Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 53(11) (2022) 1011-1014
DOI: 10.22060/ceej.2020.18318.6832

Time of Day Model, a Different Approach to Identify Effective Factors in Mode Choice, Evidence from Mashhad

A. R. Mamdoohi* , S. Nasiri, M. H. Abbasi

Civil and Environmental Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ABSTRACT: An increase in population and car ownership has caused significant changes in traffic flow patterns at different periods of the day. Considering the importance of analyzing different periods, the time of day (TOD) model is crucial and needs to be accounted for more explicitly. However, few studies have been conducted in this field, which prompted the authors to investigate TOD models and their calibration for mode choice of Mashhad using multinomial logit (MNL) quantifying its impact in demand analysis. In this study, household data and origin-destination matrix of 253 traffic analysis zones of Mashhad (including socio-economic, transportation network, land use, and trip characteristics) were used. Model results showed that not only the effective factors in mode choice and their impacts are different in various periods and trip purposes but also for the same purpose and mode, these factors are different for various periods. More specifically, an increase in car ownership will increase the probability of choosing both private cars and taxis for all trip purposes, but to a different extent for different periods. Tendency to use taxis for work trips reduces as trip distance increases five kilometers due to its high cost, and for educational trips reduces at noon peak due to availability of school buses and lower cost of buses. Moreover, the likelihood of choosing a bus for educational trips had a direct relationship with the ratio of students to the population of each zone.

Review History:

Received: Apr. 24, 2020
Revised: Jun. 07, 2020
Accepted: Jun. 20, 2020
Available Online: Jul. 13, 2020

Keywords:

Time of day model
Multinomial logit
Demand analysis
Mode split
Four-step travel modeling.

1- Introduction

Time of day models are not part of the conventional four-step travel demand models, but in many different modeling approaches, an external model with an internal subset of time has been used as input. Previous studies show the importance of time in travel generation and route traffic volume. Also, regarding the different levels of service in the network at different periods and the importance of different factors in different time intervals, the prediction of the time of trip seems vital in the planning process.

This paper aims to investigate the effective factors in the management of travel demand, analysis and evaluation of time of day model in modal split using multinomial logit (MNL) model to analyze the effect of time of day model in mode choice at different time interval including 24 hours, morning peak, noon peak and evening peak.

Among the innovations of this research, we can mention the identification of the effective factors in mode choice at different times of day in Mashhad, regarding the lack of studies in this field. Also, the analysis of people's behavior in Mashhad as a tourist and pilgrimage city in Iran as a developing country will lead to valuable insights.

2- Methodology

The MNL model is the simplest and the most popular discrete choice model (DCM) [1]. The basic assumption of DCMs is that each individual is faced with a set of choices, and his/her individual preference for each option can be expressed by a utility function (Eq. (1)) [2, 3].

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \tag{1}$$

Assuming an independent and identically distributed (IID) and Gamble distribution for the random component of the utility function, the probability of choosing each option (Eq. (2)) will be calculated based on MNL closed form [4].

$$P_{iq} = \frac{\exp\left(V_{iq}\right)}{\sum_{A_j} \exp\left(V_{jp}\right)} \tag{2}$$

Also, the model's goodness of fit has been evaluated using Eqs. (3) & (4) [5].

$$\rho_0^2 = \frac{LL(\beta) - LL(0)}{LL(*) - LL(0)} = \frac{LL(\beta) - LL(0)}{0 - LL(0)} = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \tag{3}$$

*Corresponding author's email: armamdoohi@modares.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

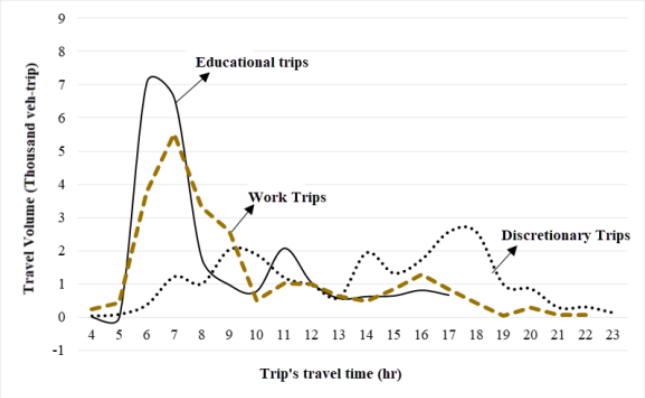


Fig. 1. Frequency distribution of trips with different purposes [6].

$$\rho_c^2 = \frac{LL(\beta) - LL(C)}{LL(*) - LL(C)} = \frac{LL(\beta) - LL(C)}{0 - LL(C)} = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad (4)$$

2- 1- Data

To determine the peak times, the travel volume diagram (Fig. 1) at different periods by different travel purposes was studied using the comprehensive transportation study of Mashhad in 2010 and mode choice models calibrated for these periods and purposes. Variable definition and descriptive analysis are presented in Table 1 [6].

3- Results and Discussion

According to the model results, it can be seen that in different periods, different factors affect the choice of people.

For all trip purposes, private car ownership, the distance of more than five kilometers between origin and destination, origin or destination within the CBD, in-bus travel time or travel time by taxi are effective in people's mode choice at different periods, but their effectiveness in different periods are different.

On work and educational trips, more variables were significant than discretionary trips in different periods which the effectiveness of variables varies in each period, but according to the proposed models, an increase in car ownership will increase the probability of choosing a car for all the trip purposes.

Finally, to determine how different factors affect the mode choice at different periods, a comparison is presented in Table 2, which shows that not only the effective factors in mode choice and their impacts are different in various periods and trip purposes; but also for the same purpose and mode, these factors can be different for various periods.

4- Conclusion

Results show that not only the effective factors in mode choice and their impacts are different at various periods and trip purposes, but also for the same purpose and mode, these factors can be different for various periods.

Table 1. Definition and Frequency analysis of variables.

Variable	Definition	Average (SD)
Tin	In-vehicle travel time (Bus)	13.71 (9.38)
Tout	Out of vehicle travel time (Bus)	21.75 (7.02)
Tr	$\frac{Tin}{Tout}$	0.65 (0.47)
Tc	Travel time of non-bus vehicles in the network	19.53 (8.62)
To	Travel time of non-bus vehicles at free-flow speed in the network	15.24(4.90)
Tt	$\frac{Tc}{To}$	35.46 (12.79)
Ndst	Shortest distance between origin and destination	7.25 (4.64)
Ddst	The aerial distance between the origin and destination	5.38 (3.85)
D_5	If $0 \leq Ndst \leq 5$, D_5=1, otherwise D_5=0	0.39 (0.48)
llNdst	If Ndst>5, llNdst=(1-D_5)*lnNdst, otherwise equals 0	1.75 (0.73)
Nbrd	The number of boarding a bus	1.81 (0.68)
Amo	average per capita motorcycle ownership in the origin	0.05 (0.03)
Aco	average per capita car ownership in the origin	0.18 (0.06)
PCBD	If origin locates at CBD equals 1, otherwise zero	0.21 (0.41)
ACBD	If destination locates at CBD equals 1, otherwise zero	0.48 (0.50)
PACBD	If origin and destination locate at CBD equals 1, otherwise zero	0.13 (0.34)
STP/Pop	The ratio of the number of students residing in the to the population	0.31 (0.36)

Table 2. Comparison of effective variables in different periods and trip purposes.

		Discretionary Trips				Educational Trips				Work Trips			
	Periods	E* Peak	N Peak	M Peak	24 hrs.	E Peak	N Peak	M Peak	24 hrs.	E Peak	N Peak	M Peak	24 hrs.
Private car	Aco	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑**
	PCBD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑
	ACBD	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LnTc	↓	↓	-	↓	-	↓	↓	↓	-	-	-	↓
	Tt	-	-	-	-	↓	-	-	-	-	↓	-	-
	LnNdst	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxi	Aco	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	llNdst	-	-	-	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓
	D5*lnNdst	-	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	↓	↓
	PACBD	↑	-	-	-	-	-	-	↓	-	-	-	-
	ACBD	-	↑	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus	Tr	-	-	-	↑	-	-	-	↑	↑	-	↑	↑
	Tin	-	↑	↑	-	↑	-	↑	-	-	-	-	-
	STP/Pop	-	-	-	-	-	-	↑	↑	-	-	-	-
	Tout	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	↓	↓
	lnNbrd	-	↓	↓	↓	-	↓	↓	-	-	-	-	↓
	PCBD	-	-	-	↓	↓	-	-	↓	-	-	-	↓
	ACBD	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	↑	-
	PACBD	-	-	↓	-	-	-	↑	-	↓	↓	-	-
Motor	Amo	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	↑	↑	↑
	lnNdst	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	↓	↓	↓

* E: Evening, N: Noon, M: Morning.
** ↑: Increase, ↓: Decrease, -: no significance.

An increase in car ownership will increase the probability of choosing both private cars and taxis for all trip purposes, but to a different extent for different periods. Tendency to use taxis for work trips reduces as trip distance increases five kilometers due to its high cost, and for educational trips reduces at noon peak due to availability of school buses and lower cost of buses.

Moreover, the likelihood of choosing a bus for educational trips has a direct relation with the ratio of students to the population of each zone.

References

[1] Mamdoohi, A., Mirmohammadi, S., 2017. "Mixed Logit Model Application in Mode Choice: Case of Mashhad Work Trips". Amirkabir Journal of Civil Engineering, 49(3), pp. 581-592, In Persian.

