تقاطع‌ها در شبکه معابر شهری از اهمیت بالایی برخوردار هستند. از آنجایی که ظرفیت شبکه حمل‌ونقل متأثر از عملکرد تقاطع‌ها می‌باشد، هرگونه بی‌نظمی در این اجزای مهم سبب کاهش ظرفیت شبکه می‌شود [3]. عبور غیرقانونی از عرض معبر و نقض چراغ‌قرمز توسط وسیله نقلیه یکی از عوامل برهم‌زننده نظم و زمینه‌ساز بروز تصادفات است. اتلاف وقت و کاهش بهره‌وری از دیگر تبعات منفی تخلف عبور از چراغ‌قرمز در تقاطع‌ها می‌باشد.

باتوجه به اثرگذاری رفتار متخلفان عبور از چراغ‌قرمز، شناخت ویژگی‌های رفتاری و ظاهری آنان از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به طراحی بهتر تسهیلات مرتبط با عبور از چراغ‌قرمز منتهی شود. در اهمیت پژوهش می‌توان گفت که کشور ایران یک درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد، اما سهم جهانی آن از سوانح رانندگی دو درصد است [4]. یکی از دلایل این امر عبور از چراغ‌قرمز است؛ لذا باید این مسئله را یک دغدغه ملی بدانیم. در پژوهش پیش‌رو دلایل نقض قانون

توسط رانندگان حین عبور از چراغ‌قرمز در تقاطع‌ها و همچنین راهکارهای مقابله با این پدیده معمول، مورد بررسی قرار گرفته‌است [5].

مطالعات پیشین

ایمنی عابران پیاده در سیستم حمل‌ونقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا شهرها باید محیطی ایمن را برای کاربران آسیب‌پذیر ایجاد کنند. تصادفات عابران پیاده امری بسیار حائز اهمیت است که در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته‌است [1,6]. یکی از عواملی که در بحث نقص چراغ‌قرمز کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌است سن کاربر متخلف می‌باشد. رانندگانی که سن و سال بیشتری دارند در اغلب موارد قانون را رعایت می‌کنند. قابل توجه است که عدم رعایت قوانین به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در نقض چراغ‌قرمز معرفی می‌شود.

ژوانگ و همکاران [7] در سال ۲۰۱۱ نشان داده‌اند که سن با تخلفات عابران پیاده و رانندگی در ارتباط است. عابران پیاده و رانندگان جوان‌تر تخلفات بیشتری را نسبت به افراد مسن مرتکب می‌شوند.

دومس و همکاران [8] در پژوهشی نشان دادند که تعداد تخلفات و بیمه رانندگان جوان ۱۸ - ۲۳ ساله از افراد میان‌سال ۴۵ - ۵۱ ساله بیشتر است. همچنین تمایل به تخلف و هنجارشکنی با افزایش سن در عابران پیاده، کم می‌شود ولی تعداد وقوع خطا کم نمی‌شود.

نتایج مطالعات دیاز که در سال ۲۰۰۲ انجام شد، حاکی از آن بود که آقایان بیشتر از بانوان مرتکب تخلفات رانندگی می‌شوند و نخستین تخلفات رانندگی آقایان در سنین پایین‌تری نسبت به بانوان رخ می‌دهد. همچنین آقایان دو برابر بانوان احتمال قانون‌شکنی در هر سال را دارند و حین عبور، خود را در شرایط خطرناک‌تری قرار می‌دهند [9].

مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۱ توسط تام و گرانیه صورت گرفت نتایج متناقضی را نشان داد. این

اطاعت از چراغ راهنمایی نداشتند. درواقع هنگامی که فرد عابر به محدوده تقاطع می‌رسد و فرد دیگری حضور ندارد، اگر تصمیم بر نقض چراغ قرمز داشته باشد با آزادی عمل مرتکب تخلف می‌شود، ولی اگر افراد دیگری در محدوده گذرگاه در انتظار سبز شدن چراغ باشند، فرد عملکرد مسئولانه‌ای اتخاذ می‌کند [12].

تام و گرانبه [13] در پژوهشی که در سال ۲۰۱۰ انجام شد به یافته‌های متناقضی دست یافتند. آنها متوجه شدند که حضور وسایل نقلیه پارک شده با کاهش پهنای خیابان احتمالا باعث افزایش احساس امنیت در عابران و به وجود آوردن نقض چراغ قرمز توسط عابران می‌شود. علاوه بر این، انسداد بصری ایجاد شده توسط وسایل نقلیه پارک شده می‌تواند باعث شود که عابر در حین ورود به محدوده عبور، ترافیک ورودی را از دورتر رؤیت کند و تصمیم صحیح را اتخاذ کند. در شرایط مشابه، حضور وسایل نقلیه پارک شده در حاشیه خیابان سبب کاهش نقض چراغ قرمز می‌شود. حضور غیرقانونی وسایل نقلیه پارک شده در محل خط‌کشی عابر پیاده، احتیاط بیشتر عابر بزرگسال را در پی داشت و مانع عبور راحت عابران از عرض خیابان شد. عابران بزرگسال وقتی خودرو پارک شده‌ای در حاشیه خیابان بود، رفتار عبوری محتاطانه‌ای از خود نشان دادند.

در پژوهش دیگری که توسط بروسور و همکاران در سال ۲۰۱۳ بر روی تأثیر زمان انتظار عابر پیاده بر نقض چراغ قرمز و قرار گرفتن در موقعیت‌های خطرناک انجام شد، نتایج نشان داد که زمان ورود و مدت حضور عابران در محدوده انتظار، به طول فاز بستگی دارد. افرادی که چراغ قرمز را نقض کردند آستانه انتظار کمتری داشتند [2]. پژوهشی دیگری توسط سینمون و همکاران [14] در سال ۲۰۱۱ به بررسی طول عبور و تأثیر آن بر نقض چراغ قرمز توسط عابران پیاده پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که هرچه طول عبور بیشتر باشد احتمال نقض چراغ قرمز توسط عابران پیاده، کاهش می‌یابد.

هدف پژوهش. مطالعه پیش‌رو با هدف بررسی رفتار و دلایل نقض چراغ قرمز در تقاطع‌های چراغ‌دار کلانشهر

پژوهشگران، عابران پیاده مرد را مشاهده کردند که به احتمال زیاد به پیروی از قوانین ترافیکی در معابر چراغ‌دار می‌پرداختند درحالی‌که عابران پیاده زن به‌ویژه بانوان میان‌سال در عبور از عرض خیابان عجول بودند و تمایل به نقض چراغ قرمز را داشتند [10].

در تحقیقات شکروتوا و همکاران [11] در سال ۲۰۰۴ نتایج جالبی پدیدار شد. تعداد اندکی از عابران مسن وقتی به محدوده عبور رسیدند، حین عبور در حال دویدن مشاهده شدند و بیشتر عابران قبل از عبور به سمت چراغ راهنمایی نگاه می‌کردند؛ هم‌چنین با میل بیشتری در پیاده‌رو نسبت به جاده ایستاده بودند که احتمالا به دلیل جبران کاهش ترس از برخورد با خودروهای عبوری و نیاز آنها به حفظ تعادل در حین عبور بوده است. عابران مسن تر باتوجه به ترس از افتادن قبل و در حین عبور نمی‌دوند. عابران مسن برای کنترل نقل و انتقال خود اغلب به سمت زمین نگاه می‌کنند تا از بروز مشکلات مربوط به عبور جلوگیری کنند. عابران بزرگسال توجه زیادی به مراحل عبور خود به عنوان عابر دارند. محققان دریافتند عابران مسن برای مقابله با کاهش توانایی‌های خود در شنیدن و هم‌چنین برای انتخاب گپ ایمن برای عبور به چراغ راهنمایی نگاه می‌کنند و در اغلب موارد عملکردی منطبق با قوانین ترافیکی دارند. علاوه بر این به نظر می‌رسد آنها مسئولیت خود را در انتخاب رفتار به رانندگان و زیرساخت‌های موجود واگذار می‌کنند. این استراتژی جبران، می‌تواند دلیلی باشد که چرا عابران بزرگسال قدردانی بیشتری نسبت به عابران جوان در قبال عملکرد مسئولانه رانندگان نشان می‌دهند.

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ دریافتند که واکنش افراد در لحظه انتظار، به فرد یا گروه بودن آنها بستگی دارد. به نظر می‌رسد تعداد پیاده‌هایی که در یک گروه سفر می‌کنند با تعداد نقض چراغ قرمز توسط عابر پیاده ارتباط داشته باشد. وقتی اندازه گروه افزایش می‌یابد نسبت نقض چراغ قرمز توسط عابر کاهش می‌یابد.

اما رن و همکاران [12] در سال ۲۰۱۱ یافته‌های متناقضی را نشان دادند. این محققان عابران پیاده‌ای را که در گروه انتظار بودند مشاهده کردند درحالی‌که تمایلی به

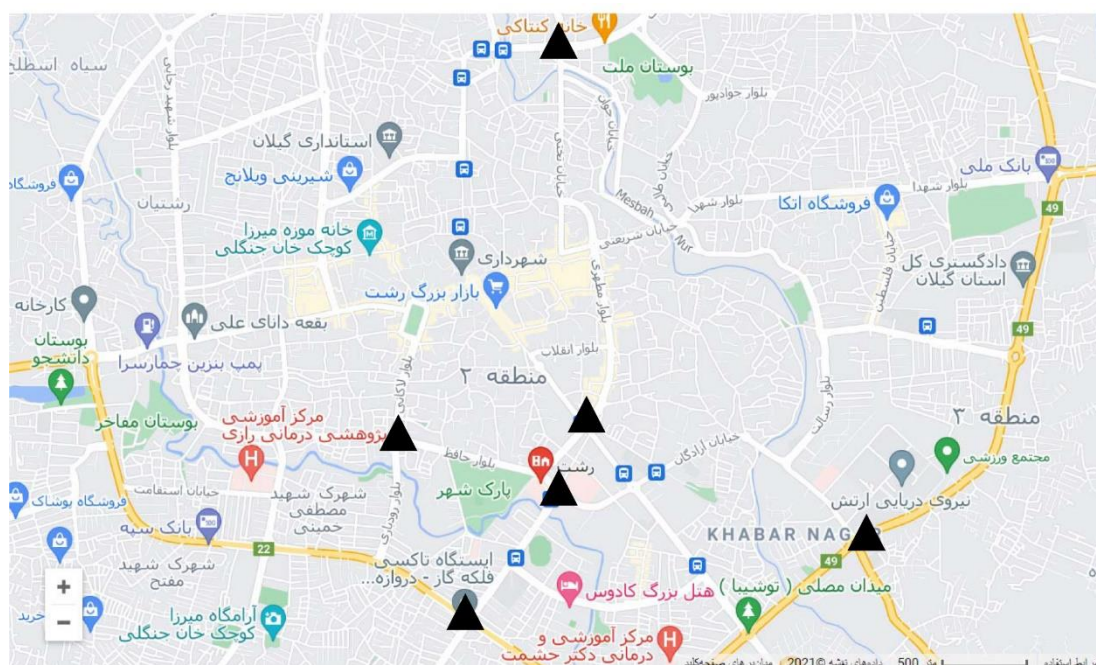
هدف‌های تعیین‌شده در این حوزه مطالعه و بررسی شد. مطالعات میدانی و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز با استفاده از برداشت میدانی که به منظور نشان دادن عوامل مؤثر بر وسایل نقلیه تدوین شده بود، انجام گرفت و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار انجام شد.

محل مورد مطالعه. پس از کسب مجوز برداشت میدانی از مرجع محترم انتظامی، تقاطع‌های کلان‌شهر رشت انتخاب شدند که عبارت بودند از چهارراه گلزار، چهارراه میکائیل، تقاطع توتون‌کاران، فلکه‌گاز، میدان-مقدس و میدان نیروی دریایی. در این تقاطع‌ها، خیابان‌های دوطرفه دارای گذرگاه عابر پیاده و جزایر پناه عابر پیاده بودند. در شکل (۱) مختصات هر کدام از مناطق نشان داده شده‌است.

رشت آغاز گردید. تلاش شد با شناسایی و مطالعه عوامل انسانی مرتبط با حرکت وسایل نقلیه از قبیل ویژگی‌های جمعیت‌شناختی (سن و جنسیت) و هدف نقض چراغ قرمز (درمانی، خدماتی، آموزشی، اداری و تفریحی) و الگوهای کلی حرکتی افراد میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در پدیده نقض چراغ قرمز توسط وسیله نقلیه تعیین شود. به‌طور کلی اهداف اصلی پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر بر نقض چراغ قرمز توسط وسیله نقلیه در تقاطع‌ها و شناسایی میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل و تعیین ترتیب تأثیر آنها بر روی تخلفات می‌باشد.

روش شناسی

هدف از موضوع تحقیق، روش و ابزار تحقیق را توجیه می‌کند؛ بنابراین درک ماهیت تحقیق اولین قدم در انتخاب روش و ابزار پژوهش می‌باشد. مراجع متعدد مرتبط با موضوع عبور از چراغ قرمز در تقاطع‌های شامل



شکل ۱ فلکه‌گاز، توتون‌کاران، میدان مقدس، چهارراه میکائیل، چهارراه گلزار، میدان نیروی دریایی

جدول ۱ تعداد وسایل نقلیه برداشت شده به تفکیک سن راننده

سن	از ۱۸ تا ۳۰	از ۳۱ تا ۴۵	از ۴۶ تا ۶۰	بیش از ۶۰	جمع
چهارراه توتون کاران	۲	۳	۰	۰	۵
چهارراه گلزار	۱۱	۱۱	۱	۰	۲۳
چهارراه میکائیل	۳	۱	۰	۰	۴
فلکه گاز	۱۲	۵	۲	۰	۱۹
میدان مقدس	۱۱	۸	۵	۰	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۱۰	۹	۷	۰	۲۶
جمع	۴۹	۳۷	۱۵	۰	۱۰۱

برداشت اطلاعات . روش جمع آوری اطلاعات به صورت مشاهده ای و آماری میدانی بود. محل قرار گرفتن شخص برای برداشت میدانی نسبت به خط کشی عابر پیاده و عرض معبر انتخاب شد. شخص مورد نظر در موقعیت مناسب به منظور رؤیت جزئیات رفتار و مشخصات ظاهری وسایل نقلیه، نوع حرکت و چگونگی نقض چراغ قرمز، به صورت نامحسوس قرار گرفت تا وسایل نقلیه متوجه حضور او نشوند و از اثر احتمالی بر رفتار وسایل نقلیه جلوگیری شود. باتوجه به این که جزئیات رفتار و ظاهر وسایل نقلیه در این پژوهش بسیار مهم بود، فراوانی عبور شمارش شد و به صورت دستی در جداول ثبت گردید و سپس به نرم افزار انتقال داده شد. روند شمارش وسایل نقلیه به شرح زیر انجام شد:

- ۱- تعداد بانوانی که از چراغ قرمز عبور نمودند.
- ۲- تعداد آقایانی که از چراغ قرمز معبر عبور نمودند.
- ۳- تفکیک وسایل نقلیه براساس سن راننده.
- ۴- تفکیک وسایل نقلیه براساس جنسیت و پوشش راننده.
- ۵- تفکیک وسایل نقلیه براساس وزن راننده.

یکی از فرضیات پژوهش تأثیر سن بر رفتار وسایل نقلیه است. به این منظور همان طور که گفته شد افراد به لحاظ سنی به چهار گروه دسته بندی شدند. این چهار

گروه سنی به گونه ای از هم تفکیک شدند که از روی چهره و ویژگی های حرکتی افراد بتوان سن آنها را تشخیص داد. در ادامه به بررسی اثر سن بر نقض چراغ قرمز توسط وسایل نقلیه پرداخته خواهد شد [15]. در بررسی این عامل، انتظار می رود که به طور کلی با افزایش سن و کم شدن توان افراد در تصمیم گیری و تحلیل سیستم انرژی در بدن، نقض چراغ قرمز توسط وسایل نقلیه کاهش یابد. به دلیل شرایط متفاوت تقاطع ها از نظر موقعیت منطقه و دسترسی های اطراف، این بررسی به طور جداگانه در هر یک از تقاطع ها انجام گرفت. به نظر می رسد سن رانندگان در تخلف نقض چراغ قرمز حین عبور از معابر اثرگذار است؛ به همین دلیل یکی از مواردی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، بررسی تأثیر سن رانندگان وسایل نقلیه بر نقض چراغ قرمز حین عبور از تقاطع ها است که در جدول (۱) قابل مشاهده است.

یکی از فرضیات این پژوهش تأثیر جنسیت و پوشش راننده بر رفتار وسایل نقلیه است که به این منظور افراد به لحاظ جنسیت و پوشش به چهار گروه دسته بندی شدند. در ادامه به بررسی اثر جنسیت و پوشش بر نقض چراغ قرمز توسط وسایل نقلیه پرداخته خواهد شد. در بررسی این عامل، انتظار می رود که به طور کلی تعداد آقایان از خانوم ها بیشتر باشد. به دلیل شرایط متفاوت تقاطع ها

از نظر موقعیت منطقه و دسترسی‌های اطراف، این بررسی به‌طور جداگانه در هر یک از تقاطع‌ها انجام گرفت. به‌نظر می‌رسد نوع جنسیت و پوشش رانندگان در تخلف نقض چراغ‌قرمز حین عبور از معابر اثرگذار است؛ به همین دلیل یکی از مواردی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، بررسی تأثیر جنسیت و پوشش رانندگان وسایل نقلیه بر نقض چراغ‌قرمز رانندگان حین عبور از تقاطع‌ها است. در جدول (۲) این بررسی قابل مشاهده است [16].

