Civil and Project Journal, 2023, 5(2), 21-32
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.397298.1197

**Civil and Project Journal**
http://www.cpjournals.com/

*Case Study*

# Evaluation of Heavy and Semi-Heavy Cargo Fleets urban Restriction Policies (A Case Study of Traffic Red Zone of Heavy and Semi-Heavy Cargo Fleets in the Mashhad)

**Zahra Sartibi[1]*, Nafiseh Sadat Alavi[2], Mohsen Palizvan[3], Maryam Sokhan Sanj[4]**

1. Senior Expert in Transportation Planning, TOPEKA Consulting Engineers, Mashhad, Iran
2. Expert in Road and Transportation, TOPEKA Consulting Engineers, Mashhad, Iran
3. Technical and Development Deputy, Intra-City Cargo Transportation Management Organization, Mashhad, Iran
4. Expert in Transportation Studies, Intra-City Cargo Transportation Management Organization, Mashhad, Iran

Received: 13 April 2023; Revised: 15 May 2023; Accepted: 22 May 2023

## Abstract

According to the temporal-spatial limitation plan in Mashhad, the traffic of heavy and semi-heavy vehicles in certain areas of the city, which mainly includes the central area, is only allowed from 10:00 PM to 9:00 AM. This leads to the replacement of more light cargo vehicles with fewer heavy and semi-heavy cargo vehicles. On the other side, if this limitation plan is not applied, assuming the constant tonnage of the transported cargo, the number of pickups will decrease while the number of heavy and semi-heavy cargo vehicles will increase. However, the decrease in the number of pickups is more than the increase in the number of others. The main purpose of this study is to investigate the results of restrictions and changes in the composition of the cargo fleet from the traffic, environment and safety point of view. For this purpose, version 8.01 of Aimsun traffic simulator software was used. To evaluation of the effectiveness of the mentioned changes, two scenarios were simulated: the existing situation and the condition of not applying temporal-spatial restrictions. The results showed that in the case of applying restrictions, traffic, environmental and safety parameters are improved. But this improvement is very small. This can be seen as the result of two reasons: most of the road network in the central area of Mashhad is low-capacity with an inappropriate level of services, therefore, even if the restriction is not applied, heavy goods vehicles, except in necessary cases, don't willing to cross this area. Also, due to the weak control and the lack of enough smart equipment, the number of violations is high and this plan is not fully implemented.

## Keywords:

Temporal-spatial limitation plan; Heavy and semi-heavy cargo vehicles; Pickups; Traffic simulator; Mashhad city.

**Cite this article as:** Sartibi, Z., Alavi, N. S., Palizvan, M., & sokhansanj, M. (2023). Evaluation of Heavy and Semi-Heavy Cargo Fleets urban Restriction Policies (A Case Study of Traffic Red Zone of Heavy and Semi-Heavy Cargo Fleets in the Mashhad). *Civil and Project Journal*, *5*(2), 21-32. https://doi.org/10.22034/cpj.2023.397298.1197

**ISSN:** 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the authors.

**Open Access:** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

**Journal's Note:** CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

* Corresponding author E-mail address: *zahra.sartibii@yahoo.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۲، ۵(۲)، ۳۲-۲۱
https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.397298.1197

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

# ارزیابی طرح مدیریت تردد ناوگان باری سنگین و نیمه سنگین در شهرها (نمونه موردی: محدوده قرمز تردد ناوگان باری سنگین و نیمه‌سنگین در شهر مشهد مقدس)

زهرا سرتیبی[۱*]، نفیسه سادات علوی[۲]، محسن پالیزوان[۳]، مریم سخن‌سنج[۴]

۱- کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل ونقل، مهندسین مشاور توپکا، مشهد، ایران
۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، مهندسین مشاور توپکا، مشهد، ایران
۳- معاون فنی و توسعه سازمان مدیریت حمل و نقل بار درون شهری شهرداری، مشهد، ایران
۴- کارشناس مطالعات حمل و نقل و ترافیک سازمان مدیریت حمل و نقل بار درون شهری شهرداری، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۵ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۵ خرداد ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۸ خرداد ۱۴۰۲

## چکیده

بر اساس طرح مجوز مکانی- زمانی در شهر مشهد، تردد وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین در محدوده های مشخصی از شهر که عمدتاً شامل محدوده مرکزی می شود، تنها از ساعت ۲۲ الی ۹ روز بعد مجاز است. این امر موجب جایگزین شدن تعداد بیشتر وسایل نقلیه باری سبک با تعداد کمتر وسایل نقلیه باری سنگین و نیمه سنگین می شود و در صورت عدم اعمال طرح محدودیت زمانی – مکانی، با فرض ثابت ماندن تناژ بار جابجا شده، تعداد وانت ها کاهش یافته و تعداد وسایل نقلیه باری سنگین و نیمه سنگین افزایش می یابد. لیکن، میزان کاهش در تعداد وانت ها بیشتر از تعداد افزایش در تعداد سایرین است. هدف از این مطالعه بررسی نتایج اعمال محدودیت و تغییر در ترکیب ناوگان باری از نقطه نظر ترافیکی، زیست محیطی و ایمنی است. بدین‌منظور از نسخه ۸,۰۱ نرم افزار شبیه ساز ترافیکی ایمسان استفاده شده است. در خصوص اثرسنجی تغییرات مذکور، دو سناریو شرایط وضع موجود و شرایط عدم اعمال محدودیت زمانی – مکانی شبیه سازی گردید و نتایج حاصل نشان داد که اگرچه در حالت اعمال محدودیت مکانی-زمانی، پارامترهای ترافیکی، زیست محیطی و ایمنی به بهبود می یابد اما این بهبود به میزان بسیار اندکی می باشد. این نتیجه را می توان ناشی از دو علت دانست: در بافت محدوده مرکزی شهر مشهد، شبکه معابر کم ظرفیت و سطح سرویس نامناسب می باشد، لذا حتی در صورتی که محدودیت اعمال نشود، وسایل نقلیه باری سنگین به جز در موارد ضروری تمایلی به عبور از این محدوده ندارند. همچنین با توجه به کنترل و اعمال قانون ضعیف و عدم در اختیار داشتن تجهیزات هوشمند کافی، تعداد تخلفات بالا بوده و این محدودیت به طور کامل اجرا نمی شود.

