

مدل سازی تابع تأخیر میداین شهری – مطالعه موردی شهر رشت

عباس بابازاده^۱، امیرمهرزاد^۲، عارف بابازاده^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

چکیده

زمان سفر و میزان تأخیر در تقاطعات عواملی تأثیرگذار در انتخاب مسیر سفر بوده و به عنوان یکی از پارامترهای مهم در شبیه سازی ترافیکی کاربرد دارد. تأخیر در گره ها - که شامل تقاطعات و میداین هستند - به عوامل مختلفی از جمله حجم جریان ترافیک ورودی ها و خروجی ها ، وضعیت هندسی و فیزیکی میدان، نوع و تعداد تلاقی حرکت ها و هم چنین رفتار رانندگان وابسته است. مدل هایی که پیش از این برای محاسبه تأخیر میداین ساخته شده اغلب یا شامل همه عوامل فوق نبوده و یا بیشتر به شاخص های رفتاری رانندگان پرداخته اند. در این تحقیق که به مطالعه موردی شهر رشت پرداخته شده است، برای میداین بدون چراغ راهنمایی مدلی ارائه شده که شامل همه عوامل مورد اشاره بوده و وضعیت رفتاری رانندگان را نیز لحاظ کرده است. نتایج حاصل از این تحقیق که قابل استفاده در نرم افزارهای تخصیص ترافیک مانند EMME می باشد ، منجر به خروجی های دقیق تر خواهد شد.

کلید واژه : مدلسازی ، میدان ، تابع تأخیر.

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران ، ۰۹۱۲۳۱۶۷۱۵۱ ababazadeh@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل ، ۰۹۱۲۳۱۹۰۹۴۵ amir_mehrzad@hotmail.com

^۳ دانشجوی دکتری راه و ترابری ، ۰۹۳۵۷۲۷۳۲۳۷ arefb1981@yahoo.com

۱- مقدمه

سیستم حمل و نقل از جمله سیستم هایی است که هدف غایی آن ارائه تسهیلات جهت انجام سفر سفر- هر جابه جایی دارای مبدا، مقصد و هدف مشخص است - می باشد. شبکه معابر که شامل راه ها (کمان ها) و نقاط تلاقی آن ها (گره ها) است، بستر یک سیستم حمل و نقل محسوب می شود. از جمله مشخصات فیزیکی کمان های شبکه، تابعی به نام تابع زمان سفر است. تابع زمان سفر به طور معمول، رابطه ای است بین زمان سفر طی یک کمان و جریان ترافیک در آن کمان. در مطالعات حمل و نقل انجام شده برای شهرهای ایران اغلب ساخت توابع تأخیر در گره به تابع تأخیر در تقاطعات بدون چراغ و چراغ دار، محدود شده است. از آن جمله می توان به توابع ساخته شده برای تعیین تأخیر تقاطع های شهر تهران [۱]، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک مشهد [۲] و مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک رشت [۳] اشاره کرد. در این مطالعات از همان تابع تأخیر ساخته شده برای تقاطعات جهت برآورد تأخیر در میدان نیز استفاده شده است. با توجه به تفاوت های عمده در عملکرد یک تقاطع و یک میدان این نوع استفاده با خطا همراه خواهد بود.

هدف از این تحقیق پرداخت تابع تأخیر در میدان براساس اطلاعات جمع آوری شده از میداین بدون چراغ راهنمایی شهر رشت است. جهت اثر سنجی استفاده از توابع تأخیر میدان در نتایج تخصیص ترافیک، از برنامه های نوشته شده در مطالعات جامع حمل و نقل شهر رشت استفاده می شود. این برنامه ها در محیط نرم افزار EMME قابل اجرا است.