یکی از فرضیات دیگر پژوهش، تأثیر وزن بر رفتار وسایل نقلیه است که به این منظور افراد به لحاظ وزن به

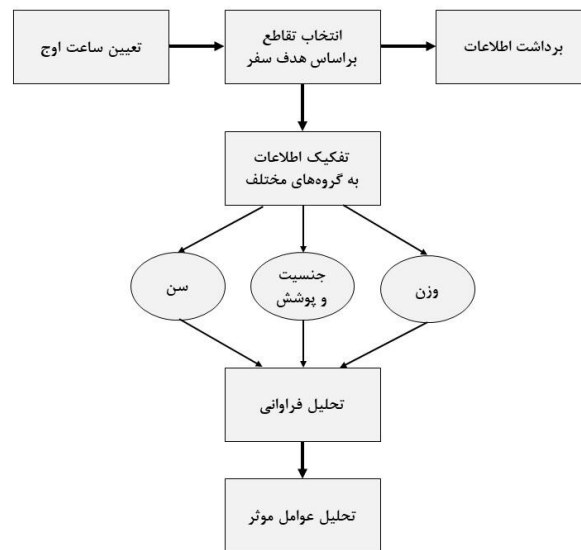
سه گروه دسته‌بندی شدند. در ادامه به بررسی اثر وزن راننده بر نقض چراغ‌قرمز توسط وسایل نقلیه خواهیم پرداخت. به‌دلیل شرایط متفاوت تقاطع‌ها از نظر موقعیت منطقه و دسترسی‌های اطراف، این بررسی به‌طور جداگانه در هر یک از تقاطع‌ها انجام گرفت. به‌نظر می‌رسد نوع وزن رانندگان در تخلف نقض چراغ‌قرمز حین عبور از معابر اثرگذار است؛ به همین دلیل یکی از مواردی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، بررسی تأثیر وزن رانندگان وسایل نقلیه بر نقض چراغ‌قرمز حین عبور از تقاطع‌ها است که در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۲ تعداد وسایل نقلیه برداشت‌شده به تفکیک جنسیت و پوشش راننده

جنسیت و پوشش	مؤنث- چادری	مؤنث- معمولی	مذکر- رسمی	مذکر- معمولی	جمع
چهارراه توتون‌کاران	۰	۰	۱	۴	۵
چهارراه گلزار	۰	۳	۱۳	۷	۲۳
چهارراه میکائیل	۰	۰	۱	۳	۴
فلکه گاز	۰	۰	۱۰	۹	۱۹
میدان مقدس	۰	۰	۱۵	۹	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۰	۰	۱۵	۱۱	۲۶
جمع	۰	۳	۵۵	۴۳	۱۰۱

جدول ۳ تعداد وسایل نقلیه برداشت‌شده به تفکیک وزن راننده

وزن	لاغر	متوسط	چاق	جمع
چهارراه توتون‌کاران	۳	۱	۱	۵
چهارراه گلزار	۱۰	۹	۴	۲۳
چهارراه میکائیل	۰	۴	۰	۴
فلکه گاز	۸	۶	۵	۱۹
میدان مقدس	۱۰	۸	۶	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۱۴	۸	۴	۲۶
جمع	۴۵	۳۶	۲۰	۱۰۱



شکل ۲. فلوچارت روش انجام پژوهش

جدول ۴. تفکیک سن براساس تقاطع

سن	از ۱۸ تا ۳۰	از ۳۱ تا ۴۵	از ۴۶ تا ۶۰	بیش از ۶۰	جمع
چهارراه توتون‌کاران	۲	۳	۰	۰	۵
چهارراه گلزار	۱۱	۱۱	۱	۰	۲۳
چهارراه میکائیل	۳	۱	۰	۰	۴
فلکه گاز	۱۲	۵	۲	۰	۱۹
میدان مقدس	۱۱	۸	۵	۰	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۱۰	۹	۷	۰	۲۶
جمع	۴۹	۳۷	۱۵	۰	۱۰۱

روش تحلیل. تحلیل و مقایسه جمعیت‌شناختی نقض چراغ‌قرمز در هر شش تقاطع، تأثیر عوامل سن، جنسیت، پوشش و وزن، و در نهایت تعیین روابط بین آنها از طریق تحلیل فراوانی و تحلیل عوامل مؤثر انجام شد. در وهله اول با بررسی ترافیک از طریق تصاویر زنده در گوگل، ساعت‌های اوج را تعیین کردیم. سپس تقاطع‌ها براساس هدف سفر انتخاب شدند. برداشت اطلاعات به‌صورت میدانی و نام‌محسوس انجام شد؛ سپس اطلاعات تفکیک‌بندی شد. روش این پژوهش مطابق فلوچارت شکل (۲) می‌باشد.

تحلیل نتایج

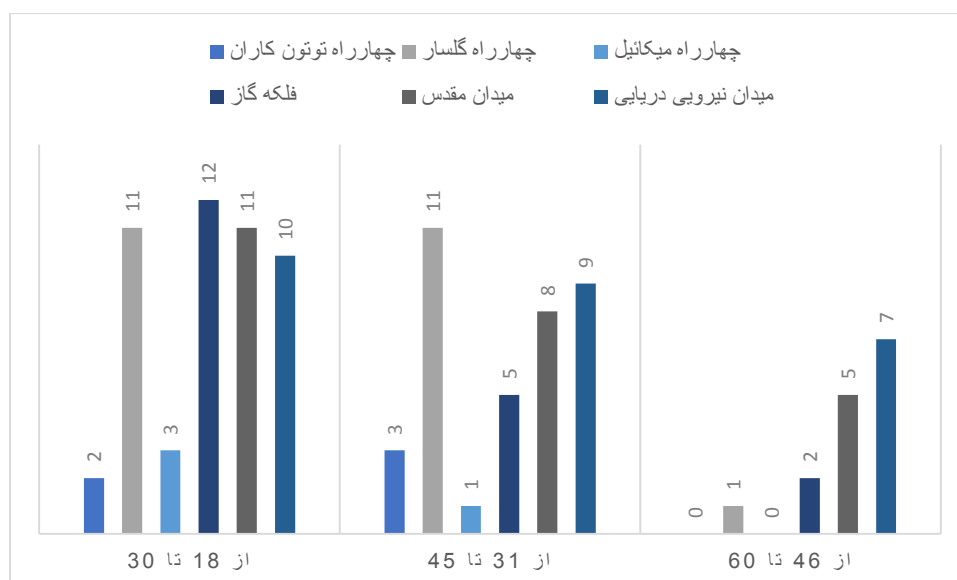
پس از برداشت اطلاعات به‌صورت میدانی، تحلیل و

مقایسه جمعیت‌شناختی تخلف عبور از چراغ‌قرمز در هر شش تقاطع که براساس شرایط محیطی انتخاب شده بودند، و تأثیر سن، وزن، جنسیت و پوشش، و در نهایت تعیین روابط بین متغیرهای مشخص‌شده و تأثیر آنها از طریق تحلیل‌های فراوانی انجام شد. در این تحلیل‌ها نرم‌افزار آماری SPSS مورد استفاده قرار گرفت.

در جدول (۴) همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر بازه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال مرتکب تخلف عبور از چراغ‌قرمز می‌شوند. در سن ۱۸ تا ۳۰ سال بیشترین تقاطعی که در آن تخلف اتفاق افتاد تقاطع فلکه گاز بود که دلیل آن می‌تواند وجود دانشگاه‌ها و عبور و مرور زیاد دانشجویان باشد. بعد از آن تقاطع چهارراه گلزار قرار داشت که با

که به طور کل آقایان خیلی بیشتر از بانوان تخلف می کنند و این نشان دهنده احترام بیشتر بانوان به قانون است. و پوشش مذکر- رسمی بیشتر از هر پوشش دیگر تخلف را به ثبت رسانده است. تنها تقاطعی که در آن بانوان تخلف کردند، تقاطع چهارراه گلزار بود که می تواند به علت وجود مراکز درمانی این تخلف انجام شده باشد. بیشترین ثبت تخلف برای تقاطع نیرویی دریایی است که یکی از دلایل آن وجود هایپر احمدی و ادارات از جمله دادسرای عمومی شهرستان رشت و دادسرای نظامی است که می توانند دلایل نقض این قانون باشند.

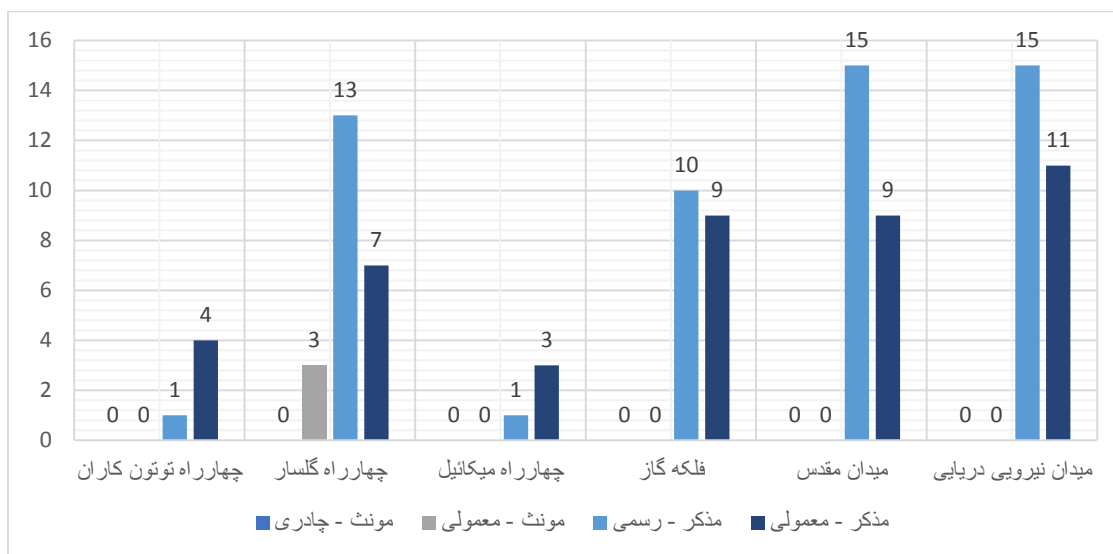
۱۱ تخلف در این بازه سنی ثبت شد. در مجموع در تقاطع نیرویی دریایی با ثبت عدد ۲۶ تخلفات بیشتری داشت. این تحلیل فراوانی به ما این نتیجه را می دهد که هرچه سن بالاتر رود تبعیت از قانون بیشتر می شود؛ هم چنین در تقاطع های دوربین دار مثل چهارراه میکائیل تخلف بسیار بسیار پایین بود و این نشان دهنده تأثیر دوربین ثبت تخلف عبور از چراغ است؛ به عبارتی تأثیر دوربین ثبت تخلفات بیشتر از مأمور محترم نیروی انتظامی است. در نمودار تحلیل شکل (۳) و جدول (۵) که نشان دهنده تأثیر جنسیت و پوشش است، مشاهده می کنیم



شکل ۳ تحلیل فراوانی سن براساس تقاطع

جدول ۵ تفکیک جنسیت و پوشش براساس تقاطع ها

جنسیت و پوشش	مونث - چادری	مونث - معمولی	مذکر - رسمی	مذکر - معمولی	جمع
چهارراه توتون کاران	۰	۰	۱	۴	۵
چهارراه گلزار	۰	۳	۱۳	۷	۲۳
چهارراه میکائیل	۰	۰	۱	۳	۴
فلکه گاز	۰	۰	۱۰	۹	۱۹
میدان مقدس	۰	۰	۱۵	۹	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۰	۰	۱۵	۱۱	۲۶
جمع	۳	۳	۴۹	۳۶	۱۰۱



شکل ۴: تحلیل فراوانی جنسیت و پوشش براساس تقاطع‌ها

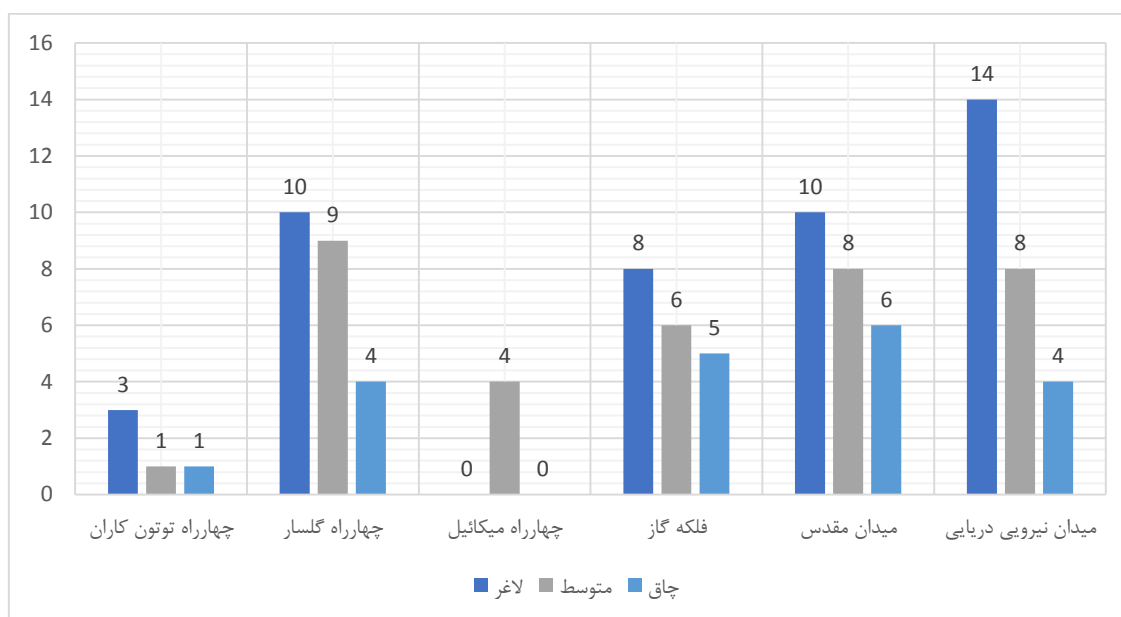
جدول ۶: تفکیک وزن راننده

وزن	لاغر	متوسط	چاق	جمع
چهارراه توتون کاران	۳	۱	۱	۵
چهارراه گلزار	۱۰	۹	۴	۲۳
چهارراه میکائیل	۰	۴	۰	۴
فلکه گاز	۸	۶	۵	۱۹
میدان مقدس	۱۰	۸	۶	۲۴
میدان نیرویی دریایی	۱۴	۸	۴	۲۶
جمع	۴۵	۳۶	۲۰	۱۰۱

در شکل (۴) که تحلیل فراوانی تأثیر وزن را بر نقض چراغ قرمز نشان می‌دهد، لاغرها تخلف بیشتری نسبت به بقیه وزن‌ها می‌کنند و چاق‌ها تخلف کمتری دارند؛ به عبارتی رانندگان چاق آرام‌تر هستند و تبعیت بیشتری از قانون نسبت به لاغرها دارند. بیشترین تقاطعی که چاق‌ها تخلف کردند، میدان مقدس بود که این نقض می‌تواند به علت کارهای خدماتی یا تفریحی دانست زیرا تقاطع میدان مقدس مشرف به پارک و خدمات موبایل است. علت دیگر هم می‌تواند تصاحب کردن جای پارک مناسب در خیابان لاکانی باشد.

در شکل (۵) و جدول (۷) تأثیر جنسیت و پوشش بر

سن و رابطه بین این دو متغیر را مشاهده می‌کنیم. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین تخلف در بازه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال و در جنس مذکر بود. خانم‌های چادری مانند تحلیل‌های قبلی هیچ تخلفی را به ثبت نرساندند و این امر چه‌بسا نشان‌دهنده احترام بسیار زیاد این پوشش به قوانین باشد. در رده سنی ۶۰+ سال هیچ تخلفی به ثبت نرسید؛ می‌توان نتیجه گرفت که هرچه سن بالاتر می‌رود تخلف کمتر و نزدیک به صفر می‌شود و پیروی از قانون بیشتر می‌شود و این مورد حتی تأثیری در جنسیت افراد ندارد.



شکل ۵ تحلیل فراوانی وزن براساس تقاطع‌ها

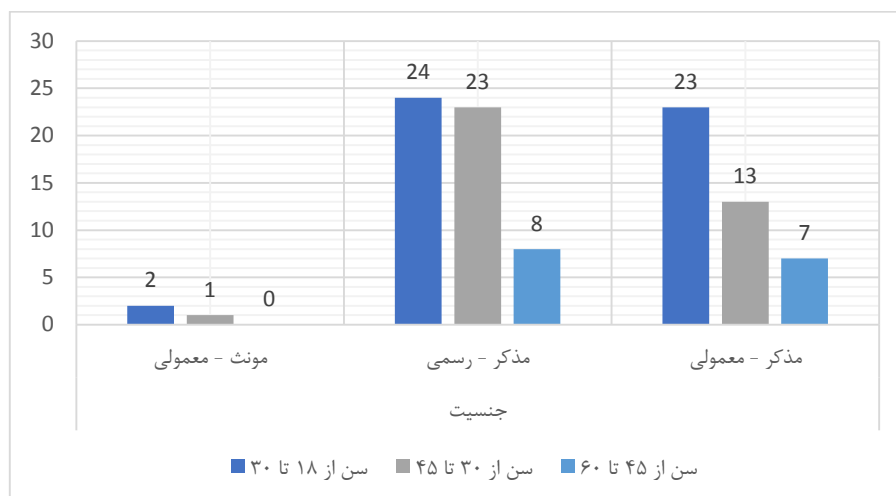
جدول ۷ تأثیر جنسیت و پوشش بر سن

جمع	سن				
	از ۶۰ تا ۴۵	از ۴۵ تا ۳۰	از ۳۰ تا ۱۸		
۳	۰	۱	۲	مؤنث- معمولی	جنسیت
۵۵	۸	۲۳	۲۴	مذکر- رسمی	
۴۳	۷	۱۳	۲۳	مذکر- معمولی	
۱۰۱	۱۵	۳۷	۴۹	جمع	

برای متوسط‌ها صدق نمی‌کند.

شکل (۷) و جدول (۹) نشان می‌دهند که در مجموع بیشترین تخلف را آقایان با ثبت عدد ۹۸ مرتکب شدند و بیشترین پوشش مورد تخلف، پوشش رسمی با ثبت عدد ۵۵ بوده‌است. آقایان با پوشش رسمی نسبت به آقایان با پوشش معمولی تبعیت کمتری از قانون دارند و بانوان در مجموع ۳ تخلف به ثبت رساندند که نشان‌دهنده رعایت قانون در این جنس است.