## کلمات کلیدی

محدودیت زمانی- مکانی، وسایل نقلیه باری سنگین و نیمه سنگین، وسایل نقلیه باری سبک، شبیه سازی ترافیکی، شهر مشهد

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: zahra.sartibii@yahoo.com

## ۱- مقدمه

تردد روزانه وسایل نقلیه باری در محدوده شهرها به‌خصوص در قسمت‌های مرکزی شهر، مشکلاتی برای شهروندان ایجاد می‌کند. عمده وسایل نقلیه باری در شهر شامل انواع وانت ،کامیونت و کامیون‌ها هستند. تردد این وسایل در شهرها مشکلاتی را به وجود می‌آورد که از آن جمله می‌توان به آلودگی صوتی، محدودیت گردش در معابر و نبود جای پارک برای این وسایل نقلیه اشاره کرد. از طرفی، وجود کامیون در معابر شهری به دلیل نداشتن دید کافی که از خصوصیات فیزیکی این وسایل ناشی می‌شود، باعث کاهش ایمنی استفاده‌کنندگان آسیب‌پذیر راه مثل عابر پیاده، موتورسیکلت و حتی وسایل نقلیه سبک شده و به دلیل جرم بالا، شدت تصادفات افزایش می‌یابد. آلودگی‌های زیست‌محیطی شامل مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها، ازن و ذرات معلق که شامل ذرات گرد و غبار ، آلودگی صوتی و ... می‌باشد. بنابراین با توجه به موارد و مشکلات بیان شده، لزوم سامان‌دهی تردد وسایل نقلیه باری در محدوده مرکزی شهر مشهد وجود دارد. لذا مطابق دستورالعمل مدیریت تردد ناوگان باری، در محدوده قرمز تنها در ساعات ۱۰ شب تا ۹ صبح، آن هم با اخذ مجوز موردی با سقف ۸۰۰ مجوز در روز، مجاز است. مطابق طرح مجوز زمانی- مکانی وسایل نقلیه سنگین در شکل (۱)، سه محدوده برای تردد این وسایل در جدول (۱) ارائه شده است. لذا انتظار تغییر ترکیب ناوگان باری از سنگین و نیمه‌سنگین به سبک وجود دارد و انجام مطالعه ارزیابی ضروری است تا اثرسنجی اجرای طرح بر شاخص‌های ترافیکی، مصرف سوخت، آلاینده‌های زیست‌محیطی و ... در معابر مرکزی شهر مشهد را بسنجد.

**جدول ۱**- محدوده طرح مجوز زمانی- مکانی وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین.

| محدوده | زمان |
|---|---|
| قرمز | از ساعت ۲۲ الی ۹ روز بعد |
| زرد | از ساعت ۲۱ الی ۱۱ روز بعد و از ساعت ۱۵ الی ۱۷ |
| سبز | از ساعت ۲۱ الی ۱۷ روز بعد |

**شکل ۱- محدوده طرح مجوز زمانی- مکانی وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین** (مهندسین مشاور آتیه‌ساز، ۱۳۸۸).

## ۲- سابقه تحقیق

امروزه یکی از مشکلات اصلی کلان‌شهرها افزایش شدید آلودگی هوا است. جریان ترافیک نیز مهم‌ترین عامل افزایش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در مناطق درون‌شهری به شمار می‌رود، بنابراین مدیریت ترافیک می‌تواند به طور چشمگیری غلظت این آلاینده‌ها را کاهش دهد. براساس گزارش بانک جهانی، در مجموع، خسارات سالیانه آلودگی هوا در ایران یک هزار و ۸۱۰ میلیون دلار معادل ۱۴ هزار و ۴۲۰میلیارد ریال است (جوانبخت، ۱۳۹۵).

مدل شبیه‌سازی ترافیک، چگونگی رفتار ترافیک را در یک دوره زمانی و برای سیستم یا تسهیلات حمل‌و نقلی معین تشریح می‌کند. مزیت استفاده از شبیه‌سازی در سیستم حمل‌ونقل، توانایی آن در آزمایش و ارزیابی سیستم، بدون ایجاد اختلال در ترافیک وضع موجود است. کاهش زمان دریافت نتایج، افزایش سرعت مطالعات و درنظرگیری پویایی جریان ترافیک از مزایای اصلی شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود. درنظرگیری پارامتر زمان، به بررسی تغییرات متغیرها در بازه‌های مختلف زمانی کمک می‌کند، درحالی‌که در روش‌های تحلیلی نمی‌توان روند تغییرات متغیرها را در طول زمان تعیین نمود (صبور، ۱۳۹۶). با توجه به پیچیدگی رابطه بین جریان ترافیک و انتشار آلاینده‌ها، استفاده از شبیه‌سازی ترافیکی به منظور برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها از جریان ترافیک ضروری به نظر می‌رسد.

در یکی از مطالعات مشابه، وضعیت جریان ترافیک و آلودگی هوای یک شبکه ترافیکی در قسمتی از منطقه ۷ شهرداری تهران، تحت تأثیر وسایل نقلیه سنگین با استفاده از نرم‌افزار ایمسان بررسی گردیده و میزان انتشار آلاینده‌های مختلف، زمان تأخیر، زمان توقف و میانگین سرعت جریان ترافیک تحت حضور وسایل نقلیه سنگین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شبکه ترافیکی مورد مطالعه با دو سناریوی ترافیکی مختلف، یک بار با حضور وسایل نقلیه سنگین و بار دیگر بدون حضور وسایل نقلیه سنگین به منظور بررسی تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر کیفیت جریان ترافیک و میزان انتشارآلاینده‌های مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به افزایش ۱۱ و ۱۲ درصدی غلظت آلاینده‌های $CO_2$ و PM و افزایش ۲۱ درصدی نرخ زمان سفر، افزایش ۲۹ درصدی نرخ زمان تأخیر در شبکه، کاهش ۲۳ درصدی از میانگین سرعت جریان ترافیک و افزایش ۶ درصدی میزان مجموع مصرف سوخت تحت حضور وسایل نقلیه سنگین اشاره کرد. سایر نتایج نیز در جدول (۲) ارائه شده است (قائمی، ۱۳۹۳).