[2] Mehdizadeh, M., Mamdoohi, A., & Nordfjaern, T., 2017. "Walking time to school, children's active school travel and their related factors". Journal of Transport & Health, 6, pp. 313-326.

[3] Train, K. E., 2009. Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.

[4] Zhao, X., Yan, X., Yu, A., and Van Hentenryck, P., 2020. "Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: A comparison of machine learning and logit models". Travel behavior and society, 20, pp. 22-35.

[5] De Dios Ortúzar, J., and Willumsen, L. G., 2011. Modelling transport. John wiley & sons.

[6] Shahi, j., 2010, Updating comprehensive transportation studies in Mashhad, Time of day model, In Persian.

HOW TO CITE THIS ARTICLE
A. R. Mamdoohi , S. Nasiri, M. H. Abbasi, Time of Day Model, a Different Approach to Identify Effective Factors in Mode Choice, Evidence from Mashhad, Amirkabir J. Civil Eng., 53(11) (2022) 1011-1014.

DOI: 10.22060/ceej.2020.18318.6832

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۱۱، سال ۱۴۰۰، صفحات ۴۵۹۹ تا ۴۶۱۲
DOI: 10.22060/ceej.2020.18318.6832

مدل زمانروز، رویکردی متفاوت جهت شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب وسیله افراد، نمونه موردی شهر مشهد

امیررضا ممدوحی*، سعید نصیری، محمدحسین عباسی

دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

خلاصه: افزایش جمعیت و مالکیت خودروی شخصی موجب بروز تفاوت چشمگیری در الگوهای جریان ترافیک در ساعات مختلف روز شده است. ازاین‌رو، اهمیت تحلیل دوره‌های مختلف زمانی با استفاده از مدل زمان‌روز به‌منظور دخیل نمودن زمان مطرح می‌شود. علی‌رغم اهمیت زمان، تعداد کمی مطالعه در این زمینه یافت شد که این موضوع نویسندگان را بر آن داشت که با کمی کردن زمان‌روز در تحلیل تقاضا، به بررسی اهمیت زمان‌روز و پرداخت مدل‌های انتخاب وسیله در اهداف مختلف سفر در بازه‌های مختلف زمانی با استفاده از مدل لوجیت چندگانه برای شهر مشهد بپردازند. در این مطالعه از اطلاعات خانوارها و ماتریس مبدا–مقصد در ۲۵۳ ناحیه ترافیکی شهر مشهد (شامل مشخصات اقتصادی–اجتماعی افراد، شبکه حمل‌ونقل، کاربری زمین و خصوصیات سفر) استفاده می‌شود. نتایج نشانگر این است که نه‌تنها عوامل مؤثر بر انتخاب وسیله سفر و میزان تأثیر هر یک، در بازه‌های زمانی و اهداف مختلف سفر متفاوت است، بلکه به ازای هدف و وسیله سفر یکسان نیز این عوامل در بازه‌های مختلف زمانی متفاوت است. افزایش سرانه مالکیت خودروی شخصی در تمامی اهداف سفر موجب افزایش تمایل استفاده کاربران از خودروی شخصی و تاکسی می‌شود، اما میزان اثرگذاری آن در بازه‌های مختلف زمانی متفاوت است. تمایل به استفاده از تاکسی در سفرهای شغلی با مسافت بیش از پنج کیلومتر به دلیل هزینه بالا و در سفرهای تحصیلی اوج ظهر به دلیل وجود سرویس مدرسه و هزینه کمتر اتوبوس کاهش می‌یابد. همچنین نسبت جمعیت دانش‌آموزان به جمعیت ساکن هر منطقه، رابطه مستقیمی با احتمال انتخاب اتوبوس در سفرهای تحصیلی دارد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۵
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

کلمات کلیدی:
مدل زمان‌روز
لوجیت چندگانه
تحلیل تقاضا
تفکیک وسیله
مدل‌سازی چهارمرحله‌ای سفر

۱- مقدمه

هدف از ساخت مدل‌های تقاضا درگذشته برآورد سفرهای انجام شده در یک شبانه‌روز بوده است. اما به مرور با ازدیاد تراکم و لزوم تحلیل ساعت اوج برای ارزیابی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، به تخمین تقاضا در دوره‌های مختلف روز، روی آورده شده است. انتخاب زمان‌روز به‌طور ذاتی با سطح سرویس راه‌ها و در نتیجه تراکم شبکه مرتبط است. ازدحام ترافیک به یک مسأله مهم در اکثر مناطق شهری و حومه به ویژه در دوره‌های اوج تبدیل شده است. بر اساس گزارش موسسه حمل‌ونقل تگزاس در سال ۲۰۱۱، ازدحام موجب مصرف اضافی ۲/۹ میلیارد گالن سوخت و هدر رفتن ۱۲۱ میلیارد دلار در ۴۹۸ منطقه شهری ایالات متحده شده است [۱].

مدل‌های تقاضای سفر از اصلی‌ترین بخش در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است که شامل چهار دسته تولید سفر، توزیع سفر، تفکیک سفر و تخصیص سفر است. اگرچه مدل‌های زمان بخشی از فرآیند مرسوم چهارمرحله‌ای تحلیل تقاضای سفر نیست، اما در بسیاری از رویکردهای مختلف مدل‌سازی، مدلی خارجی با یک زیرمدل داخلی از زمان به عنوان ورودی در مراحل چهارگانه سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این مدل‌ها بیانگر اهمیت زمان در ایجاد سفر و میزان حجم ترافیک مسیر است. همچنین با توجه به سطح سرویس‌های مختلف شبکه در ساعات مختلف روز و اهمیت عوامل مختلف در بازه‌های مختلف زمانی، پیش‌بینی زمان سفر از اهمیت ویژه‌ای در فرآیند برنامه‌ریزی برخوردار است. با وجود دشواری مدل‌سازی زمان، برنامه‌ریزان حمل‌ونقل همواره به دنبال دخیل کردن عامل زمان در فرآیند برنامه‌ریزی هستند. مدل زمان روز توسط برنامه‌ریزان ترافیکی با هدف تنظیم زمان سفر ایجاد می‌شود و فاکتور مدل زمان روز به صورت نسبتی از حجم ترافیک در ساعات اوج بر کل حجم ترافیکی در دوره ثابت (معمولاً یک روز) محاسبه می‌شود.

انتخاب مناسب زمان و وسیله سفر در اهداف مختلف، باعث افزایش رضایت مسافران و کاهش زمان سفر آن‌ها و در نتیجه مطلوبیت سیستم

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: armamdoohi@modares.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

حمل‌ونقل در سطح شهر خواهد شد. از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتخاب زمان شروع سفر، زمان شروع فعالیت تعیین شده (و میزان انعطاف‌پذیری در زمان شروع فعالیت) و همچنین زمان سفر مسیرها پس از شروع سفر آن‌ها است. از جمله عوامل دیگر می‌توان به خصوصیات فرد (مانند سن، جنس، شغل، درآمد، مالکیت خودرو و غیره) و وسیله سفر وی اشاره کرد [۲].

هدف از این مطالعه بررسی عوامل مؤثر زمان‌روز در مدیریت تقاضای سفر، تحلیل و ارزیابی مدل زمان روز در مرحله تفکیک سفر با استفاده از مدل لوجیت چندگانه جهت ارزیابی تأثیر زمان‌روز در انتخاب وسیله افراد در ۴ بازه زمانی، ۲۴ ساعت، اوج صبح، اوج ظهر و اوج عصر است. از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به شناسایی عوامل مؤثر زمان‌روز در انتخاب وسیله افراد در کلان‌شهر مشهد با توجه به عدم وجود مطالعه‌ای در این راستا اشاره کرد. همچنین تحلیل رفتار افراد در مشهد به عنوان شهری توریستی و زیارتی در کشور در حال توسعه‌ی ایران ممکن است موجب کسب بینشی ارزشمند شود. در بخش دوم به بررسی ادبیات پیشین پرداخته شده است و در بخش سوم روش‌شناسی موضوع شامل داده‌ها و روش مورد استفاده در این پژوهش بررسی می‌شود و در بخش چهارم به بحث در مورد یافته‌های پژوهش و در انتها به ارائه نتایج و پیشنهادها پرداخته شده است.

۲- ادبیات پژوهش

بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در زمینه مدل‌های زمان‌روز، دو رویکرد مشاهده می‌شود؛ در دسته اول مطالعات چهار مرحله‌ای هستند که با استفاده از ضرایب و مدل‌ها، پیش‌بینی‌های روزانه را به ساعتی تبدیل می‌نمایند و دسته دوم مدل‌های زمان‌روز بر اساس اطلاعات حاصل از فعالیت‌ها و سفرهای روزانه افراد است [۳]. از جمله روش‌های اعمال و جایگاه مدل زمان‌روز در فرآیند برنامه‌ریزی چهار مرحله‌ای سفر می‌توان به «پس از مرحله تخصیص»، «بین مراحل تخصیص و تفکیک وسیله»، «بین مراحل تفکیک وسیله و توزیع سفر» و «بین مراحل ایجاد و توزیع سفر» اشاره کرد [۴]. در رویکرد چهار مرحله‌ای، ماتریس تقاضای سفر ۲۴ ساعته به چندین ماتریس زمان (همچون اوج صبح، اوج عصر، میانه روز و غیر اوج) بر مبنای تقاضای مشاهده شده در دوره‌های زمانی مختلف تقسیم می‌گردد. از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان به مدل‌سازی فلوریدا [۴]، اوهایو [۵]، مریلند [۶] و جکسون [۴] در ایالات متحده آمریکا، ولینگتون نیوزلند [۷]، آدلاید در استرالیا [۸]، استکهلم سوئد [۹] و کوپنهاگ دانمارک [۱۰] اشاره کرد. همچنین در برخی مطالعات، بعد انتخاب زمان‌روز به‌عنوان یک انتخاب گسسته به طور مشترک با دیگر تصمیمات مانند انتخاب شیوه سفر [۱۱-۱۸] مدل‌سازی شده است.