۲- مرور منابع

در HCM2010 [۴] تقاطع ها به دودسته تقسیم می شوند. دسته اول تقاطعاتی که همه خیابان های ورودی به آن فرعی و دسته دوم تقاطعاتی که تنها دو خیابان ورودی به تقاطع فرعی است. درواقع تقاطعات براساس حق تقدم دسته بندی شده اند. تابع تأخیر ارائه شده توسط لوو لال [۵] برای محاسبه کل تأخیر وسایل نقلیه شامل دو بخش است. بخش اول شامل زمان انتظار و در صف ماندن وسایل نقلیه جهت رسیدن به تقاطع و بخش دوم زمان تأخیر از لحظه ی رسیدن تا خروج از تقاطع است. کیت و همکاران [۶] مطالعه ای را روی تقاطعات بدون چراغی که فقط خیابان های فرعی ورودی به تقاطع دارای حق تقدم هستند، انجام داده اند. در این مطالعه کل تأخیر خیابان های فرعی به دو بخش تقسیم شده است. بخش اول به زمان انتظار وسیله در صف خیابان ورودی، به منظور رسیدن به تقاطع و بخش دوم به زمان عبور از تقاطع از محل ورود به تقاطع تا خروج از آن مربوط می شود.

سپس به کمک زمان های محاسبه شده یک ضریب همبستگی خطی بین کل تأخیر خیابان فرعی با حجم خیابان فرعی، حجم خیابان اصلی و نسبت حجم به ظرفیت خیابان فرعی محاسبه شده است. در "تابع زمان تاخیر در تقاطعات بدون چراغ راهنمایی مشهد" [۲] ضمن اشاره به این مسأله که تأخیر در تقاطع ها به عوامل متعددی از جمله چگونگی رفتار رانندگان، مشخصات فیزیکی تقاطع و خیابان های ورودی به آن، حجم و ترکیب ترافیک در خیابان های ورودی به تقاطع و حجم ترافیک حرکت های مختلف تقاطع بستگی دارد، در نهایت شکلی از تابع تأخیر را برای تقاطع های بدون چراغ راهنمایی ارائه می دهد که تنها به مشخصات فیزیکی تقاطع و خیابان های ورودی به آن و حجم و ترکیب ترافیک در خیابان ورودی به تقاطع می پردازد. "تابع زمان تاخیر در تقاطعات بدون چراغ راهنمایی تهران" [۱] شباهت های زیادی با "تابع زمان تاخیر در تقاطعات بدون چراغ راهنمایی مشهد" [۲] دارد با این تفاوت که علاوه بر پارامترهای فوق، ضریب تأخیر (که نشان گر تأثیر حق تقدم در تقاطع است) و عرض خطوط حرکتی در ورودی ها نیز در آن لحاظ شده است. تابع تأخیر استفاده شده در مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک رشت [۳] به صورت زیر است که به تفکیک حرکت محاسبه نشده و یک تابع کلی برای گره ها بر اساس ضریب تأخیر و حجم ورودی به گره ارائه شده است. این تابع به صورت رابطه (۱) می باشد:

$$d_i = d_f \times [2.5 + 2(V_i)^2] \quad (1)$$

که در آن:

d_i : تأخیر در گره i (ثانیه)

V_i : حجم جریان ترافیک در گره i (بر حسب وسیله نقلیه هم سنگ سواری در ساعت)

d_f : ضریب تأخیر (ثانیه)

۳- روش مورد استفاده در این تحقیق و عوامل موثر در ساخت تابع تأخیر

مدل کلی مورد استفاده در این تحقیق که بیشتر متأثر از "تابع زمان تاخیر در تقاطعات بدون چراغ راهنمایی تهران" [۱] است به صورت کلی رابطه (۲) است:

$$d_i = d_f \times m_j \times \left[\alpha + \beta \left(\frac{V_i}{W_i \times Q_i} \right)^n \right] \quad (2)$$