**جدول ۲**- نتایج ۲۴ ساعت شبیه‌سازی شبکه مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین (قائمی، ۱۳۹۳).

| معیارهای سنجش نحوه عملکرد | بدون حضور وسایل نقلیه سنگین | با حضور وسایل نقلیه سنگین | درصد تغییرات |
|---|---|---|---|
| نرخ میزان تأخیر در شبکه (ثانیه بر کیلومتر) | ۲۰۹,۸۵ | ۲۶۹,۹۹ | ۲۹ |
| نرخ میزان توقف در شبکه (ثانیه بر کیلومتر) | ۱۹۵,۵۹ | ۲۵۱,۴۸ | ۲۹ |
| میانگین زمان سفر برای هر خودرو (ثانیه) | ۳۹۴,۰۳ | ۴۷۵,۲۲ | ۲ |
| زمان کل سفرها در شبکه (کیلومتر) | ۳۰۷۸۱,۶۸ | ۳۱۲۹۲,۴۱ | ۲۱ |
| طول کل سفرها در شبکه (کیلومتر) | ۳۹۸۵۴۱,۹۵ | ۳۲۷۹۷۸,۹ | -۱۸ |
| میانگین سرعت در شبکه (کیلومتر بر ساعت) | ۲۸,۸۸ | ۲۲,۳۲ | -۲۳ |
| مجموع مصرف سوخت در شبکه (لیتر) | ۷۳۸۱۱,۱۵ | ۷۸۰۸۹,۸۳ | ۶ |
| مجموع انتشار آلاینده HC (کیلوگرم) | ۱۷۶۹۵,۸۴ | ۱۹۶۷۸,۲۷ | ۱۱ |
| میانگین نرخ انتشار آلاینده $CO_2$ (گرم بر کیلومتر) | ۲۷۱۳,۲۱ | ۳۰۱۳,۲۱ | ۱۱ |
| میانگین نرخ انتشار آلاینده NOx (گرم بر کیلومتر) | ۰,۸۶ | ۱,۹۰ | ۱۲۱ |
| میانگین نرخ انتشار آلاینده PM (گرم بر ثانیه) | ۷۷,۰۲ | ۸۶,۳۴ | ۱۲ |
| میانگین نرخ انتشار آلاینده VOC (گرم بر کیلومتر) | ۱۰,۳ | ۶,۷۳ | -۳۵ |

بررسی آلاینده‌های منتشر شده از وسایل نقلیه سنگین و سبک در ۱۲ نقطه‌ی تجاری اصلی در شهر ایمفال هند نیز نشان می-دهد، در مورد وسایل نقلیه سبک باری، آلاینده‌های $C_xH_y$ و $CO$ در مقایسه با حد مجاز استاندارد، میزان انتشار یالاتر در حدود ۴۳۰ppm و ۴۶۵,۴ ppm داشته و پس از آن آلاینده $NO_x$ در جایگاه سوم با نرخ ۹۹,۲ ppm قرار دارد. اما در مورد وسایل نقلیه سنگین، آلاینده‌های $C_xH_y$ و $CO$ میزان انتشار خیلی بالاتر در حدود ۱۵۸۵ ppm و ۲۹۶۸ ppm و $NO_x$ در حدود ۱۴۰,۶ ppm داشته است. در مورد آلاینده $CO_2$، میزان انتشار از وسایل نقلیه سنگین حدود $۱۱۳۵*۱۰^{۵}$ تن و از وسایل نقلیه سبک حدود $۳۸,۰۲*۱۰^{۵}$ تن تا سال ۲۰۱۸ بوده است. بر این اساس سهم وسایل نقلیه سنگین و سبک در تولید آلاینده $C_xH_y$ به ترتیب ۷۶,۹٪ و ۲۳,۱٪ ، آلاینده $CO$ به ترتیب ۶۹,۳٪ و ۳۰,۷٪ و آلاینده $NO_x$ به ترتیب ۵۸,۵٪ و ۴۱,۵٪ می‌باشد (شرودر، ۲۰۱۴).

از دیدگاه ایمنی، از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در وقوع تصادفات ناوگان باری، می‌توان به سن و میزان ساعات کارکرد راننده اشاره کرد. براساس داده‌های تصادفات و تخلفات کامیون در شهر ویومینگ آمریکا، تخلفات رانندگان ناوگان سنگین در ۷ گروه شامل تخلف سرعت، نبستن کمربند ایمنی، مصرف الکل یا دارو، رانندگی پرخطر، ساعات کار پیاپی، تخلفات فنی مربوط به خودرو و سایر تخلفات دسته‌بندی گردید. این داده‌ها در دو مدل بررسی گردید. مدل اول، بررسی عواملی مؤثر در افزایش احتمال تصادفات جرحی/فوتی یک کامیون و چند وسیله و مدل دوم، بررسی تخلفاتی که مربوط به عملکرد راننده می‌باشد و می‌تواند منجر به تصادف شود. مدل سازی با استفاده از رگرسیون لجستیک به منظور بررسی تأثیر پارامترهایی نظیر: رانندگی روی سطح جاده خشک و حواس پرتی راننده و واژگونی، عدم توقف و رعایت نکردن ساعات مجاز رانندگی و رانندگی در روزهای آخر هفته انجام شده است. بررسی مدل اول نشان می‌دهد که رانندگی روی سطح جاده خشک و حواس‌پرتی راننده و واژگونی از عواملی هستند که باعث تصادفات کامیون‌ها می‌شوند و عدم تبعیت از سرعت مجاز عواملی هستند که احتمال جراحت و تلفات را در تصادف افزایش می‌دهند. در مدل دوم، تخلفات مرتبط با رانندگان پرخطر از علل اصلی تصادف کامیون‌ها می‌باشند. نتایج تخلفات نشان می‌دهد که عدم توقف و رعایت نکردن ساعات مجاز رانندگی و رانندگی در روزهای آخر هفته می‌تواند ریسک وقوع تصادفی که کامیون در آن باشد را افزایش دهد. در نهایت از بین متغیرهای ارزیابی شده، ۱۰ متغیر بامعنی شناخته شد که از بین آن‌ها می‌توان به کاربری محیط اطراف و زمان تصادف اشاره نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که رانندگی در منطقه غیرمسکونی و رانندگی در ساعات غیر اوج و در آخر هفته می‌تواند ریسک تصادفاتی که در آن کامیون‌ها مقصر هستند را افزایش دهد (مقدری، ۱۳۹۸).