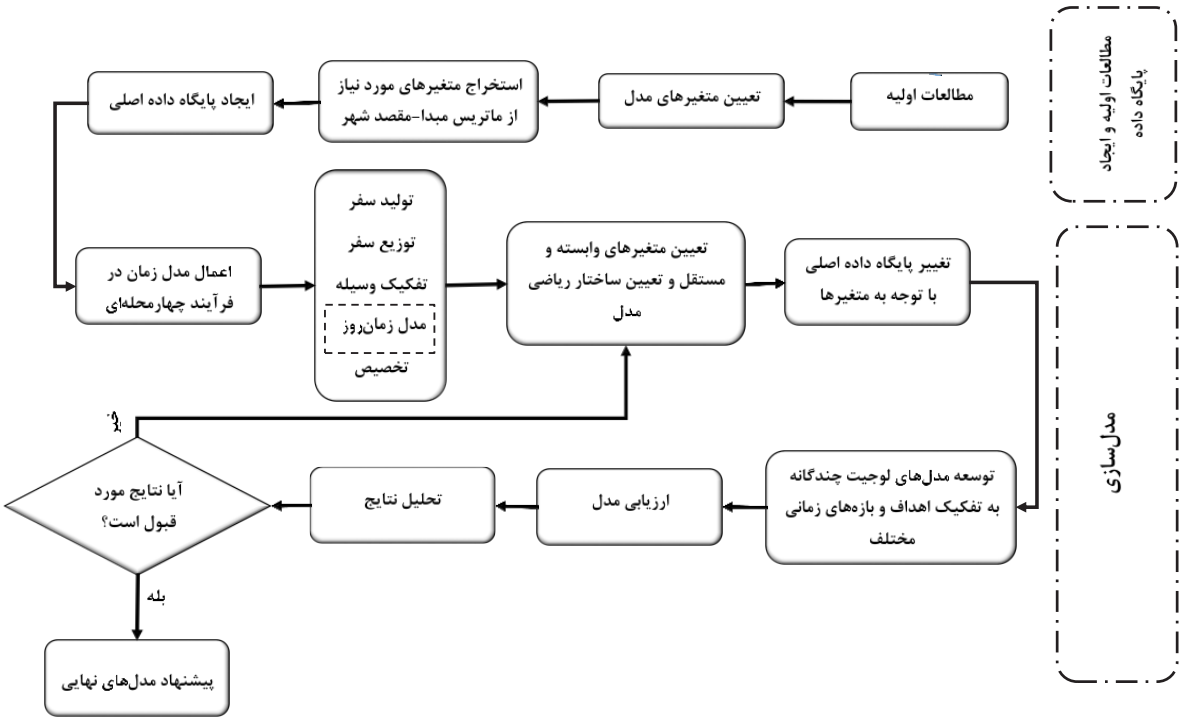
لیم و سرینیواسان (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر محدودیت‌های زمانی افراد بر مجموعه انتخاب و زمان‌بندی تورهای مشترک اجتماعی-تفریحی پرداختند. نتایج نشانگر احتمال بیشتر وقوع تورهای مشترک اجتماعی-تفریحی در بازه‌هایی همچون عصر و میانه روز و پس از سفرهای اجباری است [۱۳].

در مطالعه خان و ماچمهل (۲۰۱۷) از چارچوب مدل‌سازی چندگانه گسسته-پیوسته پرویبت جهت توصیف رفتار انتخاب زمان‌روز وسایل نقلیه تجاری و میزان مسافت طی‌شده در زمانی مشخص از روز استفاده کردند. مدل ترکیبی آن‌ها نشانگر ناهمگونی در میان وسایل نقلیه تجاری با توجه به سرعت، زمان سرویس‌دهی و رسیدن به ایستگاه‌های پایانی بود. مدل پیشنهادی آن‌ها به منظور پیش‌بینی احتمال انتخاب زمان‌روز وسایل نقلیه تجاری جهت انجام فعالیت‌های روزانه و میزان مسافت طی‌شده در زمان روز انتخابی کاربردی است [۱۹].

ساختار مدل شهر شیکاگو بر اساس ۵ دوره اوج و یک دوره غیر اوج شامل سه هدف سفر خرید، شخصی و اجباری است. تحلیل نتایج تخمین و کشش ضرایب بیانگر اهمیت زمان سفر است و همچنین زمان سفر طولانی و واریانس در زمان سفر برای بازه‌های زمانی مختلف به طور قابل‌توجهی بر میزان عدم مطلوبیت انتخاب فرد و انتخاب زمان‌روز وی تأثیرگذار است [۱۴].

هو و هنشر (۲۰۱۶) مدل انتخاب مشترک زمان شروع و شیوه سفر را در استرالیا برای هدف سفر شغلی و غیر شغلی توسعه دادند و اهمیت زمان و هزینه سفر در مدل‌های جداگانه بررسی گردید [۱۵].

مدل زمان روز در سازمان حمل‌ونقل شهر فلوریدا (۲۰۰۲) به معرفی و بررسی روش‌های مختلف مدل‌های زمان‌روز و معایب و مزایای هریک پرداخته است. در این پژوهش دوره‌های اوج و غیر اوج به صورت ۲ دوره: اوج و غیر اوج، ۳ دوره: اوج صبح، اوج عصر و غیر اوج، ۴ دوره: اوج صبح، اوج عصر، میان‌روز و در مدت شب، ۵ دوره: اوج صبح، اوج عصر، میان‌روز، شب و صبح زود تعریف گردید. مدل زمان روز در پیش‌بینی تقاضای سفر شهر اوهایو یک مدل ناهمفزون بر اساس زمان روز برای تخصیص ترافیک با توجه به اطلاعات آمارگیری سفرهای خانوار است. در این مطالعه چهار دوره زمانی شامل اوج صبح، اوج عصر، میانه روز و شب در نظر گرفته شده است. در مطالعه پیش‌بینی تقاضای سفر شهر جکسون از مدل زمان‌روز در فرآیند چهار مرحله‌ای پس از مرحله تفکیک سفر استفاده گردید. ضرایب زمان‌روز برای سفرهای افراد به تفکیک وسیله و سه هدف سفر شامل سفرهای کاری خانه



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش و تعیین جایگاه مدل زمان‌روز در فرآیند چهارمرحله‌ای تحلیل تقاضا

Fig. 1. Research steps and the position of time of day model in the four-step demand analysis

مبنا، سفرهای غیر کاری خانه مبنا و سفرهای غیرخانه‌مبنا در دوره زمانی اوج صبح و عصر تعیین گردید [۴].

در مدل حمل‌ونقل شهر ولینگتون در نیوزلند، سفرهای ۲۴ ساعته برحسب هدف و وسیله سفر بر اساس اطلاعات سرشماری سفر خانوار پیش از مرحله تخصیص مدل‌سازی شده است. در این مطالعه سه دوره زمانی (اوج صبح، بین اوج و اوج عصر) در نظر گرفته شده است [۸]. ساختار مدل تقاضای شهر استکهلم پیش از مرحله تخصیص برای سه دوره اوج صبح، میانه روز و اوج عصر با استفاده از لوجیت آشیانه‌ای پرداخت شده است [۲۰].

بر اساس رویکرد ادبیات، به‌منظور مدل‌سازی زمان در فرآیند چهار مرحله‌ای تحلیل تقاضا بایستی از ضرایب توزیع سفر در بازه‌های مختلف زمانی جهت تبدیل تقاضای روزانه به ساعتی استفاده نمود. با توجه به تفاوت قابل‌ملاحظه الگوی تردد در شهر مشهد در ساعات اوج صبح، اوج عصر و غیر اوج، وجود شاخص زمان در ساختار تحلیل تقاضا لازم و ضروری است. هدف این مطالعه بررسی مدل زمان روز در مرحله تفکیک سفر در رویکرد چهارمرحله‌ای و مقایسه عوامل مؤثر بر مطلوبیت انتخاب وسیله در اهداف مختلف سفر و بازه‌های زمانی متفاوت شهر مشهد با استفاده لوجیت چندگانه است. از جمله فرض‌های این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود که: ۱- تفاوت معناداری بین عوامل مؤثر در انتخاب وسیله در ساعات مختلف روز در شهر مشهد وجود ندارد؛ ۲- تفاوت معناداری در عوامل مؤثر در انتخاب وسیله سفرهای شهر مشهد با اهداف مختلف در ساعات مختلف روز وجود ندارد؛ ۳- شدت تأثیر عوامل مشترک معنادار در انتخاب وسیله افراد در اهداف و شیوه‌های مختلف یکسان است. جهت رد/پذیرش فرض‌های بالا از مدل‌های انتخاب وسیله در شهر مشهد استفاده می‌شود که روش‌شناسی و داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در بخش بعدی تشریح شده است.