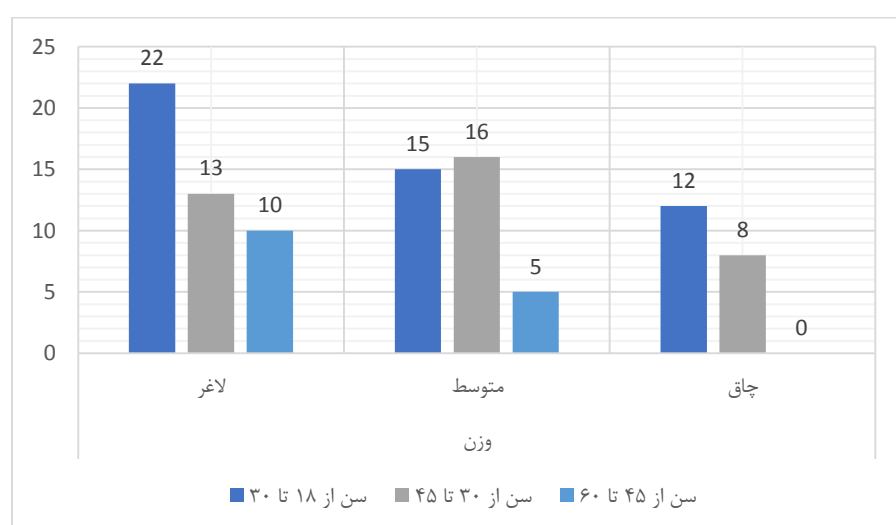
شکل (۶) و جدول (۸) رابطه وزن و سن را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود افراد لاغر در بازه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال با اختلافی محسوس بیشترین افراد مرتکب تخلف هستند. در مجموع لاغرها با ثبت ۴۵ تخلف بیشترین تخلف را کردند و چاق‌ها کمترین تخلف را با عدد ۲۰ به ثبت رساندند که ۱۲ تای آن مربوط به بازه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال بود. نکته جالبی در این بخش دیده می‌شود این است که هرچه سن بالاتر می‌رود افراد چاق‌تر تخلف کمتری دارند و حتی میزان تخلف آنها به صفر می‌رسد، درحالی‌که این توضیح



شکل ۶ تحلیل فراوانی تأثیر جنسیت و پوشش بر سن

جدول ۸ تأثیر وزن بر سن

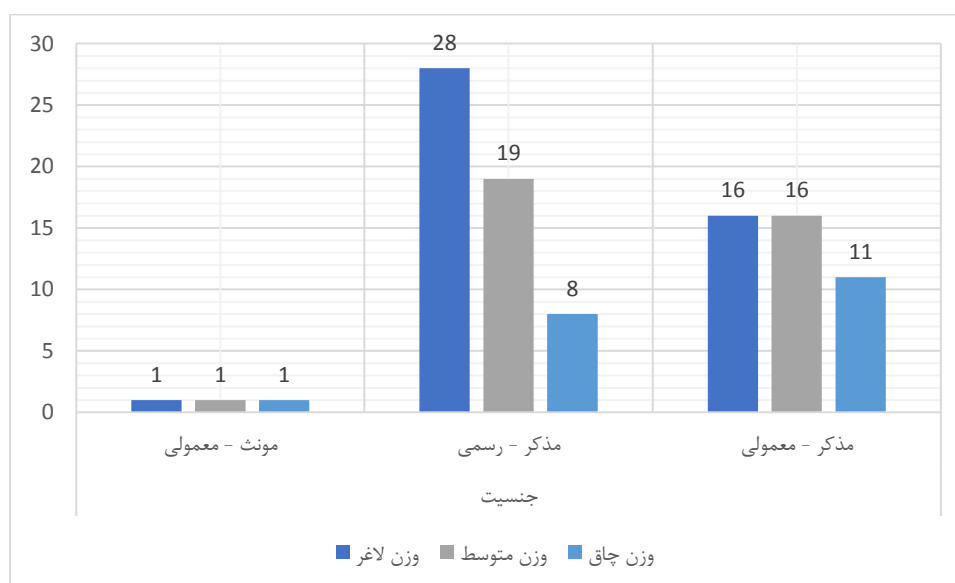
جمع	سن				
	از ۱۸ تا ۳۰	از ۳۰ تا ۴۵	از ۴۵ تا ۶۰		
۴۵	۲۲	۱۳	۱۰	لاغر	وزن
۳۶	۱۵	۱۶	۵	متوسط	
۲۰	۱۲	۸	۰	چاق	
۱۰۱	۴۹	۳۷	۱۵	جمع	



شکل ۷ تحلیل فراوانی تأثیر وزن بر سن

جدول ۹ تأثیر جنسیت و پوشش بر وزن

جمع	وزن				
	چاق	متوسط	لاغر		
۳	۱	۱	۱	مؤنث - معمولی	جنسیت
۵۵	۸	۱۹	۲۸	مذکر - رسمی	
۴۳	۱۱	۱۶	۱۶	مذکر - معمولی	
۱۰۱	۲۰	۳۶	۴۵	جمع	



شکل ۸ تحلیل فراوانی تأثیر وزن بر سن

نتیجه گیری

مرتکب تخلف عبور از چراغ قرمز شدند. در چهار طیف پوشش، تفاوت‌های آشکاری وجود داشت به طوری که در گروه بانوان، پوشش چادری هیچ تخلفی را نسبت به پوشش معمولی مرتکب نشدند و در گروه آقایان پوشش رسمی با ثبت عدد ۵۵ نسبت به پوشش معمولی با ۴۴ مورد، تخلف بیشتری انجام داده است [17].

در متغیر وزن که شامل سه گروه بود، لاغرها تخلفات بیشتری با ۴۵ مورد نسبت به دو گروه وزنی دیگر مرتکب شدند. چاق‌ها کمترین تخلف را با ۲۰ عدد مرتکب شدند. می‌توان گفت با افزایش وزن پیروی بیشتری از قانون در افراد مشاهده شد. گروه آقایان با پوشش رسمی با گروه

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن تعداد تخلف در گروه‌های سنی بالاتر کاهش چشم‌گیری داشته است؛ به طوری که در گروه سنی ۶۰+ هیچ تخلفی مشاهده نشده است و این امر رابطه‌ای با جنسیت ندارد و رفتار هر دو گروه آقایان و بانوان مشابه یکدیگر می‌باشد [3]. هم‌چنین در دو گروه جنسیتی، اختلاف نقض قانون در بین آقایان و بانوان بارز بود و این امر نشان‌دهنده آن است که تفکیک جنسیت، عاملی تأثیرگذار بر عدم رعایت قانون در هنگام عبور از چراغ قرمز توسط رانندگان است. آقایان با ثبت عدد ۹۸ نسبت به بانوان با ۳ عدد خیلی بیشتر

وزنی لاغر بیشترین تخلف را انجام دادند. در گروه چاق-ها با بیشتر شدن سن میزان تخلفات به صفر رسید. در گروه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال بیشترین تخلف برداشت شد، که می‌تواند ناشی از هیجانات جوانی باشد. هم‌چنین بیشترین تقاطعی که در آن گروه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال مرتکب تخلف شدند، فلکه گاز بود که دلیل آن می‌تواند رفت‌وآمد این قشر سنی به دلیل وجود دانشگاه‌ها باشد.

بیشترین تقاطع‌هایی که تخلف در آن انجام شد میدان نیروی دریایی با ثبت ۲۶ عدد، میدان مقدس با ثبت ۲۴ عدد و چهارراه گل‌سار با ثبت عدد ۲۳ بود. می‌توان دلیل افزایش تخلف در میدان نیروی دریایی را انجام دادن کارهای اداری و خدماتی و در میدان مقدس امور تفریحی و خدماتی و پارک کردن و در چهارراه گل‌سار، اهداف درمانی و تفریحی دانست [15].

مراجع

1. Vahedi Saheli, Mahyar, and Meysam Effati. "Segment-based count regression geospatial modeling of the effect of roadside land uses on pedestrian crash frequency in rural roads." *International journal of intelligent transportation systems research* 19, No. 2, pp. 347-365. (2021):
2. Brosseau, Marilyne, Sohail Zangenehpour, Nicolas Saunier, and Luis Miranda-Moreno. "The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 21, pp. 159-172. (2013):
3. Bargegol, Iraj, Afsaneh Tahriri Amlashi, and Vahid Najafi Moghaddam Gilani. "Estimation the saturation flow rate at far-side and nearside legs of signalized intersections—case study: rasht city." *Procedia engineering* 161, pp. 226-234. (2016):
4. Saheli, Mahyar Vahedi, and Meysam Effati. "Investigation of factors contributing to pedestrian crash severity in rural roads." *Journal of Injury and Violence Research* 11, No. 4 Suppl 2 (2019).
5. Rosenbloom, Tova. "Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 12, No. 5, pp. 389-394. (2009):
6. Effati, Meysam, and Mahyar Vahedi Saheli. "Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques." *International Journal of Transportation Science and Technology* (2021).
7. Zhuang, Xiangling, and Changxu Wu. "Pedestrians' crossing behaviors and safety at unmarked roadway in China." *Accident analysis & prevention* 43, No. 6, pp. 1927-1936. (2011):
8. Dommes, Aurélie, and Viola Cavallo. "The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians." *Ophthalmic and physiological optics* 31, No. 3, pp. 292-301. (2011):
9. Diaz, Emilio Moyano. "Theory of planned behavior and pedestrians' intentions to violate traffic regulations." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 5, No. 3, pp. 169-175.

- (2002):
10. Tom, Ariane, and Marie-Axelle Granié. "Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads." *Accident Analysis & Prevention* 43, No. 5, pp. 1794-1801. (2011):
 11. Rosenbloom, Tova, Dan Nemrodov, and Hadar Barkan. "For heaven's sake follow the rules: pedestrians' behavior in an ultra-orthodox and a non-orthodox city." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 7, No. 6, pp. 395-404. (2004):
 12. Ren, Gang, Zhuping Zhou, Wei Wang, Yong Zhang, and Weijie Wang. "Crossing behaviors of pedestrians at signalized intersections: observational study and survey in China." *Transportation research record* 2264, No. 1, pp. 65-73. (2011).
 13. Tom, A., and M. A. Granié. "Rapport final de l'action 5: effet de la configuration de l'intersection sur les comportements piétons." *Projet SICAP (Simulation de Traversée de Carrefour par les Piétons). Rapport final sur subvention FSR. Paris: LCPC* (2010).
 14. Cinnamon, Jonathan, Nadine Schuurman, and S. Morad Hameed. "Pedestrian injury and human behaviour: observing road-rule violations at high-incident intersections." *PloS one* 6, No. 6, e21063. (2011):
 15. Gilani, Vahid Najafi Moghaddam, Meisam Ghasedi, Mahyar Ghorbanzadeh, and Mehdi Jahangir Samet. "Estimation delay variation and probability of occurrence of different level of services based on random variations of vehicles entering signalized intersections." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 245, No. 4, pp.042023. IOP Publishing, (2017).
 16. Bargegol, Iraj, Vahid Najafi Moghaddam Gilani, and Sadra Farghedayn. "Analysis of the effect of vehicles conflict on pedestrian's crossing speed in signalized and un-signalized intersection." *Advances in Environmental Biology*, pp. 502-510. (2014):
 17. Hosseinian, Seyed Mohsen, and Vahid Najafi Moghaddam Gilani. "Analysis of factors affecting urban road accidents in rasht metropolis." *Eng Transactions* , pp.1 1-4. (2020):

اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها مطالعه موردی شهر مشهد

مسعود کدخدایی^(۱)سید علی ضیائی^(۲)روزبه شاد^(۳)

چکیده افزایش تراکم ترافیک در معابر شهری اثرات منفی زیان‌باری نظیر افزایش آلودگی هوا، افزایش مصرف سوخت و افزایش نارضایتی کاربران راه را در پی خواهد داشت. استراتژی‌های کلی کنترل تراکم ترافیک را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود که عبارتند از ایجاد محدوده ممنوعه تردد، طرح تردد نوبتی و قیمت‌گذاری تراکم ترافیک. در پژوهش حاضر، استراتژی‌های مذکور با استفاده از روش ترکیبی دلفی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) اولویت‌بندی گردیدند. کلان‌شهر مشهد نیز به‌عنوان مطالعه موردی در این تحقیق انتخاب شد. براساس نتایج به‌دست آمده، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک با کسب امتیاز ۰/۴۸۴ به‌عنوان بهترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شد. استراتژی‌های طرح تردد نوبتی و ایجاد محدوده ممنوعه تردد نیز با اختلاف بسیار اندکی به‌ترتیب اولویت‌های دوم و سوم را کسب کردند. شاخص‌های هزینه سفر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین نیز به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی کنترل تراکم ترافیک، قیمت‌گذاری تراکم ترافیک، حمل‌ونقل شهری، روش دلفی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP).

Prioritization of traffic congestion control strategies in metropolitan areas, case study: Mashhad

M. Kadkhodaei

S. A. Ziaee

R. Shad

Abstract Increasing traffic congestion in urban thoroughfares will have detrimental negative effects such as increasing air pollution, increasing fuel consumption and increasing road user dissatisfaction. General strategies for controlling traffic congestion can be divided into three parts, which are: creating a restricted traffic area, turning traffic plan, and traffic congestion pricing. In the present study, the mentioned strategies were prioritized using the combined Delphi method and Analytic Network Process (ANP). The metropolis of Mashhad was also selected as a case study in this study. Based on the results, the traffic congestion pricing strategy with a score of 0.484 was recognized as the best traffic congestion control strategy in metropolitan areas. The strategies of the turning traffic plan and the creation of a restricted traffic area also gained the second and third priorities, respectively, with a slight difference. The indicators of the travel cost, using of public transportation and single-occupancy car traffic were also recognized as the most important indicators affecting the evaluation and prioritization of traffic congestion control strategies, respectively.

Key word Traffic Congestion Control, Traffic Congestion pricing, Urban Transportation, Delphi Method, Analytic Network Process (ANP).

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۰/۹/۸ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۱۰/۱۱ از صفحه ۸۱ تا ۹۷ می‌باشد.

(۱) دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(۲) نویسنده مسئول، استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. Email: sa-ziaee@um.ac.ir

(۳) دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت شهری، کنترل تراکم ترافیک و کاهش اثرات منفی آن، به‌خصوص در مناطق مرکزی شهرها است. این اثرات منفی در کلان‌شهرها به دلیل بالا بودن حجم تقاضای سفر، بیشتر از سایر شهرها نمود پیدا می‌کند [1]. از جمله اثرات منفی افزایش تراکم ترافیک می‌توان به شدت پیدا کردن آلودگی هوا و افزایش زمان سفر مسافران در سفرهای شهری اشاره کرد که علاوه بر پیامدهای مخرب زیست‌محیطی، نارضایتی شهروندان را نیز در پی داشته‌است [2]. بر همین اساس، کنترل تراکم ترافیک در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت شهری در کلان‌شهرها تبدیل شده‌است.

استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک را می‌توان در دو دسته کلی شامل استراتژی‌های مبتنی بر افزایش عرضه و استراتژی‌های مبتنی بر کاهش تقاضا تقسیم‌بندی نمود. اگرچه که افزایش عرضه از طریق توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل، احداث راه‌های جدید، تعریض معابر و خیابان‌ها، احداث پارکینگ و تبدیل تقاطع‌ها به تقاطع‌های چندسطحی، باعث افزایش ظرفیت راه‌ها می‌شود، اما تجربه نشان داده‌است که این راهکار در نهایت منجر به افزایش تقاضای سفر و در نتیجه ایجاد تراکم ترافیک‌های بیشتر خواهد شد. از طرفی، افزایش عرضه نیازمند منابع مالی و اعتباری قابل توجهی می‌باشد که غالباً تأمین آنها خارج از توان مالی سازمان‌های مدیریت و کنترل ترافیک است. به همین دلیل، استراتژی‌های مبتنی بر کاهش تقاضا بر استراتژی‌های مبتنی بر افزایش عرضه ارجحیت دارند [3]. اصلی‌ترین شیوه‌های اجرای سیاست‌های مبتنی بر کاهش تقاضای ترافیک که تاکنون در شهرهای مختلف جهان استفاده شده‌اند عبارتند از ایجاد محدوده ممنوعه تردد، قیمت‌گذاری تراکم ترافیک و طرح ترافیک مبتنی بر تردد نوبتی خودروها یا طرح زوج و فرد.

در استراتژی‌های مبتنی بر ایجاد محدوده ممنوعه تردد، محدوده‌ای از شهر به‌عنوان محدوده طرح ترافیک

مشخص می‌شود و در ساعات خاصی که معمولاً دربرگیرنده ساعات اوج می‌باشند، از ورود تمامی خودروها به این محدوده جلوگیری می‌شود. کنترل ورود خودروها به محدوده طرح معمولاً با استفاده از حضور فیزیکی پلیس و یا با نصب دوربین‌های کنترل ترافیک در ورودی‌های محدوده طرح ترافیک صورت می‌پذیرد. لازم به ذکر است که در این طرح، خودروهای امدادی و وسایل نقلیه حمل‌ونقل همگانی محدودیتی برای ورود به محدوده طرح ندارند. همچنین، رانندگانی که مجوز ورود به محدوده طرح ترافیک را داشته باشند نیز با محدودیتی مواجه نخواهند شد [4].

در استراتژی‌های مبتنی بر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک نیز مشابه استراتژی‌های مبتنی بر ایجاد محدوده ممنوعه تردد، ابتدا محدوده‌ای از شهر که غالباً مناطق مرکزی شهر می‌باشد، به‌عنوان محدوده طرح ترافیک مشخص می‌شود و تردد خودروها در این محدوده منوط به پرداخت عوارض می‌گردد. این استراتژی برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ مطرح گردید و پژوهش‌های مختلفی نیز تاکنون کارامدی این استراتژی را در کنترل تراکم ترافیک نشان داده‌اند [5, 6]. استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در آزادراه‌ها و بزرگ‌راه‌ها معمولاً با هدف تأمین هزینه‌های نگهداری راه و تسهیلات آن انجام می‌شود، اما استفاده از این استراتژی در معابر درون‌شهری غالباً به‌منظور کاهش تراکم ترافیک و بار ترافیکی معابر انجام می‌شود [7]. در اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک توجه به این نکته ضروری است که در صورت افزایش مقدار عوارض در ساعات اوج نسبت به سایر ساعات، کارایی این استراتژی برای کنترل تراکم ترافیک به نحو مؤثری افزایش خواهد یافت [8].

در استراتژی‌های مبتنی بر تردد نوبتی خودروها یا طرح زوج و فرد نیز مشابه دو استراتژی پیشین، محدوده‌ای از معابر شهری به‌عنوان محدوده طرح ترافیک تعیین می‌گردد، اما در این استراتژی در هر روز از روزهای هفته به تعداد خاصی از خودروها اجازه تردد در محدوده مذکور داده می‌شود. نحوه نوبت‌دهی به خودروها در این طرح معمولاً بدین صورت است که در

ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) اولویت‌بندی شده‌اند.