مطابق آمار موجود در ایران، انواع وسایل نقلیه سنگین بیش از ۸ درصد در سوانح رانندگی راه‌ها نقش دارند. بر این اساس، سهم انواع تریلی در صحنه تصادفات ۳,۲ درصد، سهم انواع کامیون ۵,۵ درصد و سهم انواع کمپرسی در تصادفات ۰,۵۵ درصد بوده است. از آن‌جایی که این وسایل نقلیه بیشترین تردد را در ساعات شب انجام می‌دهند، بنابراین خواب‌آلودگی و نبود دید کافی سهم زیادی از تصادفات را دربرمی‌گیرد.

همچنین آمارها نشان می‌دهد که سهم انواع وانت پیکان ۵,۲۸ درصد، وانت نیسان ۴,۵۵ درصد و وانت مزدا ۱درصد در صحنه تصادفات بوده است، که بازهم نشانگر سهم بالای خودروهای باری در راه‌ها است (درگاه خبری تین نیوز، ۱۴۰۰).

مطالعه دیگری نشان داده است که با حضور برابر در ترافیک، میزان پتانسیل کامیون‌ها در خطر پذیری تصادفات از سایر وسایل نقلیه بالاتر بوده است؛ این بدین معناست که اگرچه تعداد کامیون‌ها نسبت به سواری‌ها کمتر است اما پتانسیل آن‌ها در ایجاد تصادفات جاده‌ای با توجه به حجم کمترشان، بیشتر است. پتانسیل خطرپذیری وسایل نقلیه مختلف عبارتند از: کامیون حدود ۴۱درصد، اتوبوس حدود ۳۱ درصد ، وانت حدود ۱۹درصد و سواری حدود ۱۰درصد دارای پتانسیل خطر پذیری می‌باشد. وسایل نقلیه اتوبوس، وانت و سواری به ترتیب دارای پتانسیل ایجاد تصادفات کمتری هستند. همچنین عدم

توجه به جلو و انحراف به چپ در کامیون‌ها و عدم توجه به جلو در اتوبوس‌ها حایز اهمیت بیشتری می‌باشند. در وانت، انحراف به چپ از عوامل عمده ایجاد تصادف است (نعیمی، ۱۳۹۵).

## ۳- روش تحقیق

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی آثار ترافیکی و زیست‌محیطی طرح محدودیت زمانی- مکانی ناوگان باری در محدوده مرکزی شهر مشهد، روش شبیه‌سازی با نرم‌افزار ایمسان و به منظور بررسی اثر طرح مذکور بر ایمنی معابر، تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مطالعات پیشین صورت گرفته است.

### ۳-۱- محدوده شبیه‌سازی

با هدف بررسی آثار ترافیکی و زیست محیطی اعمال محدودیت زمانی- مکانی در محدوده قرمز شهر مشهد که پیش‌تر توضیح داده شد، ابتدا معابر محدوده شناسایی گردید. معابر مورد مطالعه به همراه درجه عملکردی در شکل (۲) نمایش داده شده است. محدوده مطالعاتی شامل یک شبکه خطی بلوار ملک‌الشعرا بهار، احمدآباد، ملک آباد و وکیل آباد و یک شبکه محدوده مرکزی شهر مشهد می‌باشد.

### ۳-۲- برآورد تغییرات در ترکیب وسایل نقلیه باری از وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین به وسایل نقلیه سبک باری با اجرای طرح محدوده زمانی- مکانی

با توجه به اینکه هدف این مطالعات، بررسی تأثیر اعمال محدودیت زمانی- مکانی است، بایستی بررسی شود که جایگزینی وسایل نقلیه باری سنگین با تعداد بیشتری از وسیله نقلیه باری سبک، از نقطه نظرات مختلف، نتیجه بهتری را در بردارد یا خیر. بنابراین، لازم است که ترکب وسایل نقلیه باری بدون اعمال محدودیت تخمین زده شود. لیکن ذکر این نکته ضروری است که حذف کامل وسایل نقلیه باری سنگین امکان‌پذیر نمی‌باشد و برخی از اقلام ضروری قابلیت انتقال به وانت‌ها را ندارند. به همین دلیل در این طرح امکان اخذ مجوزهای موردی و مدت‌دار فراهم شده است. از طرفی با استفاده از روابط تئوری و مقایسه ظرفیت ناوگان نمی‌توان به این موضوع پی برد که در صورت عدم اجرای این طرح، چند درصد از ناوگان باری سبک به سنگین انتقال می‌یابد. بنابراین راه حل پی بردن به این تغییرات استفاده از آمار تردد و ترکیب ناوگان پیش از اعمال طرح و پس از آن است.