که در آن:

d_i : متوسط زمان تاخیر برای هر حرکت خیابان ورودی i جهت عبور از میدان j (ثانیه)

d_f : ضریب تأخیر (ثانیه)

m_j : ضریب سختی حرکت در میدان j
 V_i : کل حجم جریان ترافیک در خیابان ورودی i (بر حسب وسیله نقلیه هم سواری در ساعت)
 W_i : عرض سواره رو خیابان ورودی i (متر)
 Q_i : ظرفیت عملی خیابان ورودی i (بر حسب وسیله نقلیه هم سواری برای عرض یک متر عبور در ساعت)
 α, β و n : پارامترهای مدل

۳-۱- آماربرداری

جهت برداشت اطلاعات حجم وسایل نقلیه، زمان سفر و مشخصات هندسی پس از بازدید با در نظر گرفته معیارهای زیر ۳ میدان به عنوان نمونه انتخاب گردید [۷]. معیارهای مورد نظر عبارتند از:

- میدان حالت خاص نداشته باشد.
- انواع معابر و حجم ها راپوشش دهد.
- نماینده مناسبی برای میداین بدون چراغ سطح شهر رشت باشند.
- در حدامکان ایستگاه های حمل و نقل عمومی قبل و بعداز میدان وجود نداشته یا با میدان فاصله داشته باشد.

با در نظر گرفته موارد فوق میداین زیر به عنوان نمونه انتخاب شده اند:

- میدان بسیج
- میدان شهید خوش خلقت
- میدان مادر

اطلاعات مربوط به میداین فوق در جدول شماره (۱) آورده شده است.

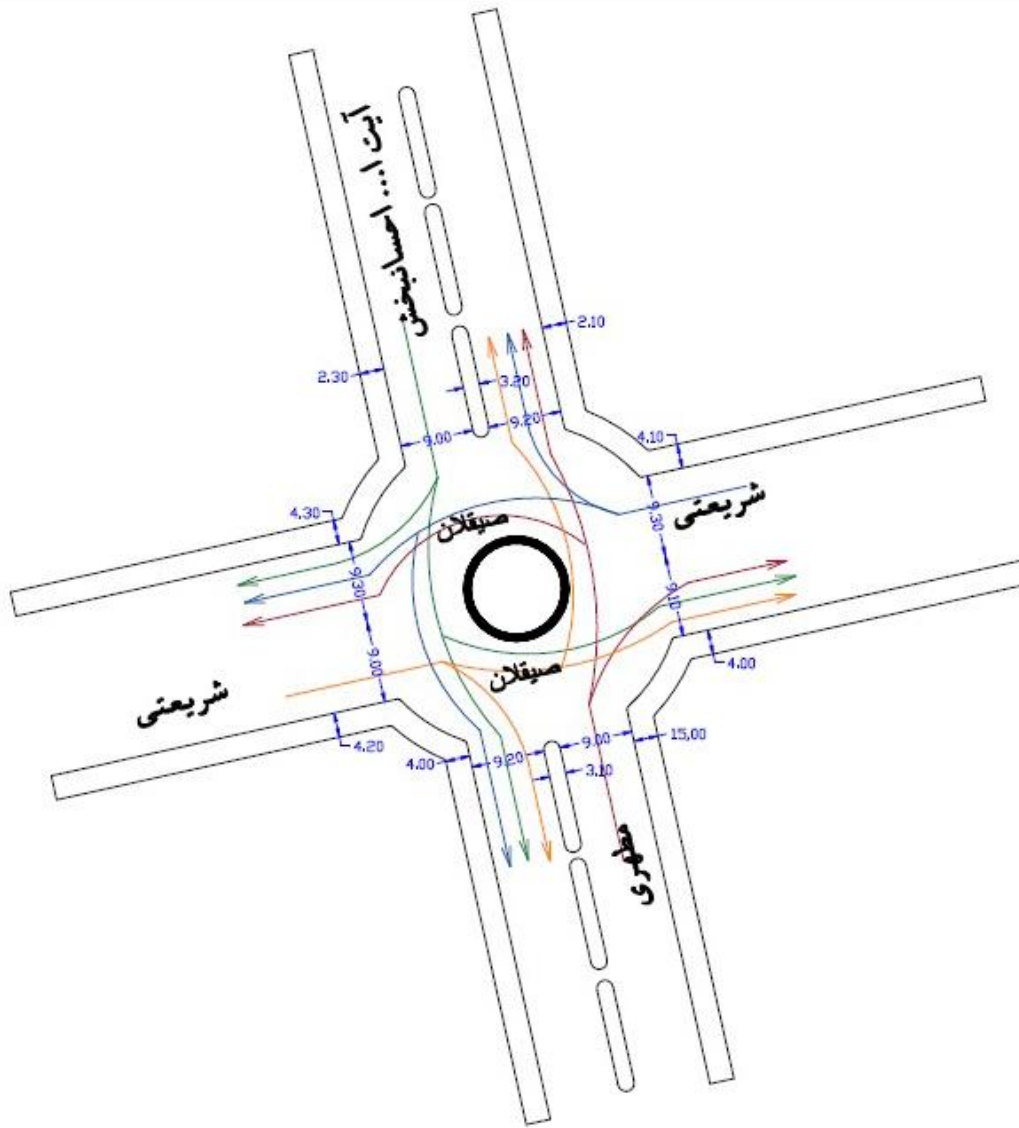
اطلاعات میدانی مربوط به میدان بسیج به عنوان یکی از میداین نمونه های آماربرداری جهت محاسبه زمان تأخیر در جدول شماره (۲) و هم چنین شکل کلی میدان و حرکت های آن در شکل شماره (۱) آورده شده است.