پیشینه تحقیق

مطالعات مختلفی تاکنون در مورد هر یک از استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک انجام شده‌اند که در این بخش به اختصار به برخی از آنها اشاره می‌گردد. به کمک پژوهش‌های گذشته می‌توان نقاط مثبت و منفی استراتژی‌های مختلف کنترل تراکم ترافیک را شناسایی کرد و ارزیابی دقیق‌تری درمورد آنها انجام داد.

در میان این مطالعات، تعداد پژوهش‌هایی که به سیاست قیمت‌گذاری و جنبه‌های مختلف آن پرداخته‌اند بیشتر از پژوهش‌های سایر استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک می‌باشد. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به قیمت‌گذاری تراکم ترافیک باتوجه به هزینه‌های اجتماعی توسط اسمیت اشاره کرد. در پژوهش مذکور، خودروهایی که در معابری با بار ترافیکی زیاد تردد می‌کنند ملزم به پرداخت هزینه‌ای خواهند بود که مقدار آن با محاسبه اختلاف هزینه حاشیه‌ای هر یک از کاربران راه و هزینه حاشیه‌ای عمومی تعیین می‌گردد [10].

در پژوهش احمدی آذری و همکاران [11] تغییرات تقاضای سفر در اهداف مختلف سفرهای شهری مشهد در اثر اجرای سناریوهای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش بیانگر تفاوت حساسیت کاربران راه در سفرهای کاری و غیرکاری نسبت به اجرای سناریوهای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود.

بوجین و همکاران [12] نیز در پژوهش خود مدلی برای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک طراحی کردند که علاوه بر کمینه کردن هزینه‌های سیستم، محدودیت ظرفیت را نیز در نظر می‌گرفت.

لارا و همکاران [13] در پژوهش خود نقش اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک را در برنامه‌ریزی‌های شهری مورد بررسی قرار دادند. در این

روزهای زوج هفته خودروهایی با پلاک زوج و در روزهای فرد هفته نیز خودروهای دارای پلاک فرد اجازه ورود به محدوده طرح ترافیک را پیدا می‌کنند. از معایب این نحوه اجرا این است که افرادی که دارای دو خودروی شخصی با پلاک‌های زوج و فرد هستند عملاً هیچ‌گونه محدودیتی برای ورود به محدوده طرح ترافیک در هیچ یک از روزهای هفته نخواهند داشت. به‌منظور جلوگیری از وقوع این معضل در اجرای طرح ترافیک، نوبت‌دهی به خودروها به‌صورت متغیر نیز می‌تواند انجام پذیرد تا رانندگان امکان پیش‌بینی روزهایی را که ورود به محدوده ترافیک برای آنها مجاز خواهد بود نداشته باشند [9].

هر کدام از این سیاست‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و باتوجه به وضعیت ترافیکی هر کلان‌شهر، ممکن است هر کدام از این سیاست‌ها نسبت به سایرین ارجحیت داشته باشند؛ لذا برای انتخاب بهترین سیاست کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرهای مختلف لازم است این سه دسته سیاست کلی با یکدیگر مقایسه شوند و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرند. هدف این تحقیق، شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها و رتبه‌بندی این راهکارها براساس معیارهای مذکور می‌باشد. از طرفی در صورتی که یک یا چند راهکار کنترل تراکم ترافیک در شهری به اجرا در نیامده باشد نمی‌توان اطلاعات دقیقی از اثرات اجرای هر یک از آن راهکارها در شهر مورد نظر به‌دست آورد. به همین دلیل، در چنین شرایطی پژوهشگران از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و اولویت‌بندی این راهکارها استفاده می‌کنند.

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق کلان‌شهر مشهد می‌باشد. برای کنترل تراکم ترافیک در محدوده مرکزی این کلان‌شهر تاکنون تنها از طرح تردد نوبتی استفاده شده‌است. در پژوهش حاضر، استراتژی مذکور با سایر استراتژی‌های موجود برای کنترل تراکم ترافیک مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌است. در این ارزیابی، استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک با استفاده از روش

شهر لاگوس اشاره کرد. مطابق نتایج به‌دست آمده، اجرای طرح تردد نوبتی در شهر مذکور تنها در سال‌های آغازین مؤثر بود و اجرای این طرح در دراز مدت موجب خرید خودروهای ثانویه و وسایل نقلیه دیگری نظیر موتورسیکلت توسط شهروندان شد که نتیجه آن، رشد مجدد تراکم ترافیک در محدوده مورد نظر بود [19].

پژوهش پاک‌گوهر و هوشنگی‌فر [20] در بررسی نتایج اجرای طرح تردد نوبتی خودروها به‌صورت زوج و فرد در تهران نیز حاکی از عدم موفقیت این طرح در کاهش میزان آلودگی هوا در شهر تهران بوده‌است. براساس نتایج پژوهش مذکور، اجرای طرح تردد زوج و فرد تنها باعث جابه‌جایی آلودگی هوا و توزیع آن در مناطق مختلف شهر می‌شود و تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران ندارد؛ اما طبق پژوهشی که کومار و همکاران [21] در سال جاری در شهر دهلی در کشور هندوستان انجام داده‌اند، اجرای طرح تردد نوبتی زوج و فرد اثر مثبتی بر شاخص‌های ترافیکی نظیر هزینه سفر، زمان سفر، ایمنی و امنیت، رضایت کاربر، تراکم ترافیک، تقاضای پارکینگ و مصرف سوخت داشته‌است.

علاوه‌بر موارد فوق، برخی پژوهش‌ها نیز به مقایسه دو یا چند شیوه از روش‌های مختلف کنترل تراکم ترافیک پرداخته‌اند؛ از جمله این موارد می‌توان به پژوهش کدخدایی و شاد در سال ۱۳۹۸ اشاره نمود که در آن صرفاً روش‌های قیمت‌گذاری تراکم ترافیک مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند [22].

لطیفی و عبادی [9] نیز در سال ۱۳۹۲ سه سیاست قیمت‌گذاری تراکم ترافیک، طرح تردد نوبتی و محدوده ممنوعه ترافیک را با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری در شهر تهران با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند و جایگزینی طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) با قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در شهر تهران را بررسی کردند. آنها در پژوهش خود تأثیر سیاست‌های مذکور بر کاهش حجم ترافیک و تغییرات زمان سفر را بررسی کردند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که وجود محدوده طرح ترافیک

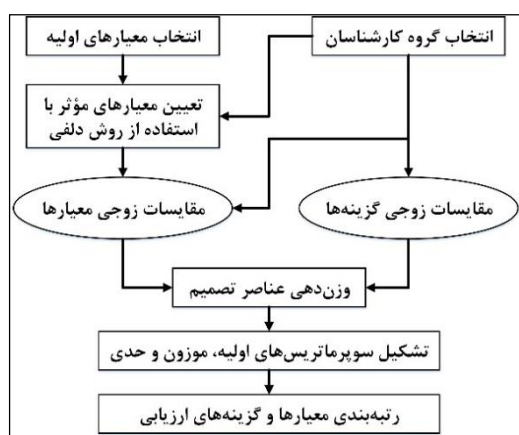
پژوهش دو شیوه قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مجوز ورود به محدوده و براساس مسافت سفر مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این پژوهش بیانگر کاهش ۱۵ درصدی در میانگین مسافت سفرهای شهری بود.

در پژوهش داگانزو و لهه [14]، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مسافت طی‌شده در محدوده طرح ترافیک مورد بررسی قرار گرفت و با سایر شیوه‌های اجرای این سیاست مقایسه شد. نتایج این پژوهش بیانگر ارجحیت شیوه قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مسافت طی‌شده در محدوده طرح ترافیک نسبت به سایر شیوه‌های اجرای این استراتژی بود. در پژوهش باندیرا و همکاران [15]، میزان تغییر مسیرهای خودروها در اثر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک پایش شد و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر کاهش معنی‌دار آلاینده‌های زیست‌محیطی در اثر اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود.

امیرقلی و همکاران [16] نیز در پژوهش خود حساسیت گروه‌های مختلف شغلی نسبت به اجرای طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در یک منطقه با کاربری‌های غالباً تجاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از تفاوت معنی‌دار میان حساسیت گروه‌های مختلف شغلی نسبت به اجرای طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود. پژوهش انجام‌شده توسط گوئو و همکاران [17] درمورد انتخاب وسیله سفر در شرایط قیمت‌گذاری تراکم ترافیک نیز نشان داد که اجرای این استراتژی تأثیر معنی‌داری بر تغییر مد سفر مسافران سفرهای صبحگاهی در کشور چین دارد.

پژوهش سیمونی و همکاران [18] نیز اثر قابل قبول استراتژی‌های مبتنی بر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بر کاهش تراکم را نشان داد و این استراتژی را یک ابزار کلیدی برای مدیریت تقاضای سفر معرفی کرد.

درزمینه استراتژی‌های مبتنی بر طرح تردد نوبتی خودروها مطالعات کمتری انجام شده‌است؛ از جمله تجربیات سایر کشورها می‌توان به اجرای این طرح در



شکل ۱. فلوچارت مراحل ارزیابی

از طرفی با توجه به این که ضروری است کارشناسان با موضوع تحقیق و محدوده مورد مطالعه آشنایی کافی داشته باشند، فارغ التحصیلان رشته‌های مهندسی حمل و نقل و راه و ترابری که در سازمان‌ها و شرکت‌های حمل و نقلی شهر مشهد مشغول به کار هستند و با شرایط ترافیکی این کلان‌شهر آشنایی دارند به عنوان گروه کارشناسان انتخاب شدند.

روش دلفی

روش دلفی غالباً برای تعیین معیارهای مؤثر در مطالعات مبتنی بر ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیوه اجرای این روش بدین صورت است که ابتدا گروه کارشناسان انتخاب می‌شود و براساس نظرات آنها، معیارهای اولیه براساس مقادیر نشان داده شده در جدول (۱) و برحسب میزان مؤثر بودن در ارزیابی امتیازدهی می‌شوند. سپس با میانگین‌گیری از امتیازات ثبت شده توسط کارشناسان، امتیاز نهایی هر یک از معیارهای اولیه مشخص می‌شود و معیارهایی که امتیاز نهایی آنها بالاتر از مقدار آستانه تحمل (۰/۷) باشد به عنوان معیارهای مؤثر در ارزیابی انتخاب می‌شوند [23].

در شهر تهران می‌تواند کل زمان سفر شبکه را ۸ درصد کاهش دهد و بر سرعت متوسط $1/4$ کیلومتر بر ساعت بیافزاید. همچنین براساس نتایج این پژوهش، جایگزینی طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) با طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در شهر تهران تغییرات قابل توجهی در بهبود شاخص‌های ترافیکی و زیست‌محیطی ایجاد نخواهد کرد.

روش تحقیق

روش انتخاب شده برای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در پژوهش حاضر، روش ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌باشد. این روش‌ها هر دو از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند. در روش ترکیبی مورد استفاده در پژوهش حاضر، ابتدا معیارهای مؤثر در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک با استفاده از روش دلفی و براساس نظرات کارشناسان شناسایی و تعیین می‌شوند. سپس این معیارها در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) مورد استفاده قرار می‌گیرند و براساس آنها گزینه‌های ارزیابی رتبه‌بندی می‌شوند. فلوچارت مراحل ارزیابی و رتبه‌بندی راهکارها با استفاده از روش ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) در شکل (۱) نشان داده شده است.

انتخاب گروه کارشناسان

در روش‌های مبتنی بر نظرات کارشناسان مانند روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) نظرات افراد عادی مورد استناد نیست و تنها به نظرات کارشناسی رجوع می‌شود؛ بر همین اساس، تعداد کارشناسان انتخاب شده بسیار کمتر از اندازه نمونه در تحقیقات مبتنی بر آماربرداری میدانی می‌باشد و به اعدادی نظیر ۱۵ یا ۲۰ محدود می‌شود. با توجه به این که در پژوهش‌های مرتبط پیشین، اندازه گروه کارشناسان غالباً ۲۰ نفر بوده است، در این تحقیق نیز تعداد کارشناسان برابر با ۲۰ نفر انتخاب شد [22].

جدول ۱ مقیاس امتیازدهی در روش دلفی

امتیاز	تعریف
۱/۰۰	خیلی مؤثر
۰/۷۵	مؤثر
۰/۵۰	تأثیر متوسط
۰/۲۵	بی‌تأثیر
۰/۰۰	خیلی بی‌تأثیر

جدول ۲ مقیاس ۹ درجه‌ای امتیازدهی در مقایسات زوجی

امتیاز	تعریف
۱	اهمیت مساوی
۳	اهمیت اندکی بیشتر
۵	اهمیت بیشتر
۷	اهمیت خیلی بیشتر
۹	اهمیت مطلق
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بینابین

روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در سال ۱۹۹۹ توسط ساعتی ابداع گردید. این روش، یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [24]. روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) مانند روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انعطاف‌پذیر و ساده است و امکان سنجش میزان سازگاری قضاوت‌ها و بررسی هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی در آن وجود دارد [25]. از مزایای این روش می‌توان به امکان در نظر گرفته شدن وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم و عدم مواجهه با محدودیت‌های روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) اشاره کرد.

در اولین مرحله از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) عناصر تصمیم یعنی گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها در قالب خوشه‌های تصمیم‌گیری طبقه‌بندی می‌گردند و درخت تصمیم تشکیل می‌شود. در مرحله بعد، مقایسات زوجی در سطوح مختلف عناصر تصمیم با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای که در جدول (۲) نمایش داده شده است و براساس نظرات گروه خبرگان و کارشناسان انجام می‌شوند. در این مقیاس برحسب میزان اهمیت دو عنصر نسبت به یکدیگر عددی بین ۱ تا ۹ در مقایسه زوجی آن دو عنصر توسط کارشناسان ثبت می‌گردد [24].

نکته قابل توجه در انجام مقایسات زوجی، سازگار بودن مؤلفه‌های هر ماتریس زوجی با یکدیگر می‌باشد. این سازگاری براساس مقدار ضریبی به نام ضریب سازگاری (CR) سنجیده می‌شود. مقدار ضریب سازگاری (CR) با استفاده از رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

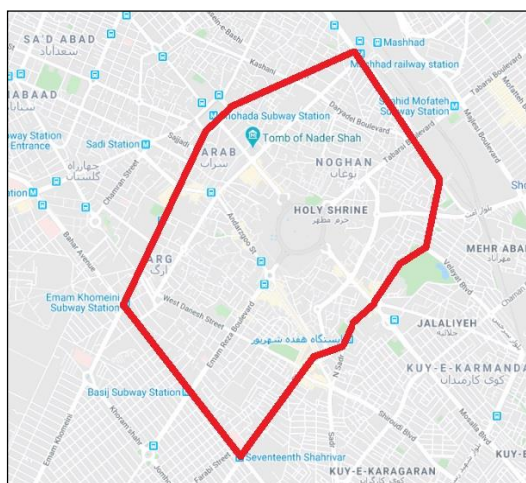
$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

در رابطه (۱) CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی بودن می‌باشند که به ترتیب با استفاده از رابطه (۲) و جدول (۳) قابل محاسبه هستند. در رابطه (۲)، n تعداد معیارها و $\lambda_{\max}$ مقدار ویژه بیشینه ماتریس مقایسات زوجی مربوط می‌باشند [24]. لازم به ذکر است که فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام شده و اوزان عناصر تصمیم و مقادیر ضرایب سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی نیز توسط نرم‌افزار محاسبه گردیده‌اند.

جدول ۳ مقادیر شاخص تصادفی بودن براساس تعداد

n	RI	n	RI
۱	۰/۰۰	۶	۱/۲۴
۲	۰/۰۰	۷	۱/۳۲
۳	۰/۵۸	۸	۱/۴۱
۴	۰/۹۰	۹	۱/۴۵
۵	۱/۱۲	۱۰	۱/۴۹

(ع) در مشهد، این شهر اولین کلان‌شهر مذهبی کشور نیز محسوب می‌شود و سالانه حدود ۲۵ میلیون نفر زائر و گردشگر به آن سفر می‌کنند [26]. شیوه غالب سفر زائران، استفاده از خودروی شخصی می‌باشد. باتوجه به این‌که حرم مطهر امام هشتم (ع) در محدوده مرکزی این کلان‌شهر واقع شده‌است، تردد خودروهای زائران نیز غالباً در نواحی مرکزی شهر انجام می‌پذیرد. به همین دلیل، حجم تردد وسایل نقلیه در معابر مرکزی شهر مشهد، به‌خصوص در ایام پیک و ساعات اوج ترافیک بیشتر از ظرفیت معابر مذکور می‌گردد [27]. به همین جهت، در سال‌های اخیر طرح ترافیک تردد نوبتی خودروها در محدوده مرکزی شهر مشهد به اجرا درآمده‌است. هدف از اجرای طرح ترافیک مذکور، کاهش حجم ترافیک، مصرف سوخت و آلودگی هوا در محدوده مرکزی شهر بوده‌است [28]. نقشه محدوده طرح ترافیک زوج و فرد در شهر مشهد در شکل (۲) نمایش داده شده‌است.



شکل ۲ نقشه محدوده طرح ترافیک شهر مشهد

نتایج

تشکیل درخت تصمیم

درخت تصمیم در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) شامل خوشه‌های عناصر تصمیم و وابستگی‌های موجود میان آنها می‌باشد. بنابراین تشکیل درخت تصمیم در این

در مرحله بعد، وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم مشخص می‌شوند و میزان وابستگی‌های مذکور با استفاده از مقایسات زوجی و براساس نظرات گروه کارشناسان و خبرگان تعیین می‌گردند؛ سپس مقادیر نهایی مقایسات زوجی با محاسبه میانگین هندسی نظرات کارشناسان در هر ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌شوند و براساس آنها مقادیر اوزان عناصر تصمیم با استفاده از رابطه (۳) و رابطه (۴) تعیین می‌گردند. در این روابط، a_{ij} مؤلفه غیرنرمال و r_{ij} مؤلفه نرمال ماتریس مقایسات زوجی و W_i وزن عنصر i در ماتریس مقایسات زوجی مربوط می‌باشند.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n} \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

در انتها، مقادیر اوزان اولیه عناصر تصمیم در سوپرماتریس اولیه قرار می‌گیرند. سپس با نرمال‌سازی مؤلفه‌های سوپرماتریس اولیه، سوپرماتریس موزون یا وزن‌دار شده تولید می‌شود. پس از آن، ماتریس موزون آن‌قدر در خودش ضرب می‌شود تا مقادیر مؤلفه‌های آن ثابت شود و دیگر در اثر ضرب‌های متوالی ماتریس تغییری در آنها مشاهده نشود. به ماتریس حاصل سوپرماتریس حدی یا محدود شده گفته می‌شود. مؤلفه‌های ماتریس حدی مقادیر اوزان نهایی عناصر تصمیم می‌باشند که براساس آنها می‌توان رتبه‌بندی عناصر تصمیم را انجام داد [24].