۳- روش‌شناسی

با توجه به جایگاه مدل زمان‌روز در فرآیند چهارمرحله‌ای تحلیل تقاضا در این پژوهش، در ابتدا مدل‌سازی انتخاب وسیله سفر و استخراج ماتریس‌های سفر وسایل نقلیه برحسب نفر- سفر صورت می‌گیرد و سپس فرآیندهای لازم برای تبدیل ماتریس تقاضا از حالت نفر- سفر به وسیله - سفر انجام می‌شود و در انتها مدل انتخاب وسیله برای بازه‌های اوج و ۲۴ ساعت پرداخت گردیده و ماتریس‌های مبدأ- مقصد اهداف مختلف برای وسایل مختلف در بازه‌های زمانی مدنظر تجمیع خواهد شد (شکل ۱). در رابطه با شکل ۱ شایان ذکر است، پس از بررسی ادبیات موضوع، متغیرهای مهم در انتخاب شیوه سفر

تعیین و داده‌های موردنظر از ماتریس مبدا–مقصد موجود در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد استخراج و پایگاه داده اصلی تشکیل شده است. به منظور دخیل نمودن زمان در فرآیند تحلیل تقاضا سفر شهر مشهد، جایگاه مدل زمان‌روز تعیین گردید و مدل‌های لوجیت چندگانه[1] به تفکیک اهداف و بازه‌های مختلف زمانی پس از سعی‌وخطای فراوان به منظور پیشنهاد مدلی با برازش مناسب پیشنهاد گردید. شایان ذکر است که جهت پیشنهاد مدلی با برازش مناسب، متغیرهای مختلفی در هر مدل امتحان و میزان بهبود در تابع بیشینه درست‌نمایی بررسی گردید. در انتها معناداری و اعتبار مدل از طریق آزمون‌های آماری بررسی و نتایج ارائه گردیده است.

پایه و اساس مدل‌های انتخاب گسسته، نظریه مطلوبیت‌های احتمالی است و بر اساس این نظریه، احتمال انتخاب افراد تحت تأثیر میزان مطلوبیت گزینه‌های در دسترس است [۲۱]. انتخاب افراد وابسته محدودیت‌های قانونی، اجتماعی، فیزیکی و بودجه‌ای (اقتصادی و زمانی) است.

مدل لوجیت چندگانه ساده‌ترین و درعین‌حال متداول‌ترین مدل انتخاب گسسته است [۲۲]. در صورتی‌که بردار A نشانگر گزینه‌های موجود در مجموعه انتخاب فرد و بردار X مربوط به خصوصیات فرد و گزینه‌ها باشد، افراد گزینه‌ای با بیشترین مطلوبیت را انتخاب خواهند کرد.

تابع مطلوبیت U_{jq} (رابطه (۱)) بیانگر میزان مطلوبیت انتخاب گزینه j توسط فرد q است که V_{jq} مؤلفه‌ی قطعی و ε_{jq} مؤلفه‌ی تصادفی مطلوبیت است [۲۳]. فرض اساسی مدل‌های انتخاب گسسته مواجه شدن فرد با مجموعه انتخاب است و ترجیح فردی او نسبت به هر گزینه می‌تواند با یک معیار مطلوبیت یا جذابیت بیان گردد. این مطلوبیت تابعی از ویژگی‌های گزینه‌ها و نیز مشخصات تصمیم‌گیرنده است (رابطه (۱)).

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \qquad (۱)$$

در صورت فرض توزیع گامبل و مستقل و یکسان برای مؤلفه‌ی تصادفی تابع مطلوبیت، احتمال انتخاب هر گزینه (رابطه (۲)) بر اساس فرم بسته لوجیت چندگانه محاسبه خواهد شد [۲۴, ۲۵].

$$P_{iq} = \frac{\exp\left(V_{iq}\right)}{\sum_{A_j}\exp\left(V_{jp}\right)} \qquad (۲)$$

به‌منظور بررسی اهمیت آماری هر یک از متغیرهای توصیفی، از آزمون t در سطوح معناداری ۱، ۵ و ۱۰ درصد استفاده شده است. همچنین بر اساس روابط (۳) و (۴) اهمیت آماری مدل‌های پیشنهادی نسبت به مدل صفر و دارای ضرایب ثابت ویژه بررسی گردید [۲۶, ۲۷].

$$-2\left[LL(0)-LL(\beta)\right] > X^2_{N,1-\alpha} \qquad (۳)$$

$$-2\left[LL(C)-LL(\beta)\right] > X^2_{N,1-\alpha} \qquad (۴)$$

که α نشان‌دهنده سطح معناداری، N برابر با تعداد پارامترهایی است که با اعمال محدودیت در مدل برآورد شده‌اند، $LL(0)$ مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای ضرایب صفر، $LL(\beta)$ مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای پارامترهای برآورد شده و $LL(C)$ مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای ضرایب ثابت ویژه است [۲۸].

ارزیابی نکویی برازش مدل با استفاده از شاخص‌های نسبت درست‌نمایی (روابط (۵) و (۶)) انجام می‌پذیرد. ρ_0^2 ، بیانگر نسبت اختلاف بین لگاریتم تابع درست‌نمایی در حالت ضرایب صفر و ضرایب حاصل از تخمین درست‌نمایی بیشینه به اختلاف بین لگاریتم تابع درست‌نمایی در حالت ضرایب صفر و ضرایب حاصله در بهترین حالت ممکن که کامل و بی‌نقص است. در حالت کامل و بی‌نقصی، احتمال پیامد هر وسیله به‌گونه‌ای ارائه می‌شود که احتمال وقوع در حالت کلی برابر با یک باشد. بر این اساس مقدار $LL(*)$ که درواقع $L(1)$ است، برابر با صفر خواهد شد. بنابراین، طبق تعریف $0 \le \rho_0^2, \rho_c^2 \le 1$ است که مقدار $\tilde{n}^2 = 0$ بیانگر عدم بهبود مدل نسبت به سهم مساوی گزینه‌ها و $\tilde{n}^2 = 1$ بیانگر جامعیت و بدون نقص بودن مدل پیشنهادی است [۲۹, ۳۰].

$$\rho_0^2 = \frac{LL(\beta)-LL(0)}{LL(*)-LL(0)} = \frac{LL(\beta)-LL(0)}{0-LL(0)} = 1-\frac{LL(\beta)}{LL(0)} \qquad (۵)$$

$$\rho_c^2 = \frac{LL(\beta)-LL(C)}{LL(*)-LL(C)} = \frac{LL(\beta)-LL(C)}{0-LL(C)} = 1-\frac{LL(\beta)}{LL(C)} \qquad (۶)$$

1 شایان ذکر است که مدل لوجیت آشیانه‌ای در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد[۳۱] بررسی گردید و نسبت به لوجیت چندگانه بهبودی در برازش مدل‌ها واقع نگردید که دلیل اصلی آن تعداد کم شیوه‌های سفر و احتمال کم وجود اشتراک بین آن‌ها است.

جدول ۱. سهم وسایل نقلیه در اهداف مختلف سفر شهر مشهد [۳۱]

Table 1. Modal share at different trip purposes in Mashhad

ردیف	شیوه سفر	هدف سفر		
		شغلی (درصد)	اختیاری (درصد)	تحصیلی (درصد)
۱	سواری شخصی	۴۶	۳۴	۱۲
۲	تاکسی	۱۳	۱۹	۱۳
۳	سرویس مدرسه (سواری)	۰	۰	۲۳
۴	سرویس مدرسه (مینی‌بوس)	۰	۰	۷
۵	اتوبوس واحد	۱۶	۲۹	۳۸
۶	اتوبوس غیر واحد	۲	۰	۱
۷	مینی‌بوس	۲	۱	۱
۸	وانت	۳	۱	۰
۹	دوچرخه	۲	۷	۴
۱۰	موتور	۱۴	۹	۱
۱۱	سنگین	۱	۰	۰
۱۲	سایر	۱	۰	۰

۳- ۱- داده‌های پژوهش

بر اساس اطلاعات خانوار و ماتریس مبدا-مقصد شهر مشهد در سال ۱۳۸۹ [۳۱]، تعداد مشاهدات برای شش هدف سفر و در چهار دوره زمانی اوج صبح، اوج ظهر، اوج عصر و غیر اوج جمع‌آوری شده است. در این پژوهش، با توجه به سهم سفرهای زیارتی و خرید (کمتر از ۱۰ درصد) در ساعات اوج صبح، اهداف سفرها در دو دسته جامع طبقه‌بندی می‌شوند. بر این اساس اهداف سفر شغلی و تحصیلی در دسته سفرهای اجباری و اهداف خدماتی، خرید، تفریح و زیارت در دسته سفرهای اختیاری بررسی می‌شوند [۳۱]. در ادامه و پس از تفکیک ماتریس تقاضا با توجه به هدف و شیوه سفر، وسایل با سهمی بیش از ۱۰ درصد به عنوان وسایل سفر غالب انتخاب می‌شوند (جدول ۱). بر این اساس، در هدف سفر شغلی شیوه‌های سفر اتوبوس، تاکسی، سواری و موتور و در هدف سفرهای تحصیلی و اختیاری نیز اتوبوس، تاکسی و سواری در نظر گرفته شده است.