جدول ۱: اطلاعات میدانی نمونه

تعداد نقاط برداشت شده	حرکت های برداشت شده	سختی حرکت							نام میدان	
		سختی حرکت محاسبه شده	نسبت تعداد ورودی به خروجی	تعداد حرکت های ممنوع	تعداد حرکت های آزاد شده	تعداد کمان های دو طرفه دورزدن ممنوع	گردش به راست جدا شده	خروجی		ورودی
۲۲۸	گردش به راست	۱۶	۱	۰	۰	۰	۰	۴	۴	بسج
۲۲۸	مستقیم									
۲۲۸	گردش به چپ									
۱۱۴	گردش به راست	۸	۱	۱	۰	۰	۰	۳	۳	شهید خوش خلقت
۱۱۴	مستقیم									
۵۷	گردش به چپ									
۱۱۴	گردش به راست	۱۳	۱	۰	۰	۰	۳	۴	۴	مادر
۲۲۸	مستقیم									
۲۲۸	گردش به چپ									

جدول ۲: مشخصات معابر ورودی به میدان بسج برای تابع تأخیر در میدانی شهری

فاصله محل برداشت تا میدان	مشخصات هندسی					حرکت های برداشت شده	نوع معبر	خیابان ورودی	نام میدان
	پیاده رو شرقی (خروجی)	سواره رو شرقی	رفوژ میانی	سواره رو غربی (ورودی)	پیاده رو غربی				
۵۵	۲,۱	۹,۲	۳,۲	۹	۲,۳	گردش به راست	شریانی درجه ۱ شعاعی	آیت ... احسانبخش	بسج
۸۰						مستقیم			
۷۵						گردش به چپ			
۵۰	۴	۹,۱	۰	۹,۳	۴,۱	گردش به راست	شریانی درجه ۱ شعاعی	شریعتی شرقی	
۵۵						مستقیم			
۸۰						گردش به چپ			
۷۵	۴	۹,۲	۳,۱	۹	۳,۹	گردش به راست	شریانی درجه ۱ شعاعی	شهید مطهری	
۵۰						مستقیم			
۵۵						گردش به چپ			
۸۰	۴,۳	۹,۳	۰	۹	۴,۲	گردش به راست	شریانی درجه ۱ شعاعی	شریعتی غربی	
۷۵						مستقیم			
۵۰						گردش به چپ			