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر، کلان‌شهر مشهد می‌باشد. این شهر با جمعیتی بالغ بر ۳/۵ میلیون نفر، دومین کلان‌شهر ایران است. به دلیل قرار گرفتن حرم مطهر امام هشتم شیعیان، حضرت علی بن موسی‌الرضا

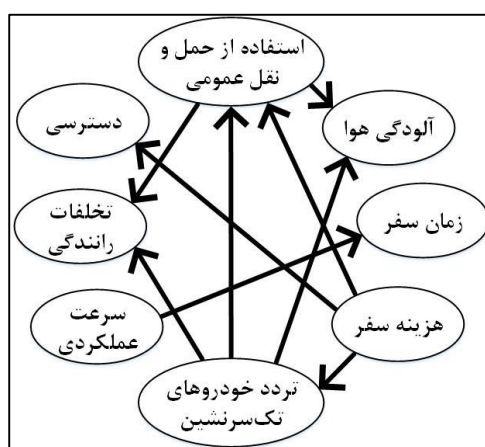
پیشین [22] به‌عنوان معیارها و زیرمعیارهای اولیه در نظر گرفته شد و مؤثر بودن آنها در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، با استفاده از روش دلفی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق این روش، میزان مؤثر بودن هر معیار (زیرمعیار) توسط کارشناسان و برحسب امتیازات جدول (۱) امتیازدهی شد. سپس معیارها و زیرمعیارهایی که میانگین امتیازات آنها بالاتر از حد آستانه در روش دلفی (۰/۷) بود به‌عنوان معیارها و زیرمعیارهای مؤثر ارزیابی انتخاب شدند (جدول ۴).

روش منوط به تعیین عناصر تصمیم شامل گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها و همچنین تعیین وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم می‌باشد. گزینه‌های در نظر گرفته‌شده به‌عنوان استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها در این پژوهش عبارتند از استراتژی ایجاد محدوده ممنوعه تردد، استراتژی طرح تردد نوبتی و استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک.

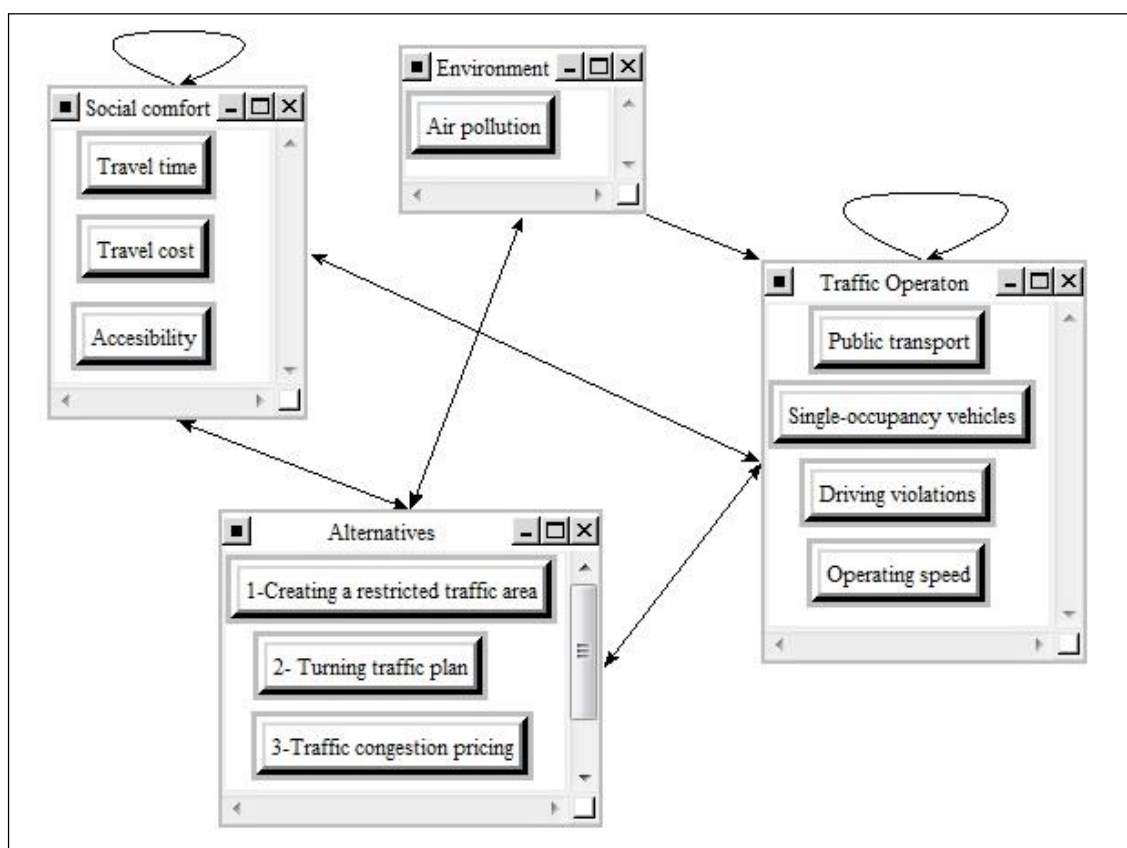
برای تعیین معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی ابتدا معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش‌های

جدول ۴: معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

معیارهای اولیه	زیرمعیارهای اولیه	میانگین امتیازات	مقدار حد آستانه	پذیرش / رد
رفاه اجتماعی	زمان سفر	۰/۹۳	۰/۷	پذیرش
	هزینه سفر	۰/۸۰	۰/۷	پذیرش
	دسترسی	۰/۷۶	۰/۷	پذیرش
عملکرد ترافیکی	استفاده از حمل و نقل عمومی	۰/۷۹	۰/۷	پذیرش
	تردد خودروهای تک‌سرنشین	۰/۸۵	۰/۷	پذیرش
	تخلفات رانندگی	۰/۷۴	۰/۷	پذیرش
	سرعت عملکردی	۰/۷۶	۰/۷	پذیرش
ایمنی	تصادفات خودروها	۰/۵۰	۰/۷	رد
	تصادفات عابران و دوچرخه‌سواران	۰/۶۵	۰/۷	رد
زیست‌محیطی	آلودگی هوا	۰/۷۴	۰/۷	پذیرش
	آلودگی صوتی	۰/۶۱	۰/۷	رد



شکل ۳: وابستگی‌های در نظر گرفته‌شده بین عناصر تصمیم



شکل ۴: درخت تصمیم ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها در نرم‌افزار Super Decisions

معیار مؤثری در ارزیابی حاضر شناخته نمی‌شود و از معیارهای ارزیابی حذف می‌گردد. پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی، وابستگی‌های موجود میان زیرمعیارهای ارزیابی با استفاده از نظرات کارشناسی مطابق شکل (۳) مشخص شدند. در این شکل، اثرگذاری زیرمعیارها روی یکدیگر با استفاده از پیکان نمایش داده شده‌اند.

پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای نهایی و گزینه‌های ارزیابی و تعیین وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم، با تعریف موارد فوق و مشخص کردن وابستگی‌های میان عناصر تصمیم در نرم‌افزار Super Decisions، درخت تصمیم مطابق شکل (۴) در نرم‌افزار مذکور تشکیل گردید.

همان‌گونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، براساس تحلیل انجام‌شده با استفاده از روش دلفی سه زیرمعیار تصادفات خودروها، تصادفات عابران پیاده و دوچرخه‌سواران و آلودگی صوتی معیارهای مؤثری در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک شناخته نشدند. با توجه به این‌که اطلاعات دقیقی از میزان تأثیر هر یک از راهکارهای کنترل تراکم ترافیک بر سه زیرمعیار مذکور موجود نمی‌باشد، برآورد تأثیر گزینه‌های ارزیابی بر این زیرمعیارها توسط کارشناسان نیز چندان دقیق نخواهد بود. بنابراین عدم پذیرش این زیرمعیارها به‌عنوان زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها قابل قبول می‌باشد. بدین ترتیب معیار اولیه ایمنی که شامل دو زیرمعیار تصادفات خودروها و تصادفات عابران و دوچرخه‌سواران بود نیز

مقایسات زوجی و تشکیل سوپرماتریس اولیه

پس از تشکیل درخت تصمیم، مقایسات زوجی عناصر تصمیم با استفاده از نظرات کارشناسان انجام شدند. با محاسبه میانگین هندسی امتیازات ثبت‌شده توسط کارشناسان، مقادیر نهایی مؤلفه‌های هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم تعیین شدند. به طریق مشابه، مقدار وابستگی عناصر دارای وابستگی نیز با استفاده از مقایسات زوجی و براساس نظرات کارشناسان مشخص شدند. سپس اوزان عناصر تصمیم با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شدند و به همراه اوزان وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم، مطابق جدول (۵) در سوپرماتریس اولیه قرار گرفتند.

اعتبارسنجی نتایج مقایسات زوجی

مقادیر ضرایب سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم شامل معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های ارزیابی توسط نرم‌افزار محاسبه شدند و تمامی این مقادیر کمتر از ۰/۱ بودند. بدین ترتیب سازگاری تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم مورد تأیید قرار گرفت.

تشکیل سوپرماتریس‌های موزون و حدی

پس از تشکیل سوپرماتریس اولیه، برای این‌که اوزان خوشه‌ها یعنی معیارهای ارزیابی نیز در مقادیر مؤلفه‌های ماتریس اثر داده شوند، مقادیر مؤلفه‌های هر یک از ستون‌های سوپرماتریس اولیه نرمال‌سازی شدند. بدین ترتیب سوپرماتریس وزن‌دار شده یا موزون حاصل گردید. سپس سوپرماتریس حاصل به صورت متوالی در خودش ضرب گردید تا در نهایت مقادیر مؤلفه‌های آن ثابت گردید و سوپرماتریس محدود شده یا حدی تشکیل گردید. مقادیر اوزان عناصر تصمیم در سوپرماتریس

حدی در جدول (۶) نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که محاسبه تمامی سوپرماتریس‌های اولیه، موزون و حدی در این پژوهش توسط نرم‌افزار Super Decisions انجام شده‌است.

رتبه‌بندی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های

ارزیابی

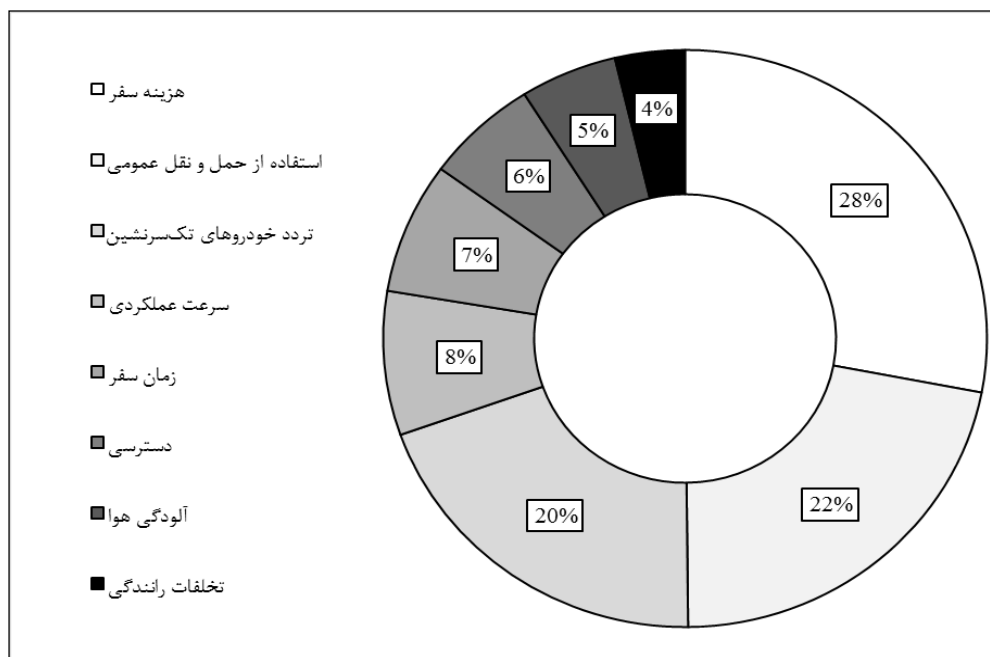
مقادیر مؤلفه‌های سوپرماتریس حدی برابر با اوزان نهایی عناصر تصمیم می‌باشند. بنابراین اولویت‌بندی عناصر تصمیم براساس همین مقادیر قابل انجام است. به منظور محاسبه اوزان نهایی معیارهای ارزیابی نیز کافی است مجموع اوزان نهایی زیرمعیارهای مربوط به آن معیار محاسبه شود. با توجه به این‌که هدف پژوهش حاضر اولویت‌بندی گزینه‌های ارزیابی یعنی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها و همچنین رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی این استراتژی‌ها می‌باشد، برای این‌که در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی هر یک از دسته‌های عناصر تصمیم (معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها) بتوانیم مقایسه بهتری بین آنها داشته باشیم، مقادیر اوزان نهایی به دست آمده از سوپرماتریس حدی نرمال‌سازی شدند و هر یک از دسته‌های عناصر تصمیم براساس اوزان نرمال‌شده آن عناصر اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شدند.

جدول ۵ سوپرماتريس اوليه

سوپرماتريس اوليه		گزينه‌ها			زيست محيطي	رفاه اجتماعي			عملکرد ترافیکي			
		محدوده ممنوعه تردد	طرح تردد نوبتي	قيمت گذاري تراکم ترافیکي	آلودگي هوا	دسترسي	هزينه سفر	زمان سفر	تخلفات رانندگي	سرعت عملکردي	استفاده از حمل و نقل عمومي	تردد خودروهاي تک سرنشين
گزينه‌ها	محدوده ممنوعه تردد	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۸	۰/۱۴۶	۰/۱۳۷	۰/۲۰۰	۰/۱۵۲	۰/۱۵۹	۰/۵۶۹	۰/۵۵۳
	طرح تردد نوبتي	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۴۲	۰/۲۳۳	۰/۲۳۷	۰/۲۶۴	۰/۲۴۴	۰/۲۳۹	۰/۳۱۴	۰/۳۰۹
	قيمت گذاري تراکم ترافیکي	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۱۰	۰/۶۲۱	۰/۶۲۷	۰/۵۳۶	۰/۶۰۴	۰/۶۰۲	۰/۱۱۷	۰/۱۳۷
زيست محيطي	آلودگي هوا	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
رفاه اجتماعي	دسترسي	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	هزينه سفر	۰/۳۶۸	۰/۳۶۸	۰/۳۶۸	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
	زمان سفر	۰/۳۴۶	۰/۳۴۶	۰/۳۴۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
عملکرد ترافیکي	تخلفات رانندگي	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	سرعت عملکردي	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	استفاده از حمل و نقل عمومي	۰/۴۸۹	۰/۴۸۹	۰/۴۸۹	۰/۷۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۸۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تردد خودروهاي تک سرنشين	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰	۰/۲۵۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱۴	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۶ اوزان عناصر تصميم در سوپرماتريس حدي

وزن در سوپرماتريس حدي	زير معيارها	معياريها	
۰/۰۴۵	زمان سفر		
۰/۱۷۰	هزينه سفر	رفاه اجتماعي	
۰/۰۳۷	دسترسي		
۰/۱۳۳	استفاده از حمل و نقل عمومي		
۰/۱۲۰	تردد خودروهاي تک سرنشين	عملکرد ترافیکي	
۰/۰۲۳	تخلفات رانندگي		
۰/۰۴۹	سرعت عملکردي		
۰/۰۳۲	آلودگي هوا	زيست محيطي	
۰/۱۰۱	محدوده ممنوعه تردد	گزينه‌ها	
۰/۱۰۱	طرح تردد نوبتي		
۰/۱۹۰	قيمت گذاري تراکم ترافیکي		



شکل ۵ رتبه‌بندی زیرمعیارهای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک

می‌باشد. از آنجایی که بیشتر سفرهای کاری در مشهد با استفاده از خودروی شخصی انجام می‌شوند [29] و با توجه به این که بخش اعظم خودروهای حاضر در جریان ترافیک خیابان‌ها و معابر مرکزی مشهد، خودروهای تک‌سرنشین هستند [30]، می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه استراتژی انتخابی برای کنترل تراکم ترافیک در شهر مشهد بتواند به صورت معنی‌داری حجم تردد خودروهای شخصی را کاهش دهد، حجم جریان ترافیک در معابر واقع در محدوده مرکزی این کلان‌شهر به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت و موجب رضایت هر چه بیشتر کاربران راه خواهد شد [31]. همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، حدوداً ۷۰ درصد از مجموع اوزان شاخص‌ها و زیرمعیارهای ارزیابی به سه شاخص مذکور یعنی هزینه سفر، استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش تردد خودروهای تک‌سرنشین اختصاص یافته‌است؛ بنابراین می‌توان سه شاخص مذکور را

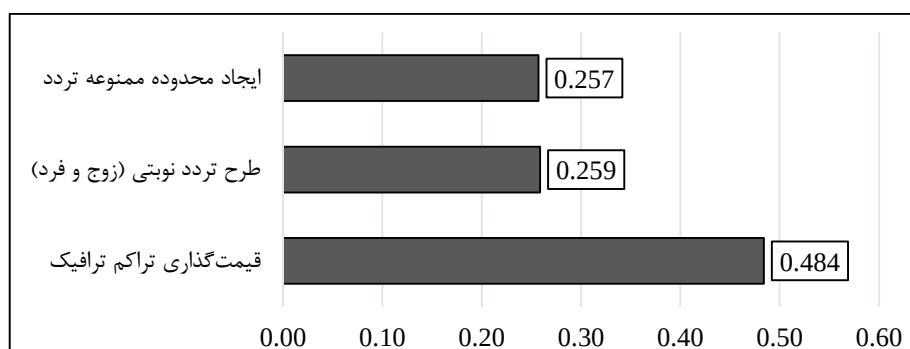
پس از نرمال‌سازی اوزان نهایی زیرمعیارهای ارزیابی، اولویت‌بندی آنها مطابق شکل (۵) انجام گردید. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مهم‌ترین شاخص مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، شاخص هزینه سفر می‌باشد. بنابراین ضروری است در انتخاب استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها بیش از هر چیز به میزان تأثیر استراتژی مورد بررسی در کاهش هزینه سفرهای شهری توجه شود. شاخص‌های استفاده از حمل و نقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین نیز به ترتیب به عنوان دومین و سومین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شدند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر چه استراتژی انتخابی برای کنترل تراکم ترافیک بیشتر موجب افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش تردد خودروهای تک‌سرنشین شود، کارایی آن بیشتر است و مؤثرتر

مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها دانست.