جهت تعیین ساعت اوج، نمودارهای حجم سفر (شکل ۲) در ساعات مختلف روز به تفکیک اهداف مختلف سفر در مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد در سال ۱۳۸۹ بررسی و با توجه به میانگین طول زمان سفر در ساعات اوج (۲۰ دقیقه)، مدلهای تفکیک سفر برای بازههای بیشتر از زمان اوج پرداخت شده است.

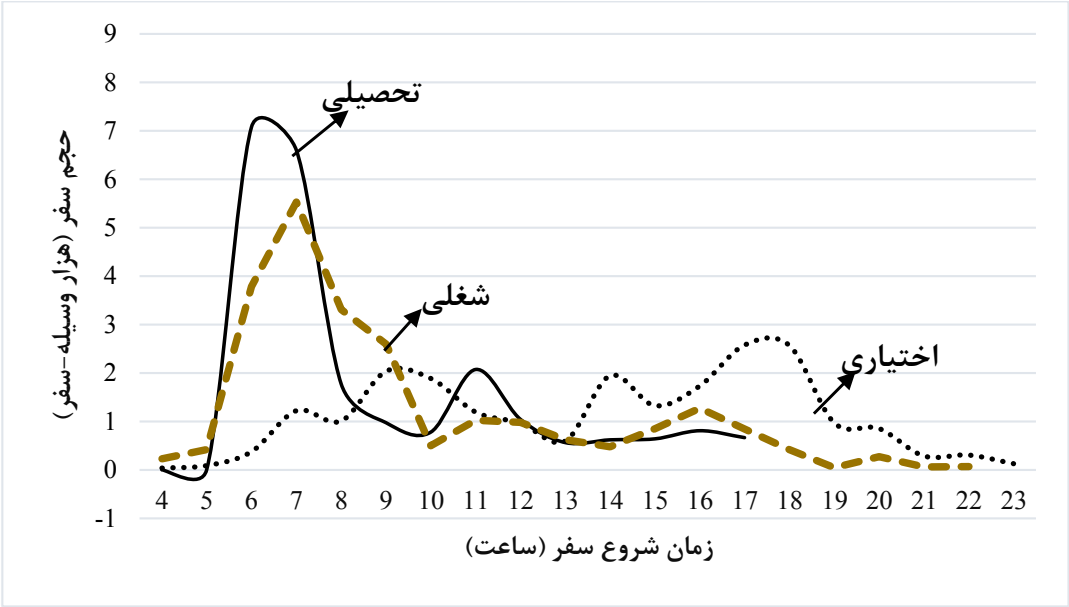
ساعت اوج صبح در اهداف سفر شغلی و تحصیلی ۷-۶ صبح و در هدف اختیاری ۱۰-۹، همچنین ساعت اوج ظهر و عصر در اهداف سفر شغلی و تحصیلی به ترتیب ۱۲-۱۱ و ۱۷-۱۶ و در هدف سفر اختیاری ۱۵-۱۴ و ۱۸-۱۷ است.

متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش (جدول ۲) شامل خصوصیات عملکردی سیستم حمل‌ونقل، خصوصیات مرتبط با شبکه، خصوصیات اقتصادی-اجتماعی و سفر افراد است که بسیاری از این متغیرها با توجه به مرور ادبیات پژوهش و برخی با توجه به داده‌های موجود در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد [۳۱] انتخاب و بررسی گردیده است. سطح درآمد تأثیر قابل‌توجهی در انتخاب وسیله سفر افراد دارد، ولی معمولاً اطلاعات دقیق و قابل اطمینانی از این متغیر در دسترس نیست. ازاین‌رو، از سرانه مالکیت سواری شخصی به عنوان نماینده سطح درامد افراد استفاده شده است [۳۱]. پس از پالایش و آماده‌سازی متغیرهای موردنظر، چندین مدل لوجیت چندگانه به تفکیک هدف سفر و زمان‌روز پرداخت گردید. متغیر وابسته در مدل‌های پیشنهادی، مطلوبیت استفاده از وسایل نقلیه جهت محاسبه احتمال انتخاب وسایل است.

جدول ۲. معرفی و تحلیل اولیه متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 2. The definition and initial analysis of variables used in this research

نوع متغیر	نماد متغیر	نام متغیر	توضیحات	واحد	میانگین (انحراف معیار)
خصوصیات عملکردی سیستم حمل‌ونقل	*Tin*	زمان سفر درون اتوبوس	زمان سفر درون خودروی همگانی اتوبوس	دقیقه	۱۳/۷۱ (۹/۳۸)
	Tout	زمان سفر بیرون اتوبوس	زمان سفر بیرون خودروی همگانی اتوبوس (زمان انتظار)	دقیقه	۲۱/۷۵ (۷/۰۲)
	Tr	نسبت زمان سفر اتوبوس	$\frac{Tin}{Tout}$	دقیقه	۰/۶۵ (۰/۴۷)
	Tc	زمان سفر شبکه	زمان سفر خودروهای غیر از اتوبوس به هنگام وجود تراکم در شبکه	دقیقه	۱۹/۵۳ (۸/۶۲)
	To	زمان سفر شبکه آزاد	زمان سفر خودروهای غیر از اتوبوس با سرعت آزاد در شبکه	دقیقه	۱۵/۲۴ (۴/۹۰)
	Tt	نسبت زمان سفر سواری	$\frac{Tc}{To}$	دقیقه	۳۵/۴۶ (۱۲/۷۹)
خصوصیات مرتبط با شبکه	*Ndst*	کوتاه‌ترین فاصله	کوتاه‌ترین فاصله بین زوج مبدأ- مقصد	کیلومتر	۷/۲۵ (۴/۶۴)
	Ddst	فاصله هوایی	فاصله هوایی بین زوج مبدأ- مقصد	کیلومتر	۵/۳۸ (۳/۸۵)
	D_5	متغیر کمکی	اگر $0 \leq Ndst \leq 5$ آنگاه $D_5=1$، در غیر این صورت صفر است.	-	۰/۳۹(۰/۴۸)
	llNdst	نماینده مسافت دور	اگر Ndst>5 آنگاه $llNdst=(1-D_5)*lnNdst$، در غیر این صورت صفر است.	-	۱/۷۵ (۰/۷۳)
	Nbrd	تعویض اتوبوس	تعداد دفعات سوار شدن بر اتوبوس در سفر از ناحیه مبدأ تا ناحیه مقصد	تعداد	۱/۸۱ (۰/۶۸)
خصوصیات اقتصادی افراد	*Amo*	سرانه مالکیت موتور	متوسط سرانه مالکیت موتورسیکلت در ناحیه مبدأ سفر	تعداد	۰/۰۵ (۰/۰۳)
	Aco	سرانه مالکیت سواری	متوسط سرانه مالکیت سواری شخصی در ناحیه مبدأ سفر	تعداد	۰/۱۸ (۰/۰۶)
خصوصیات مبدأ و مقصد	*PCBD*	مبدأ در محدوده تجاری	اگر مبدأ در محدوده تجاری شهر قرار داشته باشد، برابر یک، در غیر این صورت صفر است.	-	۰/۲۱ (۰/۴۱)
	ACBD	مقصد در محدوده تجاری	اگر مقصد در محدوده تجاری شهر قرار داشته باشد، برابر یک، در غیر این صورت صفر است.	-	۰/۴۸ (۰/۵۰)
	PACBD	مبدأ و مقصد در محدوده تجاری	اگر مبدأ و مقصد در محدوده تجاری شهر قرار داشته باشد، برابر یک، در غیر این صورت صفر است.	-	۰/۱۳ (۰/۳۴)
	STP/Pop	نسبت دانش‌آموزان	نسبت تعداد دانش‌آموزان ساکن در ناحیه مبدأ سفر به جمعیت ناحیه	-	۰/۳۱ (۰/۳۶)



شکل ۲. توزیع فراوانی سفرها با اهداف مختلف به تفکیک ساعت شروع [۳۱]

Fig. 2. Frequency distribution of trips with different purposes by separation of beginning time

۴- یافته‌های پژوهش

پس از پرداخت مدل‌های لوجیت چندگانه به تفکیک هدف و شیوه سفر با استفاده از نرم‌افزار آماری Nlogit، ضرایب به روش تخمین درست‌نمایی بیشینه محاسبه و در جداول ۳ الی ۶ ارائه گردید همچنین در جدول ۷ عوامل مختلفی همچون تعداد مشاهدات، مقدار تابع لگاریتم درست‌نمایی در حالات مختلف و شاخص‌های نکویی برازش گزارش شده است. بهبود لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای پارامترهای برآورد شده $LL(\beta)$ نسبت به مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای ضرایب صفر$LL(0)$ (سهم مساوی گزینه‌ها) و مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی به ازای ضرایب ثابت ویژه $LL(C)$ (سهم بازار)، نشانگر برتری مدل‌های پیشنهادی نسبت به مدل‌های پایه مذکور است.