بدین‌منظور با توجه به این‌که در حال حاضر محدودیت مورد مطالعه اعمال می‌شود، جهت دستیابی به ترکیب تردد ناوگان باری، اقدام به آماربرداری میدانی در محدوده قرمز گردید. همچنین، برای دستیابی به وضعیت تردد ناوگان باری بدون اعمال محدودیت نیز از مطالعات پیشین استفاده گردید. زیرا پیش‌تر آماربرداری گسترده‌ای در مطالعات جامع حمل‌ونقل بار شهر مشهد صورت گرفته و نتایج آن ارائه شده بود (مطالعات حمل‌ونقل بار شهر مشهد، ۱۳۹۰). لازم به ذکر است، به دلیل متفاوت بودن ترکیب ترافیک و سایر ویژگی‌های کاربری و محیطی در دو محدوده قرمز مرکزی (شامل درون حلقه مرکزی) و محدوده قرمز خطی شامل معابر بهار، احمدآباد، ملک آباد و وکیل‌آباد، این دو محدوده جداگانه مورد تحلیل قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از مقایسه اعمال و عدم اعمال طرح محدودیت مکانی-زمانی، در جدول (۳) ارائه شده است.

**شکل ۲**- نقشه محدوده قرمز و سلسله مراتب عملکردی معابر مورد مطالعه.

**جدول ۳**- مقایسه ترکیب ناوگان باری قبل و بعد اعمال محدودیت مکانی – زمانی.

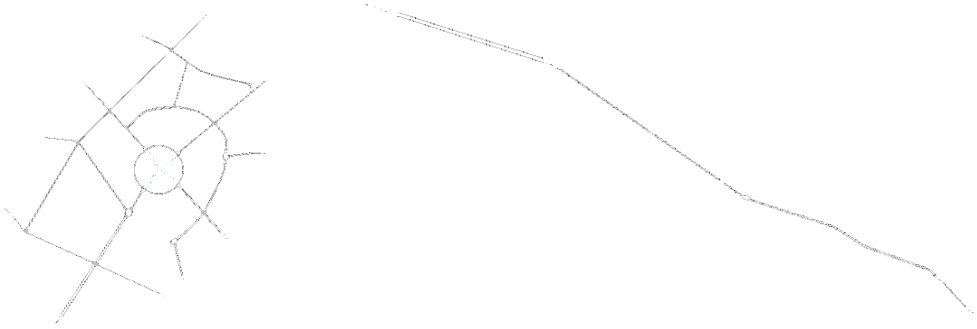
| محدوده قرمز مرکزی | | | | محدوده قرمز خطی | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نوع وسیله نقلیه باری | ورود/ خروج | درصد پیش از محدودیت | درصد پس از محدودیت | نوع وسیله نقلیه باری | ورود/ خروج | درصد پیش از محدودیت | درصد پس از محدودیت |
| وانت | ورودی | ۹۱/۹ | ۹۴/۷ | وانت | ورودی[1] | ۸۴/۴ | ۸۹/۸ |
| | خروجی | ۹۱/۴ | ۹۳/۶ | | خروجی[2] | ۸۴/۳ | ۸۵/۱ |
| کامیون دو محور | ورودی | ۶/۲ | ۵/۳ | کامیون دو محور | ورودی | ۱۰/۷ | ۹/۵ |
| | خروجی | ۶/۷ | ۵/۳ | | خروجی | ۱۰/۶ | ۱۳/۴ |
| کامیون سه محور | ورودی | ۱/۶ | ۰/۰ | کامیون سه محور | ورودی | ۳/۸ | ۰/۶ |
| | خروجی | ۱/۵ | ۱/۱ | | خروجی | ۳/۱۳ | ۱/۵ |
| سایر | ورودی | ۰/۴ | ۰/۰ | سایر | ورودی | ۱/۰ | ۰/۰ |
| | خروجی | ۰/۳ | ۰/۰ | | خروجی | ۱/۹ | ۰/۰ |
| باری سنگین | ورودی | ۸/۱ | ۵/۳ | باری سنگین | ورودی | ۱۵/۶ | ۱۰/۲ |
| | خروجی | ۸/۶ | ۶/۴ | | خروجی | ۱۵/۷ | ۱۴/۹ |

[1] غرب به شرق
[2] شرق به غرب

با توجه به نتایج جدول بالا درصد ورود وسایل نقلیه باری سنگین پس از اعمال طرح کاهش پیدا کرده است و حتی برخی از وسایل نقلیه کلاً وارد محدوده نشده‌اند. همچنین، درصد وانت افزایش داشته است.

## ۳-۳- شبیه‌سازی به منظور اثرسنجی طرح محدوده زمانی- مکانی

در گام بعد، به شبیه‌سازی تغییرات ایجاد شده ناشی از تغییر در ترکیب ناوگان از نقطه نظر ترافیکی و آلودگی هوا با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیکی ایمسان نسخه ۸,۰۱ برای دو حالت بدون محدودیت مکانی – زمانی و با وجود آن پرداخته می‌شود. جهت مدل‌سازی شبکه‌ها به روش ماتریس OD (مبدأ – مقصد) عمل شده است. در فرایند کالیبراسیون نرم‌افزار ویژگی‌های هندسی معابر تدقیق شده‌اند و سعی شده است هندسه و شعاع گردش معابر در خطوط مستقیم و در محل گردش‌ها مطابق با واقعیت در نظر گرفته شود. همچنین ظرفیت معابر بر اساس عرض معابر و درجه عملکردی آن وارد شده است.