همان‌گونه که گفته شد، با محاسبه مجموع وزن زیرمعیارهای مربوط به هر معیار می‌توان اوزان نهایی معیارهای ارزیابی را محاسبه کرد. بر همین اساس، معیارهای ارزیابی نیز مطابق جدول (۷) و براساس اوزان نرمال‌شده اولویت‌بندی گردیدند. همان‌گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، معیارهای عملکرد ترافیکی و رفاه اجتماعی در اولویت بالاتری نسبت به معیار زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند.

باتوجه به وزن نهایی گزینه‌ها در سوپر ماتریس حدی در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، گزینه‌های ارزیابی یا

استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها مطابق شکل (۶) رتبه‌بندی گردیدند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک با وزن نرمال‌شده ۰/۴۸۴ به‌عنوان بهترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شد. دو استراتژی ایجاد محدوده ممنوعه تردد و طرح تردد نوبتی نیز امتیاز تقریباً یکسانی را کسب کردند که بیانگر عدم موفقیت و کارایی لازم طرح تردد نوبتی (زوج و فرد)، یعنی طرح ترافیکی که در حال حاضر در شهر مشهد وجود دارد، می‌باشد.



شکل ۶ اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

جدول ۷ رتبه‌بندی معیارهای ارزیابی استراتژی‌های کنترل

تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

رتبه	معیار	مجموع وزن زیرمعیارها	وزن نرمال شده
۱	عملکرد ترافیکی	۰/۳۲۵	۰/۵۳۴
۲	رفاه اجتماعی	۰/۲۵۲	۰/۴۱۴
۳	زیست‌محیطی	۰/۰۳۲	۰/۰۵۲

نتیجه‌گیری

باتوجه به ارزیابی انجام‌شده در این تحقیق، مناسب‌ترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک می‌باشد. استراتژی‌های طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) و ایجاد محدوده ممنوعه تردد نیز به ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. کسب امتیازاتی تقریباً برابر توسط طرح‌های ایجاد محدوده ممنوعه تردد و طرح تردد نوبتی (زوج و فرد)، نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) در کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهر مشهد می‌باشد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) تنها در جابه‌جایی آلودگی هوا نقش دارد و تأثیری در کاهش آن ندارد [20]؛ درحالی‌که طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک تا حد قابل توجهی در کاهش آلاینده‌های هوا مؤثر می‌باشد [15]. علاوه‌بر شاخص آلودگی هوا، در سایر شاخص‌های ارزیابی نیز طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) امتیازات بالایی کسب نکرده‌است؛ به همین دلیل، در رتبه‌بندی نهایی استراتژی‌ها با اختلافی بسیار اندکی با طرح ایجاد محدوده ممنوعه تردد، در رتبه دوم قرار گرفت. مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های

کنترل تراکم ترافیک در این پژوهش نیز به ترتیب شاخص‌های هزینه سفر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین بودند که بیشترین اوزان را به خود اختصاص دادند. پس از آنها، شاخص‌های سرعت عملکردی، زمان سفر، دسترسی، آلودگی هوا و تخلفات رانندگی نیز در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. علی‌رغم این‌که علاوه‌بر موارد فوق، سه شاخص تصادفات خودروها، تصادفات عابران پیاده و دوجرخه‌سواران و آلودگی صوتی نیز در تحقیقات گذشته به‌عنوان شاخص‌هایی مؤثر شناخته شده بودند [22]، در پژوهش حاضر و بااستفاده از روش دلفی مشخص گردید که این سه شاخص معیارهای چندان مناسبی برای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها نمی‌باشند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت پایش معیارهای ارزیابی بااستفاده از روش دلفی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) به نتایج دقیق‌تری منجر خواهند شد. هم‌چنین باتوجه به وابستگی‌های موجود میان معیارهای ارزیابی، توصیه می‌گردد در سایر پژوهش‌های مربوط به ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردد.

مراجع

1. Chen, Y., Zheng, N. and Vu, H. L., "A Novel Urban Congestion Pricing Scheme Considering Travel Cost Perception and Level of Service", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, 103042, (2021).
2. Mirbaha, B., Sherafatipoor, S. and Mahpoor, A., "Congestion pricing model for urban congested roads (Case study: Sadr elevated Bridge)", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 353-365, (2016). (In Persian)
3. Carey, M. and Srinivasan, A., "Externalities, Average and Marginal Costs, and Tolls on Congested Networks with Time Varying Flows", *Operational Research*, Vol. 41, No. 1, pp. 217-231, (1993).
4. - Rostami, H. and Ataeian, H., "Mechanized control of traffic planning range", *7th Conference on Traffic & Transportation Engineering in Iran*, Tehran, (2006). (In Persian)
5. Zhong, S., Gong, Y., Zhou, Z., Cheng, R. and Xiao, F., "Active Learning for Multi-Objective

- Optimal Road Congestion Pricing Considering Negative Land Use Effect", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, 103002, (2021).
6. Gehlot, H., Honnappa, H. and Ukkusuri, S.V., "An Optimal Control Approach to Day-to-Day Congestion Pricing for Stochastic Transportation Networks", *Computers and Operations Research*, Vol. 119, 104929, (2020).
 7. Ghane, Y. and Fallah-Tafti, M., "A Review of Analytical and Practical Methods of Pricing Traffic Conditions on Roads", *3rd International Conference on Recent Innovations in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, Tehran, (2016). (In Persian)
 8. Yang, H. and Huang, H., "Carpooling and Congestion Pricing in a Multilane Highway with High-Occupancy-Vehicle Lanes", *Transportation Research Part A: Policy and practice*, Vol. 33, No. 2, pp. 139-155, (1999).
 9. Latifi, L. and Abedini, M., "Comparison of three solutions of traffic prohibition zone, shift traffic plan and congestion pricing on traffic in Tehran", *The 12th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2013). (In Persian)
 10. Smith, M., "The Marginal Cost Taxation of a Transportation Network", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 13, No. 3, pp. 237-242, (1979).
 11. Ahmadi-Azari, K., Arintono, S., Hamid, H. and Davoodi, S. R., "Evaluation of Demand for Different Trip Purposes Under Various Congestion Pricing Scenarios", *Journal of Transport Geography*, Vol. 29, pp. 43-51, (2013).
 12. Bojian, Z., Bliemer, M., Yang, H. and He, J., "A Trial-and-error Congestion Pricing Scheme for Networks with Elastic Demand and Link Capacity Constraints", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 72, pp. 77-92, (2015).
 13. De Lara, M., De Palma, A., Kilani, M. and Piperno, S., "Congestion Pricing and Long Term Urban Form- Application to Paris Region", *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 43, pp. 282-295, (2013).
 14. Daganzo, C. F. and Lehe, L. J., "Distance-Dependent Congestion Pricing for Downtown Zones", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 75, pp. 89-99, (2015).
 15. Bandeira, J., Coelho, M., Pimental, M. and Khattak, A., "Impact of Intercity Tolls in Portugal- An Environmental Perspective", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 48, pp. 1174-1183, (2012).
 16. Amirgholy, M., Rezaeestakhruie, H. and Poorzahedy, H., "Multi-Objective Cordon Price Design to Control Long Run Adverse Traffic Effects in Large Urban Areas", *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, Vol. 16, pp. 1-52, (2015).
 17. Guo, Y., Li, Y., Anastasopoulos, P. C., Peeta, S. and Lu, J., "China's Millennial Car Travelers' Mode Shift Responses Under Congestion Pricing and Reward Policies: A Case Study in

- Beijing", *Travel Behaviour and Society*, Vol. 23, pp. 86-99, (2021).
18. Simoni, M. D., Kockelman, K. M. and Gurumurthy, K. M., "Congestion Pricing in a World of Self-Driving Vehicles: An Analysis of Different Strategies in Alternative Future Scenarios", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 98, pp. 167-185, (2019).
 19. Amini, B. and Mojjarradi, M., " Investigation and evaluation of Tehran's turning traffic plan", *The 7th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2006). (In Persian)
 20. Pak-gouhar, A. and Hooshangifar, A., "Study of the position of couple and individual traffic plan in the metropolis of Tehran", *The 3rd Regional Conference on Traffic Management*, Tehran, (2006). (In Persian)
 21. Kumar, R., Kumar Mishra, R., Chandra, S. and Hussain, A., "Evaluation of Urban Transport -Environment Sustainable Indicators During Odd-Even Scheme in India", *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 23, pp. 17240-17262, (2021).
 22. Kadkhodaei, M. and Shad, R., "Evaluation of Traffic Congestion Pricing Methods in Touristic Metropolises (Case Study: Mashhad City)", *Journal of Transportation*, Vol. 4, No. 61, pp. 111-127, (2018). (In Persian)
 23. Habibi, A., Firouzi-Jahantigh, F. and Sarafrazi, A., "Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items", *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, Vol. 5, No. 2, pp. 130-143, (2015).
 24. Zebardast, E., "Application of Analytical Network Process (ANP)", *Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Development*, No. 41, pp. 79-90, (2010). (In Persian)
 25. Afandizadeh, S., Javanshir, H., Shamanian, H., "Presentation of Suburban Road Prioritization Model for Equipping Speed Control Cameras Using ANP Network Analysis Process (Case Study: Isfahan Province Roads)", *The 15th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2015). (In Persian)
 26. Saghaei, M. and Javan-bakht, Z., "An analysis of the statistics of domestic tourists and domestic visitors entering the Mashhad metropolis using time series models", *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Vol. 28, pp. 71-94, (2013). (In Persian)
 27. Abbasi, D. and Ghare-baghi, M., "Study of the Importance of Tourism Effects on Transportation Case Study: Mashhad City", *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Infrastructure*, Tabriz, (2015). (In Persian)
 28. Kadkhodaei, M. and Shad, R., "Analysis and Evaluation of Traffic Congestion Control Methods in Touristic Metropolis Using Analytical Hierarchy Process (AHP)", *Civil Engineering Journal*, Vol. 4, No. 3, pp. 602-608, (2018).
 29. Sajjadi, S. A., Biglari, H., Mazloom-shahri, S. B. and Shakeri, H., "Objectives of personal

- transport in urban environments; Review of traffic management in order to improve public health", *The Horizon of Medical Sciences*, No. 21, pp. 123-128, (2016). (In Persian)
30. Mashhad-Fouri news site, "Mashhad in the occupation of single-occupancy vehicles", Accessed on October 14, 2017, Available at: <http://www.mashhadfori.com/detail/65903/>-مشهد-در-تسخیر-خودرو-های-تک-سرنشین (2017). (In Persian)
31. Saghaei, M., "Strategic Analysis of Welfare Areas of Religious Tourism in Mashhad Metropolitan Area with Emphasis on Coherent Quality Management of Religious Tourism", *The 6th National Conference on Urban Planning and Management*, Mashhad, (2014). (In Persian)

according to Table 1 using the Delphi method. As can be seen, the sub-criteria of car accidents, pedestrian and bicycle accidents, and noise pollution were removed from the initial sub-criteria. As a result, the safety criterion was also removed from the evaluation criteria.

Table 1. Criteria and sub-criteria for evaluating traffic congestion control strategies in metropolitan areas

Initial criteria	Initial sub-criteria	Average scores	Accept / Reject
Social comfort	Travel time	0.93	Accept
	Travel cost	0.80	Accept
	Accessibility	0.76	Accept
Traffic performance	Using of public transport	0.79	Accept
	Single-occupancy vehicles traffic	0.85	Accept
	Driving violations	0.74	Accept
	Operating speed	0.76	Accept
Safety	Car crashes	0.50	Reject
	Pedestrian and cyclist accidents	0.65	Reject
Environment	Air pollution	0.74	Accept
	Noise Pollution	0.61	Reject

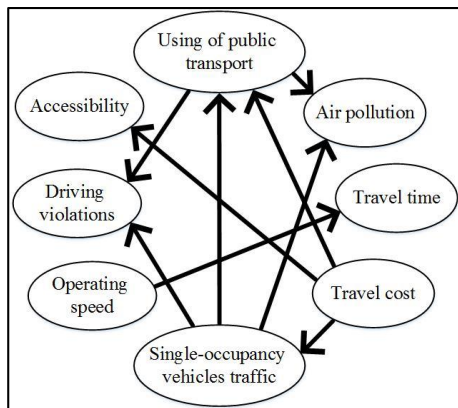


Figure 2. Considered Dependencies between the elements of the decision

The existing dependencies between the evaluation sub-criteria were identified based on the experts' opinions according to Figure 2. Then, by performing pairwise comparisons of decision elements based on experts' opinions and extracting the final matrices of pairwise comparisons in the Analytic Network Process (ANP), the initial weights of decision elements were determined and entered into the initial supermatrix. Then, the weighted supermatrix and the limited supermatrix were calculated by the Super Decisions software,

and the final weights of the decision elements were determined by the limited supermatrix. After normalizing the final weights of the decision elements, the sub-criteria and evaluation alternatives were ranked according to Figure 3 and Figure 4, respectively.

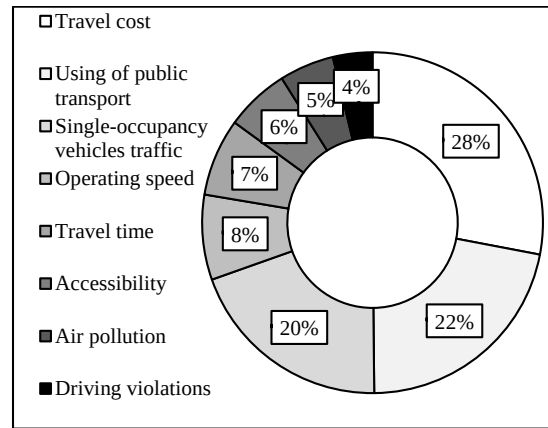


Figure 3 Ranking of sub-criteria of traffic congestion control strategies evaluation in metropolitan areas

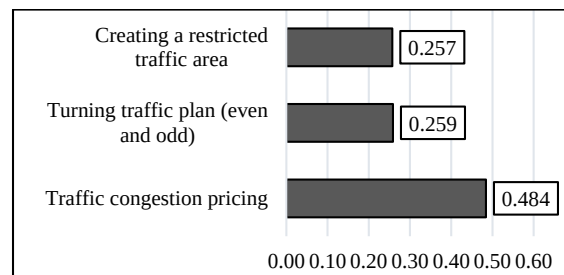


Figure 4 Prioritize traffic congestion control strategies in metropolitan areas

4. Conclusion

Based on the research conducted in this article, the following results were obtained:

- The most appropriate traffic congestion control strategy in metropolitan cities is the traffic congestion pricing strategy. The strategies of turning traffic plan (even and odd plan) and creating a restricted traffic area were also in the second and third priorities, respectively.

- The final score of the turning traffic plan is almost equal to the final score of the plan of creating a restricted traffic area, which indicates the inefficiency of the turning traffic plan (even and odd plan) in controlling traffic congestion in the metropolis of Mashhad.

- The indicators of travel cost, using of public transportation, and single-occupancy vehicles traffic were recognized as the most important effective indicators in evaluating traffic congestion control strategies, respectively.

Prioritization of Traffic Congestion Control Strategies in Metropolitan Areas (Case Study: Mashhad)

Masoud Kadkhodaei¹ Seyed Ali Ziaee²
Rouzbeh Shad³

1. Introduction

Today, one of the most important issues in urban management is controlling traffic congestion and reducing its negative effects, especially in the central areas of cities. Traffic congestion control strategies can be divided into two general categories: strategies based on increasing supply and strategies based on reducing demand. Demand-based strategies take precedence over supply-based strategies. The main methods of implementing policies based on reducing traffic demand that has been used so far in different cities of the world are: creating a restricted traffic area, traffic congestion pricing, and turning traffic plan (even and odd plan). The purpose of this study is to identify and rank the effective criteria for evaluating traffic congestion control strategies in metropolitan areas and to rank these strategies based on the selected criteria. The study area in this study is the metropolis of Mashhad.

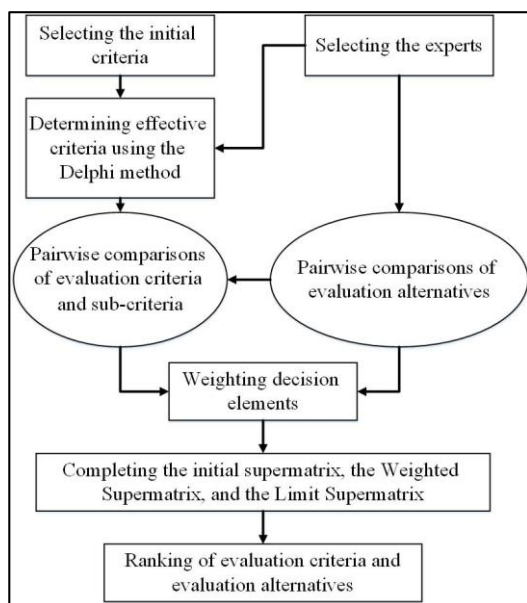


Figure 1. The flowchart of evaluation steps

2. Method

The selected method for evaluating traffic congestion control strategies in this study is the hybrid method of Delphi and Analytic Network Process (ANP). In the first step of this hybrid method, effective criteria in evaluating traffic congestion control strategies are identified and determined using the Delphi method and based on the opinions of experts. These criteria are then used in the Analytic Network Process (ANP) method to rank the evaluation alternatives. Figure 1 shows the flowchart of evaluation steps.