بر اساس ضرایب تخمینی، متغیر متوسط سرانه مالکیت سواری شخصی در ناحیه مبدأ سفر در تمام بازه‌های زمانی هدف سفرهای مختلف با علامت مثبت و در سطح معناداری ۱ درصد معنادار شده است که بیانگر افزایش احتمال انتخاب خودروی شخصی با افزایش سرانه مالکیت سواری شخصی است. میزان اثرگذاری سرانه مالکیت سواری شخصی در اهداف و بازه‌های زمانی مختلف سفر، متفاوت است. به عنوان مثال، در هدف سفرهای اختیاری، سرانه مالکیت سواری شخصی در تمامی بازه‌های زمانی با علامت مثبت معنادار شده است؛ اما میزان اثرگذاری آن در بازه‌های مختلف، متفاوت است و بیشترین تأثیر آن در بازه اوج عصر سفرهای اختیاری است که نشانگر تمایل بیشتر افراد به استفاده از اتومبیل شخصی در سفرهای اختیاری اوج عصر است. ولی از سوی دیگر، با توجه به ضرایب تخمینی، میزان اثرگذاری افزایش سرانه مالکیت سواری شخصی در سفرهای تحصیلی در تمامی بازه‌های زمانی یکسان است و اختلاف معنادار و فراوانی در تغییر تمایل افراد جهت استفاده از خودروی شخصی در بازه‌های زمانی مختلف سفرهای تحصیلی مشاهده نمی‌شود. سرانه مالکیت سواری شخصی احتمال انتخاب تاکسی را (نسبت به اتوبوس) افزایش می‌دهد، اما با توجه به مقدار ضرایب، میزان اثرگذاری این متغیر در افزایش احتمال انتخاب خودروی شخصی نسبت به تاکسی بیشتر است. در سفرهای شغلی، متغیر زمان سفر در تراکم شبکه تنها در مدل زمان‌روز ۲۴ ساعت و با علامت منفی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار شده است و در بازه‌های اوج صبح و اوج عصر معنادار نشده است ولی در بازه اوج ظهر متغیر نسبت زمان سفر با علامت منفی معنادار شده است. بر اساس ضرایب تخمینی، با افزایش زمان سفر در شبکه، احتمال انتخاب خودروی شخصی در اکثر بازه‌های زمانی و اهداف سفر کاهش خواهد

جدول ۳. مقایسه عوامل مؤثر در انتخاب وسیله تاکسی برای اهداف سفر و بازه‌های زمانی مختلف

Table 3. Comparison of effective factors in taxi choice for different trip purposes and time periods

بازه زمانی	شغلی				تحصیلی				اختیاری			
	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
عدد ثابت	–	-۱/۹۳۱	–	-۱/۶۷۷	–	–	-۳/۴۶۰	-۰/۶۷۹	–	-۱/۲۱۷	–	-۰/۸۶۹
Aco	۴/۴۳۰	۶/۵۸۹	۸/۷۹۲	۸/۱۵۴	۱۰/۸۱۴	۱۱/۶۱۲	۸/۶۵۲	۳/۱۸۹	۶/۰۴۱	۶/۸۸۵	۴/۷۷۰	۵/۹۳۷
llNdst	-۰/۳۰۶	-۰/۱۷۵	-۰/۳۲۳	-۰/۲۰۸	۰/۰۵۹	۰/۲۰۷	۰/۲۱۰	۰/۱۶۸	-۰/۲۰۲	–	–	–
*D5*lnNdst*	-۰/۲۲۹	-۰/۱۶۴	–	–	–	–	–	–	-۰/۱۲۷	–	–	–
PACBD	–	–	–	–	-۰/۶۰۶	–	–	–	–	–	–	۰/۲۲۲
ACBD	–	–	–	–	–	–	–	–	–	-۰/۵۵۸	۰/۳۰۸	–

جدول ۴. مقایسه عوامل مؤثر در انتخاب وسیله سواری شخصی برای اهداف سفر و بازه‌های زمانی مختلف

Table 4. Comparison of effective factors in private car choice for different trip purposes and time periods

بازه زمانی	شغلی				تحصیلی				اختیاری			
	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
عدد ثابت	–	-۰/۰۶۹	۰/۲۲۵	-۱/۲۵۳	۲/۶۲۳	۲/۱۸۹	-۱/۵۱۶	-۰/۱۱۰	۰/۰۱۱	۱/۸۹۰	۲/۴۷۸	–
Aco	۱۰/۰۷۸	۱۰/۳۶۶	۱۰/۷۲۲	۱۰/۲۴۴	۱/۲۰۶	۱/۴۶۵	۱/۴۰۴	۱/۲۷۷	۱/۱۵۶	۱/۵۰۲	۲/۱۸۵	۸/۱۶۹
PCBD	۰/۰۷۲	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ACBD	–	–	–	–	–	–	–	–	–	-۰/۳۴۴	–	–
LnTc	-۰/۲۰۹	–	–	–	-۰/۵۹۹	-۰/۳۹۱	-۰/۵۸۳	–	-۰/۲۳۷	–	-۰/۹۴۱	-۰/۸۰۸
Tt	–	–	-۰/۴۳۱	–	–	–	–	-۱/۲۱۲	–	–	–	–
LnNdst	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۲۵۵	۰/۱۰۳

جدول ۵. مقایسه عوامل مؤثر در انتخاب وسیله موتورسیکلت برای هدف سفر شغلی در بازه‌های زمانی مختلف

Table 5. Comparison of effective factors in motorcycle choice for different trip purposes and time periods

بازه زمانی	شغلی			
	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
عدد ثابت	-	۰/۷۱۷	-	-۰/۷۶۵
Amo	۱۰/۲۸۶	۷/۵۸۱	۸/۷۹۹	۹/۹۰۸
lnNdst	-۰/۳۶۵	-۰/۳۵۸	-۰/۳۰۰	-۰/۲۴۹

جدول ۶. مقایسه عوامل مؤثر در انتخاب وسیله اتوبوس برای اهداف سفر و بازه‌های زمانی مختلف

Table 6. Comparison of effective factors in bus choice for different trip purposes and time periods

بازه زمانی	شغلی				تحصیلی				اختیاری			
	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
عدد ثابت	۰/۷۳۲	۰/۸۴۹	۰/۸۹۱	-	۲/۹۴۱	۳/۱۱۲	-	-	۱/۰۸۹	-	۰/۸۴۹	۰/۴۲۲
Tr	۰/۲۹۴	۰/۳۵۶	-	۰/۵۲۳	۰/۲۹۷	-	-	-	۰/۳۸۷	-	-	-
Tin	-	-	-	-	-	۰/۰۴۳	-	۰/۵۵۷	-	۰/۰۲۵	۰/۰۱۱	-
STP/Pop	-	-	-	-	۰/۶۹۶	۰/۸۸۹	-	-	-	-	-	-
Tout	۰/۰۱۳ -	-۰/۰۱۰	۰/۰۲۳ -	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۸
lnNbrd	۰/۳۶۶ -	-	-	-	-	۰/۴۹۶ -	۱/۰۷۱ -	-	۰/۶۵۰ -	۰/۵۵۳ -	۰/۷۳۰ -	-
PCBD	۰/۲۲۳ -	-	-	-	۰/۲۳۰ -	-	-	۰/۹۸۱ -	۰/۱۸۸ -	-	-	-
ACBD	-	۰/۲۵۹	-	-	-	-	-	۰/۶۳۰	-	-	-	۰/۳۸۹
PACBD	-	-	۰/۶۲۴ -	۰/۰۲۹ -	-	۰/۲۱۵	-	-	-	۰/۴۷۳ -	-	-

جدول ۷. ضرایب نکویی برازش، مقادیر لگاریتم تابع درست‌نمایی و تعداد مشاهدات در مدل‌های پیشنهادی

Table 7. Goodness of fit coefficients, log likelihood function values and number of observation in proposed models

آماره	شغلی				تحصیلی				اختیاری			
	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
تعداد مشاهدات	۵۷۵۸	۲۶۶۸	۵۳۹	۵۷۹	۷۸۴۱	۴۹۱۸	۱۰۷۳	۴۹۵	۷۳۷۷	۱۳۰۸	۱۰۹۱	۱۷۱۵
$LL(\beta)$	-۶۸۹۱/۲	-۳۱۹۸/۵	-۶۳۰/۷	-۶۹۱/۳	-۷۵۴۶/۵	-۴۶۷۰/۱	-۹۶۹/۳	-۴۸۳/۳	-۷۶۴۴/۵	-۱۳۷۷	-۸۲۷	-۱۷۰۷/۸
$LL(c)$	-۷۲۶۵/۲	-۳۳۷۷/۳	-۶۶۶	-۷۳۷/۱	-۷۹۹۱/۱	-۴۹۷۳/۴	-۱۰۳۱/۴	-۵۲۱/۴	-۷۹۹۴/۱	-۱۴۳۲/۱	-۸۵۴/۱	-۱۷۵۱/۱
$LL(0)$	-۷۹۸۲/۲	-۳۶۹۸/۶	-۷۴۷/۲	-۸۰۲/۶	-۸۶۳۶/۱	-۵۴۰۲/۹	-۱۱۷۸/۸	-۵۴۳/۸	-۸۱۰۴/۴	-۱۴۳۶/۹	-۱۱۹۵/۵	-۱۸۸۴/۱
ρ_0^2	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۰/۰۵۳	۰/۰۶۲	۰/۰۵۴	۰/۰۶۱	۰/۰۶۰	۰/۰۷۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵
ρ_C^2	۰/۰۵۲	۰/۰۵۱	۰/۰۴۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۶	۰/۰۶۶	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲

یافت. از جمله نتایج مهم، عدم تأثیر زمان سفر در شبکه متراکم در احتمال انتخاب خودروی شخصی برای سفرهای شغلی در اوج صبح است که این موضوع بیانگر بی‌تأثیری زمان سفر در شبکه برای کاربران خودروی شخصی و وابستگی به خودرو در سفرهای شغلی است. در رابطه با سفرهای اختیاری، زمان سفر در تراکم شبکه برای اتومبیل شخصی در بازه زمانی اوج صبح معنادار نشده است که نشانگر عدم تمایل افراد به استفاده از اتومبیل شخصی در اوج صبح دارد و از سوی دیگر، با توجه به ماهیت سفرهای اختیاری اوج صبح (ورزش، خرید و سایر موارد مرتبط)، افراد تمایل بیشتری به استفاده از شیوه‌های فعال همچون پیاده‌روی و دوچرخه دارند. در اوج صبح سفر به مقصدی در منطقه تجاری مرکزی شهر، موجب کاهش مطلوبیت استفاده از سواری شخصی در سفرهای اختیاری می‌شود؛ درصورتی که این متغیر در بازه‌های زمانی دیگر مؤثر نبوده است. ولی با توجه به ضرایب تخمینی در تابع مطلوبیت تاکسی، سفر به مقصدی در ناحیه تجاری حتی در اوج صبح، باعث کاهش مطلوبیت استفاده از تاکسی نیز می‌شود که علت آن همان‌طور که قبلاً بیان گردید، تمایل بیشتر افراد به استفاده از شیوه‌های فعال همچون پیاده‌روی و دوچرخه در سفرهای اختیاری اوج صبح است. با توجه به آستانه قابل‌تحمل پیاده‌روی افراد، در صورتی که فاصله بین مبدأ–مقصد سفرهای اختیاری بیشتر از ۵ کیلومتر باشد، احتمال انتخاب خودروی شخصی در بازه‌های زمانی اوج ظهر و عصر افزایش می‌یابد.

در بازه زمانی ۲۴ ساعت با افزایش نسبت زمان داخل به زمان خارج اتوبوس، احتمال انتخاب اتوبوس در تمامی اهداف سفر افزایش می‌یابد. در بازه زمانی اوج صبح و عصر، با افزایش زمان سفر داخل اتوبوس مطلوبیت استفاده از آن بیشتر می‌شود و در هیچ بازه زمانی زمان سفر بیرون اتوبوس (زمان انتظار) معنادار نشده است. در اوج صبح و اوج ظهر تعویض اتوبوس از مبدأ به مقصد باعث کاهش تمایل استفاده از وسیله نقلیه اتوبوس خواهد شد، ولی در بازه ۲۴ ساعت و اوج عصر این متغیرها معنادار نشده‌اند. در مناطق با نسبت دانش‌آموزان بیشتر، احتمال انتخاب اتوبوس در بازه زمانی ۲۴ ساعته و اوج صبح در سفرهای تحصیلی افزایش خواهد یافت. همچنین در بازه زمانی اوج ظهر، دانش‌آموزان تمایل کمتری در انتخاب تاکسی برای سفرهایی با مسافت‌های طولانی داشته که علت آن وجود سرویس مدرسه و هزینه زیاد تاکسی است.

بر اساس نتایج می‌توان دریافت که در بازه‌های متفاوت زمانی اغلب عوامل مختلفی بر انتخاب وسیله افراد مؤثر است. همچنین در تمام اهداف سفر مالکیت سواری شخصی، فاصله بیش از پنج کیلومتر بین مبدأ و مقصد، مبدأ یا مقصد در محدوده تجاری، زمان سفر درون اتوبوس یا زمان سفر با تاکسی، در بازه‌های مختلف زمانی در انتخاب شیوه سفر مؤثر است؛ اما میزان تأثیرگذاری آن در بازه‌های زمانی مختلف یکسان نیست. در سفرهای شغلی و تحصیلی متغیرهای بیشتری نسبت به سفرهای اختیاری در بازه‌های

جدول ۸. مقایسه تأثیر عوامل مؤثر در تغییر مطلوبیت وسایل مختلف برای اهداف سفر و بازه‌های زمانی مختلف

Table 8. Comparison of the effect of effective factors in changing the utility functions for different trip purposes and time periods

		شغلی				تحصیلی				اختیاری			
	بازه زمانی	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	۲۴ ساعت	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
خودروی شخصی	*Aco*	↑*	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	PCBD	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ACBD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-	-
	LnTc	↓	-	-	-	↓	↓	↓	-	↓	-	↓	↓
	Tt	-	-	↓	-	-	-	-	↓	-	-	-	-
	LnNdst	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	↑
تاکسی	*Aco*	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	llNdst	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	-	-	-
	*D5*lnNdst*	↓	↓	-	-	-	-	-	-	↓	-	-	-
	PACBD	-	-	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	↑
	ACBD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	↑	-
اتوبوس	*Tr*	↑	↑	-	↑	↑	-	-	-	↑	-	-	-
	Tin	-	-	-	-	-	↑	-	↑	-	↑	↑	-
	STP/Pop	-	-	-	-	↑	↑	-	-	-	-	-	-
	Tout	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	↑
	lnNbrd	↓	-	-	-	-	↓	↓	-	↓	↓	↓	-
	PCBD	↓	-	-	-	↓	-	-	↓	↓	-	-	-
	ACBD	-	↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑
	PACBD	-	-	↓	↓	-	↑	-	-	-	↓	-	-
موتور	*Amo*	↑	↑	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
	lnNdst	↓	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	-

* ↑: افزایش، ↓: کاهش و - : عدم معناداری

مختلف معنادار شدند که در هر بازه نیز میزان اثرگذاری آن‌ها متفاوت است، اما بر اساس مدل‌های پیشنهادی، افزایش متوسط سرانه مالکیت وسیله نقلیه سواری شخصی باعث افزایش تمایل استفاده از خودرو در سفرهای اختیاری نیز می‌شود. در انتها به‌منظور تشخیص عوامل مؤثر در افزایش مطلوبیت وسایل نقلیه در بازه‌های زمانی مختلف در یک نگاه، مقایسه‌ای مطابق جدول ۸ صورت گرفته است که نشانگر این موضوع است که نه‌تنها عوامل مؤثر بر انتخاب وسیله سفر و میزان تأثیر هر یک، در بازه‌های زمانی و اهداف مختلف سفر متفاوت است، بلکه به ازای هدف و وسیله سفر یکسان نیز، عوامل مؤثر و میزان تأثیر آن‌ها در بازه‌های مختلف زمانی نیز متفاوت است. در انتها شایان ذکر است که با استفاده از مدل‌های پیشنهادی براساس داده‌های مطالعات جامع شهر مشهد در سال ۱۳۸۹، نتایج این مقاله می‌تواند به منظور تسهیل تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران و استفاده در برنامه‌ریزی کلان‌شهر مشهد کاربردی باشد و با شناسایی نیازهای مختلف افراد در ساعات مختلف شبانه‌روز موجب بهبود سطح سرویس شبکه حمل‌ونقل کلان‌شهر مشهد گردد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

افزایش جمعیت و سرانه مالکیت خودرو موجب شکل‌گیری الگوهای مختلف تقاضا در ساعات مختلف روز شده است. اهمیت زمان در تحلیل تقاضا موجب توسعه چندین نظریه در این زمینه گردید. علی‌رغم اهمیت زمان، پس از بررسی ادبیات موضوع تعداد کمی مطالعه در این زمینه یافت شد. که این موضوع نویسندگان را بر آن داشت که با کمی کردن زمان‌روز در تحلیل تقاضا، به بررسی اهمیت زمان‌روز در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و پرداخت مدل‌های انتخاب وسیله سفر با اهداف مختلف در بازه‌های زمانی اوج و ۲۴ ساعت با استفاده از مدل لوجیت چندگانه برای شهر مشهد بپردازند. در این مطالعه از اطلاعات خانوارها و ماتریس مبدأ–مقصد در ۲۵۳ ناحیه ترافیکی شهر مشهد استفاده شده است که شامل مشخصات اقتصادی–اجتماعی افراد، شبکه حمل‌ونقل، کاربری زمین و خصوصیات سفر است. از مدل انتخاب گسسته لوجیت چندگانه به عنوان ابزار تحلیل و پرداخت مدل‌هایی به تفکیک هدف و زمان شروع سفر جهت تحلیل عوامل مؤثر در انتخاب وسیله و میزان تأثیر (ضرایب) این عوامل استفاده گردید.

نتایج نشانگر این است که نه‌تنها عوامل مؤثر بر انتخاب وسیله سفر و میزان تأثیر هر یک، در بازه‌های زمانی و اهداف مختلف سفر متفاوت است، بلکه به ازای هدف و وسیله سفر یکسان نیز، عوامل مؤثر و میزان تأثیر آن‌ها در بازه‌های مختلف زمانی نیز متفاوت است. در رابطه با سفرهای با اهداف مختلف، می‌توان دریافت که سرانه مالکیت خودروی شخصی در تمامی اهداف و بازه‌های زمانی سفر موجب افزایش تمایل استفاده کاربران از خودروی شخصی و تاکسی می‌شود، اما میزان اثرگذاری آن در بازه‌های مختلف زمانی متفاوت است. افزایش مالکیت خودرو بیشترین تأثیر را بر سفرهای تحصیلی کاربران خودرو شخصی در ساعت اوج ظهر و بر سفرهای شغلی کاربران تاکسی در ساعت اوج ظهر دارد. همچنین در تمامی سفرهای انجام شده با اتوبوس دارای اهداف مختلف سفر، با افزایش تعداد تعویض اتوبوس تمایل استفاده از این وسیله در اکثر بازه‌های زمانی (به‌خصوص در سفرهای تحصیلی در اوج ظهر) کاهش خواهد یافت.