**شکل ۳**- شبکه شماره ۱ (سمت راست) و ۲ (سمت چپ) در شبیه‌سازی.

در خصوص ترکیب وسایل نقلیه، به دلیل هدف پروژه که در نظر گرفتن تأثیر وسایل نقلیه باری سنگین و سبک است، از شبیه‌سازی تمام وسایل نقلیه به‌صورت همسنگ سواری اجتناب شده است و سه دسته وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. دسته اول وسایل نقلیه همسنگ سواری، دسته دوم وانت و دسته سوم وسایل نقلیه باری سنگین. وسایل نقلیه همسنگ سواری شامل سواری، تاکسی، مینی‌بوس و ون، اتوبوس واحد، اتوبوس غیرواحد، موتور و دوچرخه هستند که به همگی با اعمال ضرایب

جدول (۴) به‌صورت همسنگ سواری در نظر گرفته شده‌اند. دسته دوم وانت‌ها هستند که میانگینی از خصوصیات وانت پراید، وانت پیکان، وانت نیسان بر اساس درصد فراوانی آن‌ها در نظر گرفته شده و در نهایت وسایل نقلیه سنگین شامل وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین مانند کامیونت، کامیون دو محور و سه محور، تانکر، تریلی و ... می‌باشد. در نهایت، در مدل‌سازی شبکه رفتارهای ترافیکی در محل‌های انتخاب خطوط حرکتی نیز کالیبراسیون شده و مطابق با شرایط واقعی تغییر یافته است.

**جدول ۴**- ضرایب همسنگ سواری انواع وسایل نقلیه (آمارنامه حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد، ۱۴۰۰).

| سواری | تاکسی | وانت | مینی‌بوس | اتوبوس واحد | اتوبوس غیرواحد | موتور و دوچرخه | وسایل نقلیه سنگین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۵ | ۲,۵ | ۰,۵ | ۲,۵ |

در فرایند شبیه‌سازی ترافیکی این مطالعات دو سناریو درنظرگرفته می‌شود. سناریوی اول شبیه‌سازی ساعت اوج باری در وضع موجود و با استفاده از آمار تردد حاصل از آماربرداری میدانی می‌باشد. در سناریو اول، اثر محدودیت زمانی – مکانی تردد وسایل نقلیه باری نیمه‌سنگین و سنگین در نظر گرفته می‌شود. سناریو دوم اما با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مطالعات طرح جامع، شبکه برای حالتی شبیه‌سازی می‌شود که محدودیت زمانی – مکانی وجود نداشته باشد. ماتریس OD (مبدأ-مقصد) به صورت جداگانه برای محدوده قرمز مرکزی و محدوده قرمز خطی ساخته می‌شود.

در ساخت ماتریس‌ها ترکیب سه نوع وسایل نقلیه در تظر گرفته شده است. همان‌طور که گفته شد، وسایل نقلیه همسنگ سواری، وانت و وسایل نقلیه باری سنگین. ماتریس وانت تنها شامل تردد وسیله نقلیه وانت اعم از وانت پراید، وانت پیکان، وانت نیسان و انواع دیگر وانت است و در نهایت ماتریس وسایل نقلیه سنگین شامل وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین مانند کامیونت، کامیون دو محور و سه محور، تانکر، تریلی و ... می‌باشد.

در سناریو دوم، بایستی شبکه‌ها برای حالتی که فرض می‌گردد هیچ محدودیت زمانی – مکانی برای ورود و خروج وسایل نقلیه باری سنگین و نیمه‌سنگین وجود ندارد، شبیه‌سازی شود. در این صورت فرض می‌شود که میزان تناژ بار جابجا شده در دو سناریو یکسان خواهد بود. بنابراین ماتریس همسنگ سواری در سناریوی دوم برابر با سناریو اول است. لیکن ترکیب وسایل نقلیه باری تغییر کرده و انتظار می‌رود از سهم وانت کاسته شده و به سهم وسایل نقلیه باری سنگین اضافه شود. با توجه به مقادیر جدول (۳)، در محدوده شماره ۱ (خطی)، به‌صورت میانگین، سهم وانت ۳,۱ درصد افزایش داشته و به همان میزان سهم وسایل نقلیه باری سنگین کاهش داشته است. اما در محدوده شماره ۲ (مرکزی)، به‌صورت میانگین سهم وانت ۲,۱ درصد افزایش یافته و از سهم وسایل نقلیه باری سنگین به همین میزان کاسته شده است.

لیکن توجه به این نکته ضروری است که با انتقال سهم وانت به کامیون، تعداد وسایل نقلیه باری از کل کاهش پیدا می‌کند. زیرا هر وسیله نقلیه باری معادل چندین وانت ظرفیت جابجایی بار دارد. لذا بایستی تعداد وسایل نقلیه باری همسنگ وانت محاسبه شده و در دو سناریو ثابت فرض شود. سرانه حمل بار وانت ۵۲۶، کامیونت ۹۶۴ و کامیون ۳۷۵۰ کیلوگرم است. همچنین طبق آماربرداری صورت گرفته، ۹۲ درصد از وسایل نقلیه باری شمارش شده نیمه‌سنگین بوده و ۸ درصد شامل سنگین می‌شوند. درصد تریلی و کامیون‌های ۱۸ چرخ نیز به صفر میل می‌کند. بنابراین میانگین سرانه حمل بار وسایل نقلیه باری سنگین و نیمه‌سنگین ۱۱۸۷ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس:

کامیون = ۲,۲۶ وانت (1)

وانت ۷۳۰,۶۲ = کامیون ۱۳۷ + وانت ۴۲۱ (2)

یعنی در سناریوی اول، ۷۳۰,۶۲ وسیله نقلیه باری همسنگ وانت وجود دارد که بایستی در سناریو دوم پس از کاهش سهم وانت و افزایش سهم کامیون، این مقدار ثابت بماند.

در نهایت تخصیص ترافیک توسط نرم‌افزار ایمسان در دو سناریو به روش تعادلی انجام می‌گیرد.

## ۴- نتایج تحقیق

نتایج در قالب سه بخش اثرسنجی ترافیکی، زیست‌محیطی و ایمنی بیان می‌گردد.

### ۴-۱- اثرسنجی ترافیکی

طبق محاسبات صورت گرفته، در دو سناریوی با وجود محدودیت مکانی – زمانی و بدون آن، تغییرات مطابق جدول (۵) در خصوص تعداد وسایل نقلیه باری حاصل می‌شود.