In the Delphi method, the basic criteria are scored by experts according to their degree of importance and effectiveness. Then, the criteria whose average score is higher than the threshold in the Delphi method (0.7) are selected as effective criteria. In Analytic Network Process (ANP), decision elements including criteria, sub-criteria, and evaluation alternatives are compared by experts in each of the three categories in the pairwise form. The final pairwise comparison matrices are obtained by geometric averaging of experts' scores. The initial weights of the decision elements in each of the final pairwise comparison matrices are then calculated using Equations (1) and (2). In these Equations, a_{ij} is the abnormal component and r_{ij} is the normal component of the pairwise comparison matrix, and W_i is the weight of element i in the corresponding pairwise comparison matrix.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n} \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

The initial supermatrix is then formed based on the initial weights of the decision elements, and the weighted supermatrix and the limited supermatrix are calculated using Super Decisions software. The decision elements are ranked based on the final weights obtained from the limited supermatrix.

3. Results

Initial sub-criteria were classified into four categories: the criteria of social comfort, traffic operation, safety, and environment (Table 1). The effective evaluation sub-criteria were determined

¹. PhD Candidate in Highway and Transportation Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

². Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: sa-ziaee@um.ac.ir

³. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

the of Nirooye Daryaie (the navy) intersection. One of the reasons is the existence of hyperactivity and administrative work, including the public prosecutor's office of Rasht and the military prosecutor's office. Thin people do more offense than other weights and fat people do less offense. In general, fat drivers are calmer and follow the law more than thin people. The intersection that fat people violate red light most is the Holy Square, which can be due to service or entertainment activities because the Moghadas Square intersection near the park and mobile services. Another reason could be to take a suitable parking space on Lakani Street. Women in chadors, like previous analyses, did not commit any violations, and this shows the great respect of this cover to the rules. Regarding age group of people of more than 60, no violations have been registered, which can be concluded that the older you get, the less you violate the red light the more you follow the law. This does not even affect the gender of individuals.

4. Conclusion

The results show that increasing age, the number of violations decrease significantly, so that no violations were observed in the age group of 60, and this has no relationship with gender. Also, the men had the most number of parking violations than the women. There were obvious differences in the four kinds of outfit, so that in the women's group, women having hijab did not commit any violations compared to those having the regular outfit, and in the men's group, those with formal cloth recorded 55 violations and those with regular were 44.

Identifying the Factors Affecting Vehicles Red-Light Running at Traffic Light Intersections (Case Study: Rasht Metropolis)

Iraj Bargegol¹ Sobhan Hassanjani²

Saeed Fatemi³ Seyed Amir Saadatjoo⁴

1. Introduction

Performing each of these daily human activities requires moving and traveling from one place to another, some of which take place inside the city and some outside the city. Vehicle is one of the oldest forms of transportation and routes and is one of the most important components of the intercity transportation system. Today, with the increasing population of cities, despite the growing use of public transportation, a significant portion of intra-city travel is done by vehicle. Intersections are an important component of the intra-city transportation network and crossing intersections is a critical part along this route from origin to destination. Today, in all human societies, traffic has become a pervasive problem. Overcrowding caused by the presence of too many cars causes stress in the community. Intersections in the urban road network are of great importance. Since the capacity of the transportation network is affected by the performance of intersections, any irregularities in these important components will reduce the capacity of the network. Illegal crossing of the crosswalk and violation of the red light by the vehicle is one of the irregular and predisposing factors for accidents, waste of property time and reduced productivity from the negative consequences of crossing the red light at intersections. Due to the effect of red light offenders' behavior on performance, recognizing the behavioral and physical characteristics of drivers is of great importance and can lead to better design of facilities related to red light crossing. Regarding the importance of research, it can be said that Iran has one percent of the world's population, but its global share of traffic accidents is 2 percent. One of the reasons for the accidents is red lights, so we should consider this a national

concern. In this study, the reasons for the violation of the law by drivers while crossing the red light at intersections, as well as strategies to deal with this common phenomenon, were investigated.

2. Method

Data collection method is observational and field statistics. The location of the person was selected for field surveillance in relation to the pedestrian crossing and the width of the passage. The person was placed in the right position to see the details of the behavior and appearance of the vehicles, the type of movement and how the red light was violated. That vehicles do not notice the presence of a person, to avoid a possible effect on the behavior of vehicles, since the details of the behavior and appearance of vehicles are very important in this study. The frequency of passes was counted and manually recorded and then transferred to the software. The process of counting vehicles was done as follows:

- Number of women who crossed the red light,
- Number of gentlemen who crossed the red light,
- Separation of vehicles by age,
- Separation of vehicles by gender and coverage,
- Separation of vehicles by weight.

3. Results

Most 18-to30-year-old people commit red light violations. At the age of 18 to 30, most of the intersections that were violated were the intersection of the Gas Station, which is due to the existence of universities and the passage of students. The second is the intersection of Golsar crosswalk, which has been registered with 11 violations in this age range. Totally, the intersection of Niroo Daryaei has more violations with the number 26. This analysis leads us to the conclusion that the older we get, the more we obey the law. The cameras of traffic monitoring have more effective performance than the police officers. The only intersection in which the women violated was the intersection of Golsar crossroads, which could have been due to the existence of medical centers. And the most violations happen at

¹ Correspond Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: bargegol@guilan.ac.ir

² MSc. Student, Highway and Transportation, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

³ Ph.D. Student, Highway and Transportation, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

⁴ Ph.D. Student, Highway and Transportation, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

The results of compaction tests show that the γ_{dmax} and w_{opt} of natural soil are 16.8 kN/m³ and 18%. By adding phenanthrene to the soil, w_{opt} changes to 16% but the γ_{dmax} does not changed. The SEM image of contaminated soil shows that by adding phenanthrene to natural soil, the structure of it is changed to dispersed condition. It shows that the structure of soil has influences on the compaction parameters.

The results show that by adding MgO to natural and contaminated soil, γ_{dmax} decreases and w_{opt} increases. Comparing the SEM images shows that adding MgO to the soil causes an increase in the degree of flocculation of the soil structure. Therefore, based on the obtained results it can be concluded that the changes in the values of compaction parameters are due to the high water adsorption capacity of MgO because of its high specific surface and forming the new structure of the soil as shown in SEM images.

The results of strength tests indicate that the final strength of natural soil is 306 kPa at the strain of 6%. These values are changed to 203 kPa and 8.5%, respectively, for contaminated soil. It is concluded that adding the solution of phenanthrene to soil causes a reduction in the final strength in comparison with the natural soil. The results also indicate that by adding MgO to natural and contaminated soil, the final strength of them increases and the amount of it depends on the percent of MgO and curing time. At a constant percent of MgO, the strength of the soil increases with increasing the curing time. Also, at a constant curing time, an increase in the percent of MgO causes an increase in strength. This is due to the chemical reaction of MgO during the hydration process. It can be said when MgO is added to the soil, its hydration starts by adsorbing the free water between particles. During the hydration, MgO changes to $Mg(OH)_2$, which is termed brucite. Brucite reacts with CO_2 and water and produces materials such as nesquehonite, hydromagnesite, and dypingite (the carbonation products can be seen in SEM images). The carbonation process and production of the materials continue with time by adsorbing the water and CO_2 and they cause increasing the strength of the soil sample.

The modulus of elasticity corresponding to the 50% (E_{50}) of final strength was calculated with the aid of stress-strain curves for each of the used materials. The results showed that the variations of it are the function of percent of MgO and curing times similar to the variations of final strength of samples. It can be said that the carbonation products that are made during the time are important in the variation amount of E_{50} .

4. Conclusion

The following conclusions can be drawn from the obtained results of this work:

- By adding phenanthrene to soil, the structure of it changes from flocculated to dispersed condition. The Atterberg limits reduces and from compaction parameters, only the optimum water content reduces in comparison with natural soil. In addition, the final strength of it is less than the natural soil.
- MgO causes an increase in the values of Atterberg limits and compaction parameters in comparison with natural soil.
- MgO can increase the strength and E_{50} of natural and contaminated soil and the amount of increase in strength depends on the percent of used MgO and curing time.

Improving the Behaviors of a Clay Soil Contaminated with Phenanthrene using MgO

Mohadeseh Amini¹ Ali Raeesi Estabragh²
Jamal Abdollahi Ali Beik³

1. Introduction

Soil improvement, in its general meaning, considers every physical, physicochemical, and chemical method employed to make a soil suitable for its required engineering purpose. Several methods have been used to improve the behaviors of contaminated soils over the past few decades. Among these methods, the chemical technique of lime or cement-based soil mix technology has been widely applied and studied by a number of researchers. Portland cement (PC) is the most popular material for improvement the soils. However, the procedure of PC is known to be high energy-consuming and releases high value of CO₂ during its production process. Recently materials such as MgO have been drawn the attention of researchers for replacing the PC. In addition to its economic and environmental advantages, the hydration of MgO also gives an equilibrium pH of about 10.5 that has better precipitation action in comparison with lime and cement. A Review of the literature shows that to date very limited studies about the effect of MgO on the improvement of contaminated soil can be found. Hence, the main objective of this work was to study the behaviors of a contaminated soil with phenanthrene using different percentages of MgO through experimental tests. Atterberg limits and standard compaction tests were conducted on the mixtures. Moreover, unconfined compressive strength (UCS) and SEM tests were conducted on compacted samples from the natural soil and the above mixtures at different curing times. The results are compared with the results for stabilized uncontaminated samples at the same conditions as the contaminated soil samples.

2. Materials and Methods

The main materials that were used in this study were soil, phenanthrene, acetone, and MgO. The soil was clay soil and was prepared from Qazvin province. The grain size distribution test showed that the soil consisted of 2% sand 45% silt and 53% clay. The liquid limit and plastic limit of the soil were determined as 47 and 26 % and its specific

gravity was 2.7. The soil was classified as clay with low plasticity (CL) according to the Unified Soil Classification System (USCS). The maximum dry unit weight and optimum water content of the soil were determined from the standard compaction test as 16.8 kN/m³ and 18% respectively. Phenanthrene with a concentration of 1200 mg/kg was used for preparing artificially contaminated soil. The solubility of phenanthrene in water is very low (1.15 mg/l), but it is completely dissolved in acetone. Therefore, acetone with a purity of 99.9% was used as a solvent for phenanthrene in making contaminated soil. After preparing the solution of acetone-phenanthrene it was sprayed on the soil and mixing was done by hand. The mixture was kept in the open air to allow evaporation of the acetone from the soil mass. Then the soil mass was kept in a plastic bag for the completion of the interaction between soil and phenanthrene. Natural air-dried soil and contaminated soil were mixed with 5, 10, 20, and 30% (by weight) of MgO. A number of experimental tests including Atterberg limits, compaction, UCS, and SEM tests were performed on samples of natural soil, mixtures of natural soil with MgO, contaminated soil, and mixtures of contaminated soil with different percents of MgO according to the ASTM standard. The samples for strength tests were made by static compaction method at optimum water content and maximum dry unit weight that were obtained from corresponding compaction curve for each of used materials. The length and diameter of samples were 100 and 50 mm respectively.

3. Results and Discussion

The results of the Atterberg limits tests show that adding phenanthrene causes a reduction in the values of Atterberg limits in comparison with natural soil. It is found the results that adding different percentages of MgO to natural and contaminated soil causes an increase of Atterberg limits, which is a function of the percent of MgO used. The reason is that the specific surface of MgO is about 250-300 m²/g, which is more than natural soil. Hence, it has a higher potential for adsorbing water. This property of MgO causes an increase in the values of Atterberg limits of soil when it is mixed with MgO. Therefore, by increasing the percent of MgO results in increase in the Atterberg limits.

¹ Corresponding author. PhD Candidate in Hydraulic Structures, Irrigation and Reclamation Department, Tehran University, Iran. Email: amini.mohadeseh@ut.ac.ir

² Professor of Geotechnical Engineering, Irrigation and Reclamation Department, Tehran University, Iran.

³ Lecturer of Civil Engineering, Irrigation and Reclamation Department, Tehran University, Iran.

The first term of Equation (4), usage of the principle of maximizing the distance of two different training data, is utilized to penalize large weights, to maintain regression function flatness, and to regularize weight sizes. In addition, the parameter W (in Equation (1)) is achieved, after the quadratic optimization problem,

$$W = \sum_{i=1}^N (\beta_i^* - \beta_i) \varphi(x_i) \quad (5)$$

where β_i^*, β_i are the Lagrangian multipliers (obtained by solving a quadratic program). Finally, the SVM function is Eq. (6):

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (\beta_i^* - \beta_i) K(x_i, x_j) + b \quad (6)$$

Here, $K(x_i, x_j)$ is called the function of kernel that is, $K(x_i, x_j) = \varphi(x_i) \varphi(x_j)$. In this study, the radial basis kernel function (RBF) $K(x_i, x_j) = \exp(-\|x_i - x_j\|^2 / 2\sigma^2)$, $\sigma > 0$ is utilized in the SVM model.

2.2. Artificial neural network. ANN firstly was introduced by McCulloch and Pitts (1943) who presented ability of this technique to calculate any logical functions. Processing of the data is executed with the help of many interconnected simple elements known as neurons which are placed in distinct layers of the network. Multi-layer perceptron, the most famous type of ANNs, consists of at least three layers: input, intermediate or hidden layers, and output. Difficulty level of the problem determines the number of the hidden layers and neurons. The neurons are linked from a layer to the next one, but this connection is not within the same layer. Once a series of inputs presents to the network, the input values are transmitted through the links to the second layer. In every link, the transmitted value is multiplied to the weight of the link. The weighted values are come together at a node in the hidden layer and a bias is summed to the weighted values in that particular node. Consequently, the achieved value transfer to an activation function and a signal is created. Using the departing links of hidden nodes, the results are transmitted to the output layer. Similar to hidden nodes, the input values of the output nodes are weighted, biased, summed, and transferred to the activation function. The created values of activation functions in output layers are the outputs of the network. Performance of an ANN depends on the architecture of the network which is the pattern of the connections existing between the neurons. The network should be trained with sufficient input–output patterns that are known as the training data. As the error reached specified error goal, training is finished and the optimum model is determined.

3. Case studies

It is generally known that the susceptibility of soil deposits to liquefaction is determined by a combination of various factors to which they may be subjected, such as soil properties, geological conditions, and ground motion characteristics. Therefore, it is widely recognized that determining liquefaction potential is a complex geotechnical engineering problem. It is worth noting that soil properties and geological conditions determine the resistance of the deposit to liquefaction, while earthquake characteristics control the seismic loading conditions. Among the factors listed herein, the three most important ones are the following: 1) the ground is a loose sandy deposit; 2) the ground water table is high and the ground is saturated; and 3) the earthquake intensity is sufficiently large and the duration of shaking is sufficiently long. Based on this, the following factors, such as 1) earthquake magnitude, M , 2) water table, d_w , 3) total vertical stress, σ_v , 4) effective vertical stress, σ_{v0} , 5) depth, d_s , 6) peak acceleration at the ground surface, a_{max} , 7) cyclic stress ratio, τ_{av}/σ'_{v0} , 8) mean grain size, D_{50} , and 9) measured CPT tip resistance, q_c , are selected as the evaluating indices. The database used in this study is from the Tangshan earthquake. A few of the original records were omitted because of incomplete data. The database includes 79 CPT-based field liquefaction records.

4. Results and conclusion

One of the possible consequences of earthquakes in saturated areas is soil liquefaction and as a result the failure of foundations of buildings, types of infrastructure, bridges and many other disasters. In this study, in order to evaluate the potential of soil liquefaction on 79 samples from China Tangshan Earthquake Database, several intelligent classification models were constructed with the help of Orange software. Therefore, the performance of 5 intelligent classification methods (Logistic Regression, ANN, SVM, KNN, and Random Forest) were compared based on different criteria. The results showed that SVM, ANN, and Logistic Regression methods have a high ability to predict soil liquefaction class and among them the Logistic Regression method with AUC index (0.98) was selected as the best method. In addition, the study of the effectiveness of variables using three criteria of Information Gain, Information Gain Ratio and Gini Index, indicates that the variable measured CPT tip resistance is the most effective variable and is the first priority. The variables of cyclic stress ratio and peak acceleration at the ground surface are also important features.

Evaluation of Soil Liquefaction Potential due to Earthquake using Intelligent Classification Algorithm in Orange Software

Hadi Fattahi¹ Fateme Jiryaee²

1. Introduction

Liquefaction is a phenomenon whereby a granular material transforms from a solid state to a liquefied state as a consequence of an increase in pore water pressure. Liquefaction of saturated granular soils due to seismic loading is a major concern for geotechnical engineers, since it may induce uncontrolled lateral spreading of soil masses, potentially causing considerable damages to civil engineering structures. Therefore, assessing liquefaction potential is an imperative task in earthquake geotechnical engineering. There are different methods available for determining the liquefaction potential of soil. Most of these methods depend on some limit states that separate the non-liquefaction region from the liquefaction region established empirically using in situ field observations from sites where test data are available. Among them, standard penetration tests (SPTs), cone penetration tests (CPTs), flat dilatometer tests (DMTs), the shear wave velocity technique (SWV), and self-boring pressure meter (SBPT) are the most commonly used in situ tests for liquefaction potential prediction. However, the high uncertainty in earthquake environments and soil characteristics make it difficult to choose a suitable empirical equation for regression analysis. Therefore, many scholars and experts have attempted to develop scientifically derived analytical models that are simpler and easier to implement, and more accurate than traditional empirical equations for soil liquefaction analysis. Artificial neural network (ANN) models have been used for prediction of liquefaction potential as a classification problem. Although the ANN is found to be more efficient compared to statistical methods, it also has several inherent drawbacks such as over fitting, slow convergence speed, poor generalizing performance, arriving at a local minimum, etc. A support vector machine (SVM) is a machine-learning algorithm, founded by Vapnik (1995), which is gaining popularity due to its good performance and attractive features. The method has been applied to several areas. Application of SVMs in civil engineering is an emerging area and needs to be explored in other disciplines such as

geotechnical engineering. SVM-based approaches for classification and prediction have been used in several other civil engineering disciplines and found to work better in comparison to a neural network approach.

In this study, in order to evaluate the potential of soil liquefaction on 79 samples from China Tangshan Earthquake Database, several intelligent classification models were constructed with the help of Orange software. Therefore, the performance of 5 intelligent classification methods (Logistic Regression, ANN, SVM, K-fold Nearest Neighbor (KNN) and Random Forest) were compared based on different criteria.