شکل ۱: مشخصات هندسی و انواع حرکت ها در میدان بسیج

برای محاسبه زمان تأخیر میزان تأخیر مشاهده شده از زمان سفر استاندارد کم شده است. زمان سفر استاندارد با توجه به روش های موجود در "تابع زمان تاخیر در تقاطعات بدون چراغ راهنمایی تهران" [۱] و محل استقرار آمارگیران تعیین گشته است. زمان های تأخیر در بازه های ۵ دقیقه ای برای هر کدام از حرکت ها به تفکیک (گردش به راست، مستقیم، گردش به چپ) برداشت شده و میانگین آن ها برای بازه مورد نظر منظور گردیده است. در انتها میانگین تأخیر برداشت شده در همه حرکت ها به عنوان تأخیر کل خیابان ورودی در نظر گرفته شده است. حجم جریان ترافیک در خیابان

ورودی بر حسب وسیله نقلیه هم سنگ سواری در ساعت، به روش فیلم برداری برداشت شده است. فیلم برداری در سه روز غیرخاص در سه بازه یک و نیم ساعته صبح، ظهر و غروب انجام شده است.

۳-۲- تعیین پارامترهای محاسباتی

مقدار پارامتر d_f (ضریب تأخیر) نشان دهنده اثر حق تقدم هر ورودی نسبت به سایر ورودی های میدان است. واضح است که از دلایلی ایجاد میدان رفع حق تقدم هاست. بنابراین فرض بر این است که کلیه ورودی های میدان بدون حق تقدم است. اما با توجه به این که این پارامتر در تعیین α به طور مستقل تأثیر دارد قابل حذف از مدل نمی باشد. مقدار ضریب تأخیر طبق جدول (3) تعیین می گردد.

جدول 3: ضریب تأخیر

اگر خیابان ورودی بدون حق تقدم باشد	$\frac{1}{2}$
اگر خیابان ورودی شریانی درجه ۱ یا شریانی درجه ۲ و با حق تقدم باشد	$\frac{1}{4}$
اگر خیابان ورودی تندراه، آزاد راه یا جاده اصلی و دارای حق تقدم باشد	$\frac{1}{6}$

M نشان دهنده ضریب سختی حرکت در میدان است. این پارامتر نه تنها به تعداد حرکت های مجاز در میدان، بلکه به عواملی دیگر نیز بستگی دارد. در این تحقیق رابطه (۳) برای تعیین این ضریب به کار رفته است:

$$m = m_1 \times m_2 \quad (3)$$

که در آن m_1 تعداد حرکت های مجاز و تأثیر گذار در تقاطع بوده و از رابطه (۴) به دست می آید:

$$m_1 = m_{11} \times m_{12} - m_{13} - m_{14} - m_{15} \quad (4)$$

که در آن:

m_{11} : تعداد کمان های ورودی به میدان

m_{12} : تعداد کمان های خروجی از میدان

m_{13} : تعداد کمان های دوطرفه دورزدن ممنوع

m_{14} : تعداد حرکت های ممنوع در میدان

m_{15} : تعداد حرکت های آزاد شده

منظور از حرکت های آزاد شده ، حرکت های با مسیر جدا شده در میدان است. m_2 نسبت تعداد ورودی ها به خروجی هادر میدانی است که تعداد ورودی ها و خروجی ها برابر نیست. این عدم تساوی تا میزان ۲۰ درصد می تواند در سختی حرکت موثر باشد. این مقدار از رابطه (۵) به دست می آید:

$$Min \left\{ \frac{\text{تعداد ورودی ها } + 1}{\text{تعداد خروجی ها } + 1} \text{ و } 1.2 \right\} \quad (5)$$

Q_i ظرفیت عملی خیابان است که از مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر رشت استخراج شده است. بر اساس مطالعات مطالعات مذکور این عدد برای معابر شریانی درجه یک حلقوی ۲۶۰، شریانی درجه یک شعاعی ۲۱۵، شریانی درجه دو ۲۳۲، جمع کننده و پخش کننده اصلی ۱۷۰، و جمع کننده و پخش کننده محلی ۱۳۵، می باشد.