**جدول ۵**- تغییرات در تعداد وسایل نقلیه باری.

| محدوده | نوع وسیله باری | تعداد خودروها با وجود محدودیت مکانی- زمانی | تعداد خودروها بدون وجود محدودیت مکانی- زمانی | تغییرات در صورت عدم اعمال طرح مکانی - زمانی |
|---|---|---|---|---|
| خطی | وانت | ۴۲۱ | ۴۰۴ | ۱۷ عدد کاهش |
| | سنگین‌سنگین و نیمه | ۱۳۷ | ۱۴۴ | ۷ عدد افزایش |
| مرکزی | وانت | ۳۰۲ | ۲۹۴ | ۸ عدد کاهش |
| | سنگین‌سنگین و نیمه | ۱۸ | ۲۲ | ۴ عدد افزایش |

برخی از پارامترهای مهم ترافیکی حاصل از شبیه‌سازی به شرح جدول (۶) است.

**جدول ۶**- نتایج شبیه سازی پارامترهای ترافیکی.

| پارامتر | شبکه خطی | | | شبکه مرکزی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | وجود محدودیت مکانی- زمانی | بدون محدودیت مکانی- زمانی | تغییرات | وجود محدودیت مکانی- زمانی | بدون محدودیت مکانی- زمانی | تغییرات |
| زمان تأخیر (sek/km) | ۳,۰۵ | ۳,۴۷ | ۰,۴۲ افزایش | ۲۰۱,۰۶ | ۲۰۱,۱۱ | ۰,۰۵ افزایش |
| چگالی (veh/km) | ۱۴,۸۰ | ۱۵,۰۰ | ۰,۲۰ افزایش | ۳۱,۶۷ | ۳۱,۴۶ | ۰,۲۱ کاهش |
| سرعت (km/h) | ۷۴,۶۳ | ۷۴,۲۳ | ۰,۴ کاهش | ۲۶,۳۸ | ۲۶,۳۷ | ۰,۰۱ کاهش |
| زمان سفر (sek/km) | ۴۸,۷۳ | ۴۹,۱۵ | ۰,۴۲ افزایش | ۲۵۹,۳۶ | ۲۵۹,۳۹ | ۰,۰۳ کاهش |

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با فرض عدم اعمال محدودیت مکانی – زمانی، در مجموع شبکه مرکزی و شبکه خطی، به ازای افزایش ۱۱ عدد خودروی سنگین و نیمه‌سنگین در برابر کاهش ۲۵ عدد وانت، زمان تأخیر حدود ۱۴ درصد افزایش، چگالی حدود ۱ درصد افزایش، سرعت حدود ۱ درصد کاهش و زمان سفر ۱ درصد افزایش یافته است.[۱]

لیکن در محدوده مرکزی به دلیل تغییر نامحسوس تعداد وسایل نقلیه باری در صورت عدم وجود محدودیت، تغییرات قابل توجهی در پارامترهای شبکه حاصل نمی‌گردد و نتایج حاصله بیشتر تحت تأثیر محدوده خطی است. دلایل این امر را می‌توان اینطور بیان نمود که در محدوده مرکزی به دلیل تراکم شبکه، شبکه معابر کم ظرفیت و سطح سرویس نامناسب، حتی در صورتی که محدودیت اعمال نشود، وسایل نقلیه باری سنگین به جز در موارد ضروری وارد محدوده قرمز مرکزی نمی‌شوند. که در وضع موجود نیز غالباً از طریق اخذ مجوز موری این تردد صورت می‌گیرد. لذا سهم وسایل نقلیه باری سنگین از وسایل نقلیه

[۱] به دلیل معادل بودن طول دو شبکه (در حدود ٤٠ کیلومتر خط عبوری در هر یک از آن‌ها)، درصد تغییرات جمع شده است.

باری در هر صورت در این محدوده پایین است و معابر آن به عنوان معابر عبوری محسوب نمی‌شوند. همچنین، به‌دلیل اینکه کنترل عدم ورود وسایل نقلیه سنگین تنها از طریق نیروی انسانی و گشت‌های محدود صورت می‌پذیرد، تخلفات بسیاری اتفاق می‌افتد.

### ۴-۲- اثرسنجی زیست‌محیطی

به دلیل ناچیز بودن تغییرات در شبکه مرکزی، تغییرات پارامترهای زیست‌محیطی تنها در شبکه خطی مورد بررسی قرار گرفته است.

**جدول ۷**- نتایج شبیه سازی پارامترهای ترافیکی.

| پارامتر | شبکه خطی | | |
|---|---|---|---|
| | وجود محدودیت مکانی- زمانی | بدون محدودیت مکانی- زمانی | تغییرات |
| مصرف سوخت (l) | ۲۱۴۲,۴۱ | ۲۱۸۹,۰۶ | ۴۶,۶۵ افزایش |
| انتشار $CO_2$ (g/km) | 531600.88 | 540491.82 | ۸۸۹۰,۹۴ افزایش |
| انتشار NOx (g/km) | ۱۱۴۶,۳۸ | ۱۱۸۷,۵۷ | ۴۱,۱۹ افزایش |
| انتشار PM (g/km) | ۲۴,۰۹ | ۲۶,۸۴ | ۲,۷۵ افزایش |
| انتشار VOC (g/km) | ۵۵۱,۷۹ | ۵۵۰,۳۸ | ۱,۴۱ کاهش |

