فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، ش. ۲، زمستان ۱۳۹۹، ص. ٤٤١-٤٥٥
مقاله پژوهشی

توسعه مدل های برآورد تاخیر کنترلی در میدان های چند خطه (مورد مطالعاتی : میدان های شهر کرمانشاه)

کامران رحیم اف ، گروه راه و ترابری ، دانشگاه پیام نور تهران شمال ، تهران ، ایران

محمود صفارزاده (نویسنده مسئول)، استاد ، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ،ایران

محسن ارجمندی، دانشجوی دکتری ، گروه راه و ترابری ، دانشگاه پیام نور تهران شمال ، تهران ، ایران

E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰٤/۳۰ ۱۳۹۸/۱۲/۲۷

چکیده:

روش های مختلفی برای برآورد تاخیر کنترلی میدانها ارایه شده است که اکثرا مبتنی بر گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه (میدانها در ایالات متحده)و محدود به میدانهای دوخطه می باشند این روابط برای تقاطعهای بدون چراغ و براساس عملکرد ترافیکی این تقاطعها بدست آمده اند.در این تحقیق میدانهای با تعداد خطوط ورودی و گردشی و شعاع جزیره میانی مختلف شبیه سازی شده و بر اساس نتایج شبیه سازی مدلهای تاخیر توسعه داده شدند.مدلسازی و صحت سنجی با استفاده از نرم افزار SPSS 22 و با روش های مختلف شامل رگرسیون خطی،رگرسیون غیر خطی،شبکه عصبی، آنالیز وزنی،رگرسیون طبقه ای بامقیاس بهینه وآنالیز حداقل مجموع مربعات انجام و مدل نهایی براساس بیشترین R^2 انتخاب شد.صحت سنجی مدل منتخب با مقایسه نتایج حاصل از مدلها و مقادیر اندازه گیری شده از مطالعات میدانی در سه میدان با شرایط هندسی و ترافیکی مختلف و انجام آزمون T صورت گرفت.بر اساس نتایج صحت سنجی اختلاف نتایج مدلهای شبیه سازی و مقادیر مطالعات میدانی بین صفر تا ١٤ درصد بود.در سه مورد مطالعاتی انتخاب شده میانگین اختلاف نتایج مدلهای شبیه سازی و مقادیر مطالعات میدانی برابر ۳,۳ و ٤,٨ و ۶ درصد بود که بیانگر صحت مدلهای ارائه شده برای محاسبه تاخیر در میدان های چندخطه است.در این مقاله روابط تاخیر کنترلی بر اساس عملکرد ترافیکی میدان استخراج شد.بنابراین تطبیق بیشتری با عملکرد واقعی میدانها دارند.همچنین برای اولین بار این روابط برای میدانهای چند خطه ارائه شده اند و محدودیت تعداد خطوط میدانهای مورد مطالعه در آیین نامه های موجود(دوخطه)را نیز برطرف می کنند

واژه های کلیدی: میدان های چند خطه ، تاخیر کنترلی ، شبیه سازی ، مدل سازی

۱. مقدمه

امروزه با افزایش وسایل نقلیه، جاده ها و انواع سفرها ، جایگاه و لزوم به کارگیری مهندسی ترافیک در بحث های کلان کشوری، بیش از پیش احساس می شود. مدیران و تصمیم گیران حوزه های شهری، به خصوص در شهرهای بزرگ، همواره به دنبال روشی برای بهبود وضعیت ترافیکی شهرها هستند و از این رو سعی بر آن دارند تا با تکیه بر علوم ترافیک و حمل ونقل و بهره گیری از متخصصان این فن به روش هایی کارا و بهینه در زمینه ترافیک دست پیدا کنند. [Razavian, Aghayan and Haddadi,2018]

میدان ها و سایر تسهیلات با جریان گردشی در راه ها به عنوان ابزارهایی برای کاهش نقاط تداخل و گره های ترافیکی و کاهش توقف و یک راه مدیریتی ساده برای جریان ترافیک شناخته می شوند. امروزه میدان ها به عنوان نوعی از تقاطع های همسطح شهری به شمار می روند و با توجه به تحقیقات صورت گرفته در کشورهای پیشرفته و صاحب فن جهان می توان بیان کرد که میدان ها تحت شرایطی از تقاطع های بدون چراغ کاراتر و ایمن تر عمل خواهند نمود ،البته این موضوع تا زمانی صدق می کند که میدان به ظرفیت خود نرسیده باشد و در صورتی که میدان بیش از ظرفیت اصلی خود تقاضا داشته باشد از حالت کارا و ایمن بیرون خواهد آمد . مزیت اصلی میدان افزایش ایمنی و کاهش تاخیر در ساعات غیر اوج ترافیک است. بنابراین در تقاطع های بدون چراغ که نرخ تصادفات بالایی دارند و یا تاخیرآنها بالاست بررسی گزینه میدان نیز پیشنهاد می شود. [Akcelik,2017]