A از پارامترهای مدل است که برای محاسبه آن در ساعات خلوت، زمان سفر برداشت شده است. در این ساعات طبق رابطه (۱) حجم نزدیک به صفر بوده و با در نظر گرفتن زمان سفر برای هر کدام از حرکت ها و کسر از زمان سفر با فرض عدم وجود گره (میدان) تاخیر مورد نظر برای تعیین α بدست می آید. α محاسبه شده طبق روش بالا برای رابطه (۱) ، 0.61 ، به دست آمده است.

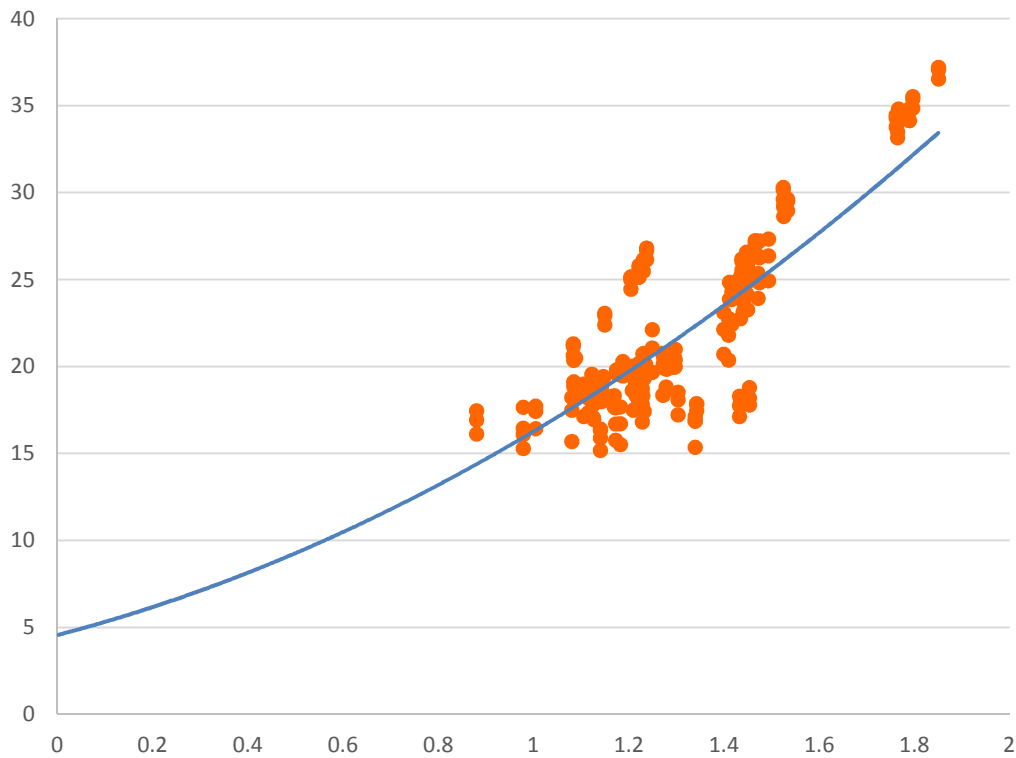
۴- پرداخت مدل

با توجه به مقادیر برداشت شده و محاسبه شده β و n برای رابطه (۱) به روش زیر محاسبه شده است:

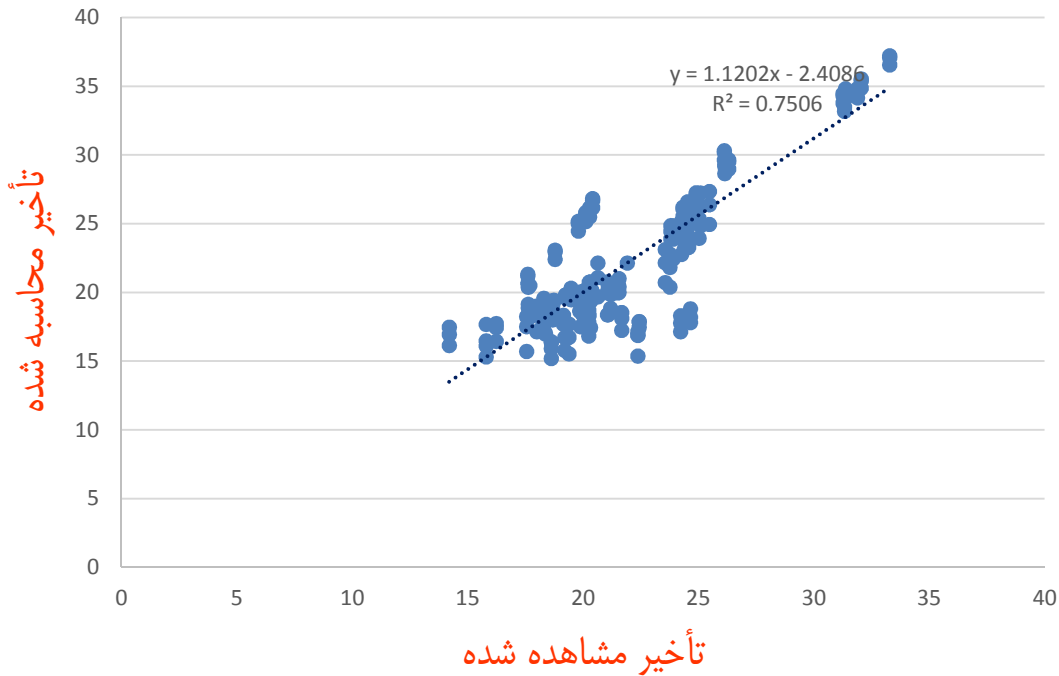
شکل کلی معادله به دست آمده به صورت یک معادله خطی با عدد ثابت است که به کمک نرم افزار SPSS به روش روندگرایی خطی قابل تحلیل است. در نهایت مدل کلی به صورت رابطه (۶) درآمده است:

$$d_i = 0.5 \times m_j \times \left[0.61 + 1.41 \left(\frac{V_i}{W_i \times Q_i} \right)^{1.5} \right] \quad (6)$$

با رابطه فوق مقادیر مختلف تأخیر محاسبه شده است. شاخص برازندگی (R^2) بین مقادیر تأخیر مشاهده شده و محاسبه شده ۰/۷۵ است. در شکل (۲) زمان تأخیر در مقابل مقادیر مختلف ($\frac{V}{Q*W}$) رسم شده است. در شکل (۳) تأخیر مشاهده شده در مقابل تأخیر برآورد شده قرار گرفته است.



شکل (۲) : نمودار زمان تأخیر نسبت به مقادیر مختلف $\frac{Vi}{Wi \times Qi}$



شکل (3) : نمودار نسبت تأخیر مشاهده شده و تأخیر محاسبه شده

محاسبات فوق به تفکیک حرکت ها (گردش به راست ، مستقیم و گردش به چپ) نیز محاسبه شده است که در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۳ : توابع تأخیر برای حرکت های متفاوت در میدان

$d_i = 0.5 \times m_j \times \left[0.83 + 1.58 \left(\frac{V_i}{W_i \times Q_i} \right)^{0.57} \right]$	گردش به چپ
$d_i = 0.5 \times m_j \times \left[0.56 + 1.43 \left(\frac{V_i}{W_i \times Q_i} \right)^{0.97} \right]$	مستقیم
$d_i = 0.5 \times m_j \times \left[0.44 + 2.16 \left(\frac{V_i}{W_i \times Q_i} \right)^{0.57} \right]$	گردش به راست

نتایج مربوط به میدان بسیج به تفکیک هر حرکت در جدول شماره (۴) آورده شده و میانگین آن ها با کل میدان مقایسه شده است.