همان‌طور که مشاهده می‌شود، به جز آلاینده VOC که تحت عنوان ترکیبات آلی فرار (مانند هیدروکربن‌های نسوخته) شناخته می‌شوند، که میزان آن در سناریو دوم به میزان ناچیز ۱ گرم در کیلومتر کاهش یافته است، مقادیر سایر آلاینده‌ها در سناریو دوم، یعنی حالتی که محدودیت مکانی – زمانی وجود نداشته باشد، نسبت به سناریو اول (وجود محدودیت مکانی - زمانی) به صورت محسوسی افزایش یافته است. مشخصاً، مصرف سوخت که جزء منابع تجدیدپذیر بوده و عامل اصلی تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی است، در هر کیلومتر ۴۷ لیتر افزایش می‌یابد. انتشار گاز $CO_2$ یا دی‌اکسید کربن در هر کیلومتر ۸۸۹۱ گرم افزایش می‌یابد. این گاز یکی از آلاینده‌هایی است که بیشترین تأثیر را در پدیده گرمایش زمین را دارد. پارامتر بعدی انتشار گاز NOx یا اکسیدهای نیتروژن است که به آن اکسیدهای ازت نیز گفته می‌شود. اکسیدهای نیتروژن شامل NO و $NO_2$ از مخرب‌ترین گازهای خروجی اگزوز خودرو هستند. به مجموع این دو گاز اصطلاحاً گاز NOx می‌گویند. افزایش انتشار این گازها منجر به روز بیماری های آسم، برونشیت و در برخی موارد بیماری های قلبی و باران‌های اسیدی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود بدون اعمال محدودیت زمانی و مکانی، انتشار این آلاینده ۴۱,۱۹ گرم در هر کیلومتر افزایش می‌یابد. در نهایت انتشار PM یا همان ذرات معلق در هوا است که در سناریوی دوم به میزان ۲,۷۵ گرم در هر کیلومتر افزایش یافته است. PM از ذرات جامد ریز یا قطرات مایع که اندازه‌ای برابر با کسری از ضخامت موی انسان را دارد، تشکیل شده است. این آلاینده‌ها علاوه بر تاری دید عامل ایجاد عوارض مختلف قلبی و ریوی هستند.

### ۴-۳- اثرسنجی ایمنی

براساس سوابق پژوهش، خطرپذیری وانت حدود ۱۹درصد و خطرپذیری کامیون حدود ۴۱درصد (حدود دوبرابر وانت) می‌باشد [۸]، از طرفی در هر دو محدوده قرمز مرکزی و خطی، افزایش ۳ الی ۵ درصدی وانت پس از اعمال محدودیت و کاهش حدود ۲ الی ۳ درصدی کامیون از همه نوع (یا حالت معادل با جایگزینی وسایل نقلیه سنگین باری با سبک باری)، در مجموع اثر کاهشی کامیون بر اثر افزایشی وانت در میزان خطرپذیری غلبه کرده و در مجموع پس ازاعمال محدودیت، ریسک تصادفات کاهش خواهد یافت. در مورد سایر وسایل سنگین نیز همین انتظار می‌رود.

## ۵- ارائه پیشنهادات در خصوص طرح مدیریت ناوگان باری در محدوده مرکزی شهر مشهد

در پایان پیشنهاداتی در خصوص نحوه کنترل و اعمال قانون تخلفات ناوگان باری، زمان‌بندی ورود به محدوده و محدودیت مکانی جهت افزایش اثربخشی طرح ارائه می‌گردد.

**جدول ۸**- پیشنهادات ارائه شده در زمینه بهبود محدوده مکانی – زمانی قرمز در شهر مشهد.

| زمان‌بندی | پیشنهاد | زمینه |
|---|---|---|
| کوتاه مدت | افزایش میزان جرایم و افزایش تعداد بازرسین | • کنترل و اعمال قانون |
| | تغییر زمان‌بندی وسایل نقلیه سنگین و نیمه‌سنگین به ساعات ۲۱ الی ۸ و ۱۵ الی ۱۷:۳۰ | • زمان‌بندی تردد در محدوده قرمز |
| | نصب تابلوها و بیلبوردهای اعلان محدودیت‌ها | • کنترل و اعمال قانون<br>• افزایش آگاهی رانندگان<br>• ارتقای فرهنگ ترافیکی رانندگان |
| | استفاده از رسانه‌ها و فضای مجازی، بیلبوردها و مانیتورها و کلاس‌های توجیهی | • افزایش آگاهی رانندگان<br>• ارتقای فرهنگ ترافیکی رانندگان |
| میان مدت | صدور کارت هوشمند برای رانندگان درون‌شهری، نصب دوربین‌های نظارتی | • کنترل و اعمال قانون |
| | سیستم‌های هوشمند ATIS، AVL، WIMS، ANPR، برچسب RFID | • کنترل و اعمال قانون |
| بلند مدت | گسترش محدوده مکانی – زمانی مرکزی از سمت غرب | • محدودیت مکانی |
| | ایجاد مسیرهای ویژه تردد ناوگان باری نیمه‌سنگین و سنگین انحصاری یا مشترک با BRT | • مسیرهای ویژه ناوگان باری |

## مراجع


Atiyesaz Consulting Engineers, 1388 , “Revision and development of the prohibited traffic area of Mashhad city”, Client: Mashhad Transport and Traffic Organization, Persian.

Ghaemi, Ali, 1393, “Evaluating the impact of heavy vehicles on the traffic flow and the amount of emissions caused by it in urban networks using traffic simulation”, transportation engineering journal, 4th edition, Persian.

Iran University of Science and Technology, Office of Scientific and Industrial Cooperation of Transportation Research Center, 1390, “Studies of the master plan of cargo transportation in Mashhad”, Persian.

Javanbakht, Rasul, 1395, “Prediction of driving violations based on personality traits and excitement seeking of drivers”, Persian.

Mashhad Transport and Traffic Organization, 1400, “Transportation and traffic statistics of Mashhad city”, Mashhad, Persian.

Moghaddari, Ali, 1398, “Modeling the violations of heavy fleet drivers using the driving behavior questionnaire”, Persian.

Naeemi, Jaber, 1395, “Analysis of the contribution of the vehicle type at fault in the accident", 2nd International Conference on Urban Planning, Management and Urban Development, Shiraz, Persian.

Sabur, Hadi, 1396, “Investigating the impact of traffic violations on traffic performance measures based on simulation studies (Mashhad city case study)”, Persian.

B. Schroeder, 2014, "Application of AIMSUN microsimulation model to estimate emissions on signalized arterial corridors," Transportation Research Record, pp. 75-86.

tinnews.ir