2. The most important methods used in this research

2.1. Support vector machine. A nonlinear mapping $\phi(\cdot): R^n \rightarrow R^{n_h}$ is specified to map the input and output datasets $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ (where N is the total number; x_i is inputs and y_i is the actual value) into a so-called high dimensional feature space (which may have infinite dimensions). Such a linear function, that is to say SVM function, is like Eq. (1),

$$f(x) = W^T \phi(x) + b \quad (1)$$

where $\phi(x)$ is the inputs feature and both b and W are coefficients. In SVR approach, the coefficients (b and W) are predicted by minimizing the empirical risk as Eq. (2),

$$R_{emp}(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Theta_\varepsilon(y_i, W^T \phi(x_i) + b) \quad (2)$$

that $\Theta_\varepsilon(y_i, W^T \phi(x_i) + b)$ is specified as Eq.(3),

$$\Theta_\varepsilon(y_i, W^T \phi(x_i) + b) = \begin{cases} |W^T \phi(x_i) + b - y_i| - \varepsilon, & \text{if } |W^T \phi(x_i) + b - y_i| \geq \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

The SVM focuses on minimizing the training error between the ε -insensitive loss function and the training data and finding the optimum hyper plane. Minimize:

$$\min_{w, b, \xi_i^*, \xi_i} R_\varepsilon(W, \xi^*, \xi) = \frac{1}{2} W^T W + C \sum_{i=1}^N (\xi_i^*, \xi_i) \quad (4)$$

with the constraints

$$y_i - W^T \phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \xi_i^*, \quad \xi_i^* \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$-y_i + W^T \phi(x_i) + b \leq \varepsilon + \xi_i, \quad \xi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

ξ_i^* : training errors above ε , ξ_i : training errors below $-\varepsilon$ and C is parameter to trade off these two terms.

¹ Corresponding author. Associate Professor in Rock Mechanics Engineering, Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Iran. Email: h.fattahi@arakut.ac.ir

² MSc Student, Faculty of Earth Sciences Engineering, Arak University of Technology, Iran

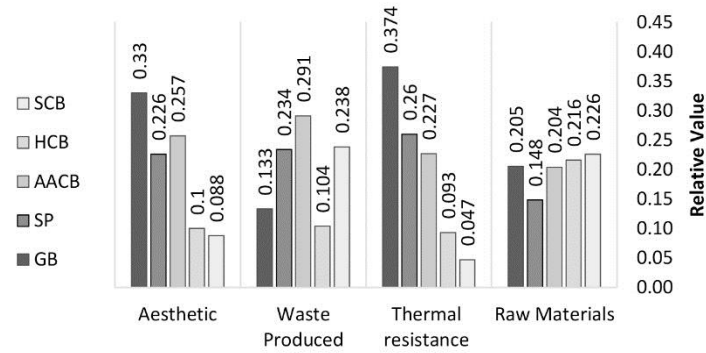


Figure 3. Relative values of alternatives

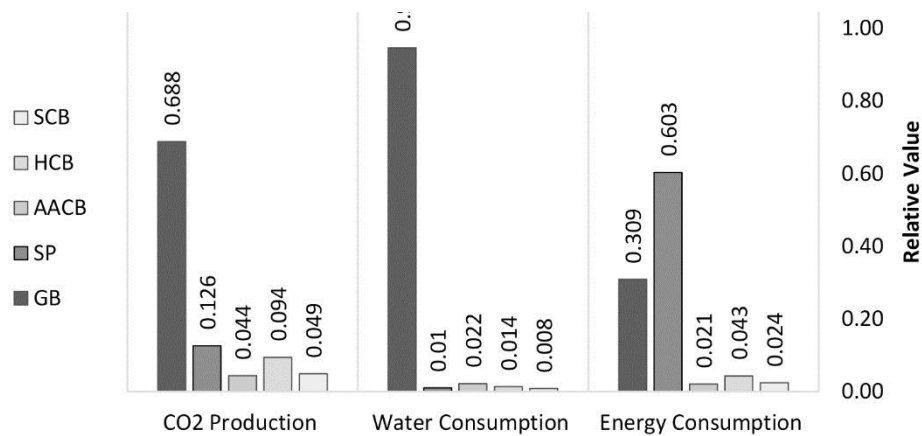


Figure 4. Relative values of alternatives

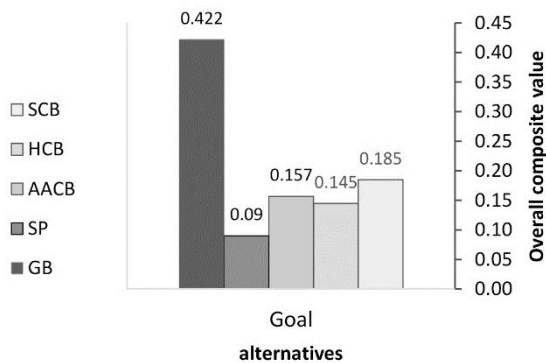


Figure 5. The final ranking of various separating wall systems

Regarding the criterion of “CO₂ production”, it can be said that despite the lower energy consumption in the production process of SP walls compared to GB walls, due to high consumption of cement, their relative value in producing harmful gases such as CO₂ was much lower. The relative value of the alternatives in terms of “thermal resistance” showed that GP walls had the highest resistance due to the use of thermal insulation in the central core and SC walls displayed the lowest heat resistance and highest heat exchange.

The relative values of the alternatives in terms of “aesthetics” also indicated that the AAC, SP, and GB walls had higher relative values due to their larger dimensions than SC and HC walls.

4. Conclusion

The results of this study showed that:

- New separating wall systems were better alternatives in terms of energy consumption, CO₂ production and water consumption.
- Gypsum boards and three-dimensional sandwich panel walls were identified as the best and worst separating wall systems in terms of eco-friendliness, respectively.
- Modern separating wall systems did not show a significant advantage over traditional wall systems in terms of using natural resource and raw materials.
- The final values of the selected alternatives for gypsum boards, solid clay bricks, autoclaved aerated concrete blocks, hollow clay bricks and sandwich panels were 0.422, 0.185, 0.157, 0.145 and 0.09, respectively as shown in Figure 5.

It was finally determined that gypsum boards are the most eco-friendly wall system among the five systems evaluated in this study.

Eco-Friendliness Evaluation of Separating Wall Systems in Iran Using TOPSIS Method

Hadi Madadi Ghollehzou,¹
Mohammadreza Tavakkolizadeh²
Shahnaz Danesh³

1. Introduction

Considering the role and position of separating wall systems in construction, in the present study the environmental effects of common separating wall systems in Iran was investigated. For this purpose, seven environmental parameters including energy, raw material and water consumption in construction process, CO₂ production, thermal resistance, waste produced and aesthetic of the wall systems were considered as evaluation criteria. Regarding these criteria and using the TOPSIS method, this study evaluated the five most common separating wall systems in Iran and determined the most compatible and eco-friendly system. Five different types of walls considered in this study were solid clay bricks (SCB), hollow clay bricks (HCB), autoclaved aerated concrete blocks (AACB), sandwich panels (SP) and gypsum boards (GB). Figure 1 shows the evaluated separating wall systems.

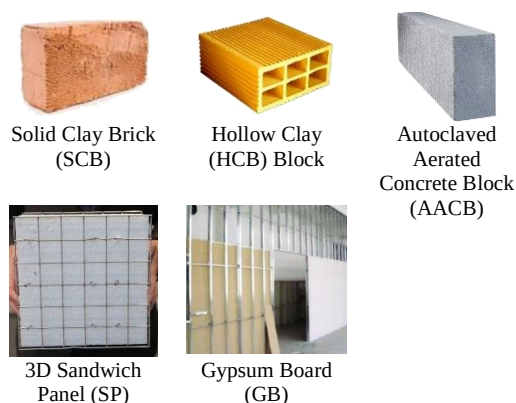


Figure 1. The evaluated separating wall systems

2. Method

The general principles of the TOPSIS method are defining the available alternatives and two hypothetical solutions and finding the optimal one in the process. These two solutions refer to a set of the best and worst values observed in the decision

matrix, which are known as positive ideal and negative ideal solutions, respectively. The optimal option in this method is the option that has the shortest distance from the positive ideal solution and at the same time the maximum distance from the negative ideal solution as shown in Figure 2.

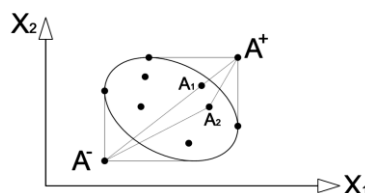


Figure 2. Basic concept of TOPSIS method

3. Data analysis

Figures 3 and 4 show the relative values of the alternatives in each criterion. The climatic realities of Iran have made the “water consumption” with a relative value of 0.195 the most important among the seven environmental criteria. On the other hand, “aesthetic” with a relative value of 0.049 was the least important in view of participant in this study.

One of the notable points of these two figures is the low relative value of AACB walls compared to new separating wall systems such as GB walls and SP in terms of energy consumption during construction.

The results related to the consumption of important resources and raw materials showed that the SP walls, despite having a high value in terms of challenging environment and sustainability, compared to other alternatives, due to its low value in terms of “risk of loss of raw material” and “possibility of recycling” has the lowest value among other alternatives. SCB walls, despite the high consumption of clay materials, have been selected as the best alternatives due to the low relative value of the sub-criterion of “usability in recycling” compared to other sub-criteria.

It was also observed that GB walls have the lowest “water consumption” and the highest relative value in relation to this criterion due to the lack of need for plastering.

1. Graduate Student, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
2. Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. Email: drt@um.ac.ir
3. Professor, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

In the next step, PCEs were calculated using Equation 2. Then the average of PCEs were proposed for each types of vehicles.

$$p_i = \frac{a_i}{a_1} \quad (2)$$

where, p_i is the passenger car unit value of the i^{th} vehicle type, and a_1 , a_2 , a_3 are the regression analysis coefficients for passenger car, motorcycle and heavy vehicle, respectively.

Then the one-sample t-test was used to determine whether our samples come from a population with a specific mean. The significance level of the test (sig.) indicated that the proposed mean PCE values are valid for each vehicle type.

4. Results

The results show that, multiple linear regression analysis is an appropriate method to calculate the PCEs in heterogeneous traffic conditions prevailing traffic flow in Iranian cities. In this study, PCE values for buses, minibuses, and motorcycles were estimated as 2.53, 1.45 and 0.46, respectively. It should be noted that when the proportion of passing buses and minibuses in traffic composition is low, they can be aggregated as “heavy vehicles” with an average PCE value of 2.13. Finally, the PCE values obtained from this research were compared with the corresponding PCE values suggested in the highway capacity manuals of several countries located in three different continents. This comparison indicated that the PCEs obtained in this research for the two Iranian cities are generally higher than those countries.

Determination of Equivalent Passenger Car Units for Motorcycles, Buses and Minibuses at Urban Signalized Intersections in Iran, Case Study: Isfahan and Yazd Cities

M. Dehghani-Zadeh¹

M. Fallah Tafti,^{*}

1. Introduction

Passenger Car Equivalent (PCE) is a factor that indicates the number of equivalent passenger cars that can be substituted with other vehicle types in traffic stream with the same effect on the roadway and traffic conditions. Differences at the performance characteristics of heavy vehicles and motorcycles cause a number of changes in traffic flow characteristics. One of the main methods, which creates a unified procedure in traffic flow analysis is to convert all types of vehicles to one equivalent type. This concept was first introduced in the 1965 edition of Highway Capacity Manual to estimate the impact of heavy vehicles on traffic flow. Since then, several methods have been proposed in different studies to estimate the PCE values for different vehicle types, that is, methods based on vehicles headway, volume-to-capacity ratio, speed, delay, optimization techniques, density-flow relationship, and regression analysis. In the absence of widespread studies on this subject and despite different prevailing traffic conditions in Iran in comparison to other countries and especially western countries, the previous traffic studies in Iran have mainly relied on the PCE values obtained from the highway codes of western countries. In this study, the PCE values are calculated for motorcycles, buses, and minibuses at urban signalized intersections of two major Iranian cities, namely, Isfahan and Yazd. For this purpose, the regression analysis method was chosen for estimating PCEs at signalized intersection under prevailing heterogeneous traffic conditions. The main purpose of this study was to estimate the appropriate PECs used for estimating saturation flow, determining the level of service and capacity at signalized intersections.

2. Data collection

In this study, Cochran formula was used to determine the sample size for an infinite population. Then data were collected from 8 entry approaches of 5 signalized intersections in Isfahan and Yazd cities. Vehicle entries (including

passenger cars, buses, minibuses, and motorcycles) were videotaped for 425 cycles at saturated green intervals. Data were collected during peak traffic periods (07:30 to 08:30 and 19:30 to 20:30).

3. Data analysis

Multiple linear regression analysis was used for the calculation of the PCE values. For this purpose, a multiple variable linear relationship was established between different types of passing vehicles and their corresponding saturation green times using SPSS software. First, the green phase was divided into 5-second intervals per cycle and vehicles, motorcycles, buses, and minibuses were counted, separately. Then the intervals, in which more than 3 PCE crossed the stop line, were considered as saturated green interval. At this step, the PCEs values, which are proposed by the Indian Road Guidelines were used. Then, the sum of saturation green time intervals per cycle, and the vehicle numbers passing through the approach during this intervals were calculated separately. Finally, a multiple relationship was established between this data as shown in Equation 1.

$$t = n_1 a_1 + n_2 a_2 + n_3 a_3 \quad (1)$$

Where,

n_i is the number of type i vehicles passed through the intersection in each cycle,

a_1, a_2, a_3 are regression analysis coefficients for passenger car, motorcycle and heavy vehicle, respectively, and t is total saturated green time per cycle.

All PCE values for heavy vehicles and motorcycles have been obtained at a %95 and %80 confidence levels, respectively. This motorcycle's reliability level is acceptable for saturation flow rate estimation.

The coefficients of the fitted model also indicate a strong correlation between the passing vehicles and the effective green time intervals at all approaches.

The F-test was also used to ensure the significance of the regression models ($\text{Sig.} < 0.05$). The Pearson correlation test was used to illustrate the relationship between paired variables. The results indicated that the variables are negligibly or weakly correlated. According to the results and considering the results of previous studies, the interactive effect between variables was ignored and it was assumed that all parameters operate independently.

¹ PhD Student, Civil Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran.

² Corresponding Author: Associate Professor, Civil Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran.
Email: Fallah.Tafti@Yazd.ac.ir

CONTENTS

Determination of Equivalent Passenger Car Unit for Motorcycles, Buses and Minibuses at Urban Signalized Intersections in Iran, Case Study: Isfahan and Yazd City	M. Dehghanizadeh – M. Fallah Tafti	1
Eco-Friendliness Evaluation of Separating Wall Systems in Iran Using TOPSIS Method	H. Madadi Ghollehzou - M.Tavakkolizadeh - S. Danesh	23
Evaluation of Soil Liquefaction Potential Due to Earthquake using Intelligent Classification Algorithm in Orange Software	H.Fattahi - F.Jiryae	39
Improvement the Behaviors of a Clay Soil Contaminated with Phenanthrene by Using MgO	M. Amini - A. Raeesi Estabragh J. Abdollahi Ali Beik	53
Identifying the Factors Affecting Vehicles Red-light Running at Traffic Light Intersections (Case Study: Rasht Metropolis)	I. Bargegol - S. Hassanjani - S. Fatemi S. A. Saadatjoo	67
Prioritization of traffic congestion control strategies in metropolitan areas, case study: Mashhad	M. Kadkhodaei - S. A. Ziaee - R. Shad	81



JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING FERDOWSI UNIVERSITY OF MASHHAD

Ferdowsi University of Mashhad

ISSN 2008-7454

General Director: F. Irani
Editor-Chief: M. R. Esfahani
Published: Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

M. Reza Esfahani	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
F. Irani	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
K. badv	Professor	Urmia University
J. Bolouri Bazaz	Associate Professor	Ferdowsi University of Mashhad
A. Pouya	Professor	Ecole des Ponts Paris tech
S. M. Hosseini	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
N. Hafezi Moghaddas	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
E. Seyedi Hosseininia	Associate Professor	Ferdowsi University of Mashhad
Sh. Danesh	Associate Professor	Ferdowsi University of Mashhad
Gh. Rakhshandehro	Professor	Shiraz University
M. H. Sebt	Professor	Amirkabir University of Technology
F. Shahabian Moghadam	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
A. Kavussi	Professor	Tarbiat Modares University
H. Ganji Doost	Professor	Tarbiat Modares University
M. Faghfour Maghrebi	Professor	Ferdowsi University of Mashhad
F. Moghadas Nejad	Professor	Amirkabir University of Technology
M. Kianoush	Professor	University of Ryerson

Text Editor: Yousef Bina
Typist: A. Noie – T. Hooshmand

Administrative Director: T. Hooshmand

Journal of Civil Engineering
Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
P. O. Box. 91775-1111, Mashhad, I.R.IRAN
Tel: +98 51 38806024; Fax: +98 51 38807384; Email: ejour@um.ac.ir
Web site: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir>



**Ferdowsi University
of Mashhad**

Journal of Ferdowsi Civil Engineering

Serial No. 35

ISSN 2783-2805

Determination of Equivalent Passenger Car Unit for Motorcycles, Buses and Minibuses at Urban Signalized Intersections in Iran, Case Study: Isfahan and Yazd City M. Dehghanizadeh - M. Fallah Tafti	1
Eco-Friendliness Evaluation of Separating Wall Systems in Iran Using TOPSIS Method H. Madadi Ghollehzou - M. Tavakkolizadeh - S. Danesh	23
Evaluation of Soil Liquefaction Potential Due to Earthquake using Intelligent Classification Algorithm in Orange Software H. Fattahi - F. Jiryaei	39
Improvement the Behaviors of a Clay Soil Contaminated with Phenanthrene by Using MgO M. Amini - A. Raeesi Estabragh - J. Abdollahi Ali Beik	53
Identifying the Factors Affecting Vehicles Red-light Running at Traffic Light Intersections (Case Study: Rasht Metropolis) I. Bargegol - S. Hassanjani - S. Fatemi S. A. Saadatjoo	67
Prioritization of Traffic Congestion Control Strategies in Metropolitan Areas, Case Study: Mashhad M. Kadkhodaei - S. A. Ziaee - R. Shad	81

Vol. 34, No. 3
Autumn, 2020