جدول ۴: مقادیر محاسبه شده برای میدان بسیج

میانگین	تأخیر محاسبه شده	a	میانگین حجم ساعتی	m	تأخیر برداشت شده	df	نوع حرکت
۲۱.۴۸	۲۱.۱۷	۰.۸۳	۸۹۵.۲۸	۱۶	۲۲.۱	۰.۵	گردش به چپ
	۲۸.۰۶	۰.۵۶	۱۴۰۷.۷۱	۱۶	۲۸.۲	۰.۵	مستقیم
	۱۵.۲۰	۰.۴۴	۳۵۰.۶۰	۱۶	۱۵.۹	۰.۵	گردش به راست
۲۱.۹۱		۰.۶۱	۲۶۱۵.۸۵	۱۶	۲۲.۱	۰.۵	کل میدان

۶- نتایج

با توجه تفاوت های نوع کارکرد و شکل میادین در ایران و سایر کشورها مدل ها و روش های ارائه شده قابل تعمیم برای ایران جهت تعیین میزان تأخیر میادین محدود بوده، ضمن آن که عوامل موثر در آن مانند وضعیت فیزیکی و هندسی، شکل رانندگی، نوع تداخل در محیط میدان و غیره در ایران با دیگر کشورها متفاوت است. بنابراین برای تعیین تأخیر در میادین شهری باید مدلی با لحاظ کلیه عوامل موثر در آن ساخته شود. هم چنین مدل های ارائه شده برای تقاطعات جهت استفاده در میدان دقیق نیست. این توابع باید با توجه به تفاوت های تلاقی حرکت ها در میدان و تقاطع و هم چنین تفاوت عوامل موثر در آن ها پرداخت شود.

مدل ساخته شده در این تحقیق علاوه بر آن که اغلب پارامترهای موثر در تأخیر میادین را لحاظ کرده، با توجه به شرایط هندسی و رانندگی ایران پرداخت شده و برای هر حرکت (گردش به چپ، مستقیم، گردش به راست) به طور مجزا پرداخت شده است. میزان شاخص برازندگی (R^2) این مدل هائیز قابل قبول است. هم چنین از مدل ساخته شده می توان به عنوان ورودی نرم افزارهای تخصیص ترافیک نیز استفاده کرد.

۷- مراجع

- [۱]. شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، تابع تأخیر تقاطع های بدون چراغ راهنمایی شهر تهران، دی ماه ۱۳۸۱.
- [۲]. مرکز مطالعات و حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف، تابع زمان تأخیر در تقاطع های بدون چراغ راهنمایی، مطالعات جامع حمل و نقل مشهد، گزارش ۰۴-۷۵، دی ماه ۱۳۷۵.
- [۳]. شرکت اندیشکار، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر رشت، تابع زمان سفر، گزارش ۱۹، خرداد ۱۳۹۰.
- [4]. Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010, Published by the National Research Council, Washington DC.
- [5]. Lu, J and B. Lall, "Empirical Analysis of Traffic Characteristics at Two-Way Controlled Intersection", Transportation Research Record 1495, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [6]. Kyte, M, C. Clemow, N. Mahfood, B. K. Lall, and C. J. Khisty (1990) "Capacity and Delay Characteristics of Two-Way Stop - Controlled Intersection" TRB 1320. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [۷]. طاهر نیا، غ.، مراد پور، الف.، خشایی پور، م.، تعیین توابع در تقاطع های بدون چراغ راهنمایی: مطالعه موردی شهر تهران، اسفند ۱۳۹۱، دوازدهمین کنفرانس بین المللی حمل و نقل و ترافیک، تهران ۸-۱.