در سفرهای شغلی در اکثر بازه‌های زمانی، افزایش زمان انتظار اتوبوس موجب کاهش مطلوبیت اتوبوس خواهد شد؛ اما در سفرهای اختیاری در اوج عصر، افزایش زمان انتظار اتوبوس تأثیر بسیار کمی در احتمال انتخاب اتوبوس دارد. همچنین، با توجه به ازدحام و ترافیک سنگین در ساعات اوج، تمایل استفاده از موتورسیکلت در شهر مشهد با افزایش سرانه مالکیت موتورسیکلت در سفرهای شغلی افزایش می‌یابد. همچنین تمایل استفاده از تاکسی در سفرهای شغلی با مسافت بیش از پنج کیلومتر کاهش می‌یابد.

در سفرهای تحصیلی با افزایش زمان سفر در شبکه متراکم، مطلوبیت استفاده از سواری شخصی در تمام بازه‌های زمانی کاهش یافته و همچنین با افزایش مسافت سفر در اوج صبح، عصر و ۲۴ ساعت، احتمال انتخاب تاکسی با افزایش مواجه خواهد شد؛ اما در اوج ظهر تمایل استفاده از تاکسی به دلیل وجود سرویس مدرسه و اتوبوس کاهش می‌یابد. قابل ذکر است که با افزایش نسبت جمعیت دانش‌آموزان و دانشجویان به جمعیت ساکن هر منطقه، احتمال انتخاب اتوبوس در سفرهای تحصیلی افزایش می‌یابد.

با توجه به رویکرد افراد در سفرهای اختیاری مبنی بر گذراندن اوقات فراغت، در سفرهایی با مبدأ یا مقصد واقع در محدوده تجاری شهر احتمال انتخاب تاکسی کاهش و مطلوبیت استفاده از اتوبوس بیشتر می‌شود. با توجه به این نتیجه و سیاست دولت‌ها مبنی بر کاهش خودروهای تک‌سرنشین و تشویق افراد به سمت حمل‌ونقل عمومی، بایستی در محدوده تجاری مرکزی و مناطق با کاربری‌های آموزشی خطوط حمل‌ونقل همگانی با سطح سرویس مناسب طراحی گردد. با توجه به تعداد کم مطالعات در این زمینه و اهمیت زمان در تحلیل تقاضا، این پژوهش موجب تسهیل در امر تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزی کلان‌شهر مشهد خواهد شد و لزوماً برای سایر شهرها با این جزئیات قابل کاربرد نیست و تنها پس از طی مراحل انتقال‌پذیری قابل بررسی است.

علی‌رغم وجود رویکردهای مختلف اعمال مدل زمان‌روز در مراحل مختلف فرآیند چهارمرحله‌ای تحلیل تقاضا، در این پژوهش مدل زمان‌روز در مرحله تفکیک وسیله اعمال گردیده است. هر یک از رویکردهای مختلف اعمال مدل زمان‌روز دارای معایب و مزایای مختلفی است که به عنوان پیشنهاد پژوهشی می‌توان در مطالعات بعدی مدل زمان‌روز را در مراحل دیگر فرآیند چهارمرحله‌ای تحلیل تقاضا اعمال و نتایج حاصله را تحلیل و رویکرد بهینه را شناسایی کرد. همچنین به عنوان رویکردی دیگر جهت اعمال زمان‌روز در تحلیل تقاضا، می‌توان از مدل‌های فعالیت مبنا به منظور بررسی دقت تحلیل تقاضا استفاده و نسبت به رویکرد چهار مرحله‌ای سنجیده شود.

منابع

[1] D. Schrank, B. Eisele, T.J.T.A. Lomax, M.T.I.T.T. A, M.U. System, TTI's 2012 urban mobility report, 4 (2012).

[2] H. Haghshenas, F. Hadavand, Development of Citizen's Daily Travel Scheduling Models with the Activity Based Approach with Emphasis on the Behavior of Mode

2665(1) (2017) 51-59.

[15] C.Q. Ho, D.A. Hensher, Joint estimation of mode and time of day choice accounting for arrival time flexibility, travel time reliability and crowding on public transport, (2016).

[16] M.J.T.R.P.E.L. Börjesson, T. Review, Joint RP–SP data in a mixed logit analysis of trip timing decisions, 44(6) (2008) 1025-1038.

[17] S. Hess, Advanced discrete choice models with applications to transport demand, University of London, 2005.

[18] L. Latifi, O. Afsahi, Time of day method, The 13th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, (2013), In Persian.

[19] M. Khan, R.J.T.R.P.A.P. Machemehl, Practice, Commercial vehicles time of day choice behavior in urban areas, 102 (2017) 68-83.

[20] L. Engelson, D. van Amelsfort, The role of volume-delay functions in forecast and evaluation of congestion charging schemes, application to Stockholm, in: European Transport Conference 2011Association for European Transport (AET) Transportation Research Board, 2011.

[21] A.R. Mamdoohi, A., Mirmohammadi, Mixed Logit Model Application in Mode Choice: Case of Mashhad Work Trips, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 49(3), (2017), 581-592, In Persian.

[22] J. de Dios Ortúzar, L.G. Willumsen, Modelling transport, John Wiley & sons, 2011.

[23] M. Mehdizadeh, A. Mamdoohi, T.J.J.o.T. Nordfjaern, Health, Walking time to school, children's active school travel and their related factors, 6 (2017) 313-326.

[24] K.E. Train, Discrete choice methods with simulation, Cambridge university press, 2009.

[25] X. Zhao, X. Yan, A. Yu, P.J.T.B. Van Hentenryck, Society, Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: A comparison of machine learning and logit models, 20 (2020) 22-35.

[26] R. Yashiro, H.J.C.S.o.T.P. Kato, Success factors in the

Choice at the Different Times of the Day (Case Study: Isfahan), 11(3), (2020), 663-683, In Persian.

[3] A.R. Mamdoohi, S. E. Seyed Abrishami, S. Hosseini, Urban Shopping activity duration modeling by Nonparametric- parametric duration models, case of Qazvin city, Quarterly Journal of Transportation Engineering, 8 (1), (2016), 141-154, In Persian.

[4] R.M. Pendyala, Time of Day Modeling Procedures for Implementation in FSUTMS, 2002.

[5] A.-A. Choupani, A.R. Mamdoohi, Population synthesis using iterative proportional fitting (IPF): A review and future research, 17 (2016) 223-233.

[6] L. Zhang, C. Cirillo, C. Xiong, P. Hetrakul, Feasibility and benefits of advanced four-step and activity-based travel demand models for Maryland, 2011.

[7] J.Z.P. Bonnel, M. Lee-Gosselin, J. Zmud, J.-L. Madre, Transport Survey Methods, Emerald Group Publishing Limited, 2009.

[8] M.A. Taylor, D. Scrafton, Review of the Main Roads Western Australia (MRWA) Transport Model: Stage 1: Review of MRWA's Regional Operations Model (ROM), University of South Australia, Transport Systems Centre, 2003.

[9] D.H. van Amelsfort, L. Engelson, Role of Volume-Delay Functions in Forecast and Evaluation of Congestion Charging Schemes: Application to Stockholm, Sweden, 2012.

[10] E. Avallone, T. Baumeister, A. Sadegh, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 11/e, New York: McGraw-Hill, 2006.

[11] S. Ghader, Continuous Choice Models for Time-of-day Choice Modeling Applications, 2019.

[12] S. Ghader, A. Darzi, L. Zhang, Hybrid Choice Framework for Time-of-Day Choice in Trip-Base Models, 2018.

[13] K.-K. Lim, S.J.K.J.o.C.E. Srinivasan, Modeling the choice of time-of-day for joint social-recreational activities, 21(7) (2017) 2859-2867.

[14] R. Shabanpour, N. Golshani, J. Auld, A.J.T.R.R. Mohammadian, Dynamics of activity time-of-day choice,

introduction of an intermodal passenger transportation system connecting high-speed rail with intercity bus services, 7(4) (2019) 708-717.

[27] A.R. Mamdoohi, V.J.I.J.o.T.E. Amini, Bicycle demand: a gender analysis for Tehran, Iran, (2020).

[28] Y. Guo, J. Wang, S. Peeta, P.C.J.T.B. Anastasopoulos, Society, Impacts of internal migration, household registration system, and family planning policy on travel mode choice in China, 13 (2018) 128-143.

[29] D.A. Hensher, J.M. Rose, W.H. Greene, Applied choice analysis: a primer, Cambridge University Press, 2005.

[30] M. Mehdizadeh, T. Nordfjaern, A.J.T. Mamdoohi, The role of socio-economic, built environment and psychological factors in parental mode choice for their children in an Iranian setting, 45(2) (2018) 523-543.

[31] J. Shahi, Updating comprehensive transportation studies in Mashhad, Time of day model, (2010), In Persian.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. R. Mamdoohi, S. Nasiri, M. H. Abbasi, Time of Day Model, a Different Approach to Identify Effective Factors in Mode Choice, Evidence from Mashhad, Amirkabir J. Civil Eng., 53(11) (2022) 4599-4612.

DOI: 10.22060/ceej.2020.18318.6832