تعداد قابل ملاحظه میدان ها در محیط های شهری و روند فزاینده رشد جریان ترافیک در شرایط موجود نیاز به ارائه یک روش ارزیابی موثر برای تحلیل و طراحی و آنالیز عملکرد میدان ها را به عنوان یکی از ابزارهای کنترل ترافیک مشخص می سازد. میدان ها تعداد تداخلهای خودرویی در تقاطع را کاهش می دهند و باعث افزایش ظرفیت، ایمنی و کاهش تاخیر در حجمهای کم تا متوسط می شوند.[Essa et al. 2017]

تاخیر کنترلی یک معیار ارزیابی کارایی تقاطع های کنترل شده با تابلوی ایست و احتیاط ، تقاطع های چراغ دار و میدان ها می باشد. طراحی و تحلیل میدان های شهری به عنوان یکی از انواع تقاطع ها، نیازمند شناخت و برآورد دقیق پارامترهای ترافیکی چون حجم ترافیک، ظرفیت، طول صف و میزان زمان تاخیر است. باید توجه داشت که در طراحی میدان هدف اصلی تامین حرکت ایمن برای انواع وسایل نقلیه عبوری از محدوده تقاطع با حداقل تاخیر است و مزیت عمده میادین در عبور ترافیک در شرایط غیراشباع با تاخیر کمتر نسبت به تقاطع غیر چراغ دار است و حال آنکه در شرایط نزدیک به اشباع این مزیت به سرعت از بین می رود.تأخیر در حالت کلی عبارت است از زمان اضافی لازم برای گذر از مسافتی که در آن طول، عاملی از حرکتِ جریان ممانعت می کند. تأخیر در میدان ها اختلاف زمان سفر بین دو حالتی است که وسیله نقلیه بدون تأثیر پذیری از تلاقی با جریان ترافیک گردشی از تقاطع گذر می کند و حالتی که حجم ترافیک گردشی در حرکت وسیله نقلیه تاثیر گذار شده و باعث حرکت کند و توقف وسیله نقلیه می شود که این تاخیر شامل زمانهای کاهش سرعت، حرکت در صف، توقف و افزایش سرعت می باشد. تحلیل عملکرد میدان‌ها و عوامل مؤثر بر آن از قبیل نرخ جریان گردشی، رفتار رانندگان و سرفاصله زمانی عبور، زمان دنباله‌روی، تردد عابران پیاده و مشخصات هندسی نظیر شعاع جزیره میانی، شعاع دایره محیطی میدان ، تعداد خطوط گردشی میدان و تعداد خطوط در هر یک از ورودی‌ها، از اهمیت بسیاری برخوردارند.

برآورد عملکردی میدان‌ها یکی از مباحث مطرح درزمینه مهندسی ترافیک می‌باشد. در آنالیز میدان‌ها، به‌عنوان نوعی از تقاطع بدون چراغ باید نکات مهمی را در نظر گرفت. یکی از این نکات مهم استفاده از روش ارزیابی عملکرد مناسب برای برآورد پارامترهای عملکردی میدان است. به دلیل تفاوت در شرایط ترافیکی و رفتار رانندگان در کشورهای مختلف جهان نمی توان از روش های سایر کشورها به طور مستقیم در تحلیل تقاطع های میدانی کشور استفاده نمود و لزوما این روشها در صورت استفاده باید کالیبره شوند تا با شرایط محلی منطبق گردند. روش های مختلفی برای فرآیند ارزیابی و تحلیل و طراحی و آنالیز عملکرد میدان ها ارایه شده اند که از جمله این روش ها می توان از مدل های محاسباتی HCM2016 NCHRP572,CALIFORNIA,NORTH) TUSCANY) و SR-45 و مدل سوییس و مدل فرانسه نام برد. مدل های محاسباتی موجود که اکثرا مبتنی بر گزارش NCHRP572 (گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) می باشند محدود به میدان های دوخطه بوده و تحلیل رفتار میدان های چندخطه با این مدل ها امکان پذیر نیست. ضمن اینکه اساسا این مدل ها بر اساس روابط ارائه شده برای تقاطع های بدون چراغ بدست آمده اند.[Rahimov, Saffarzadeh and Arjmandi, 2017]

مدلهای ارائه شده بر اساس شبیه سازی ترافیکی با توجه به عملکرد ترافیکی میدان و برای تعداد مختلف خطوط ورودی و گردشی بدست می‌آیند بنابراین می توانند تطبیق بیشتری با عملکرد ترافیکی واقعی میدانها داشته باشند.بر این اساس می توان از این مدل ها در تحلیل و طراحی میدان ها استفاده کرده و بخصوص خلا روابط مربوط به میدان های چندخطه را پر کرد.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات گسترده ای بر روی تحلیل عملکرد میادین صورت گرفته است و این تحقیقات روند تکاملی خود را طی کرده و ادامه دارند. بخشی از این تحقیقات بر روی مقایسه ابزارهای تحلیل میدان (مدل ها و نرم افزارها) می باشند. بسیاری از مدل های موجود مبتنی بر گزارش NCHRP572 (گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) می باشند.از این جمله می توان به مدل HCM2010 مدل SR-45 و مدل NORTH TUSCAY و مدل CALIFIRNIA اشاره کرد.از بین نرم افزارهای تحلیلی نیز نرم افزارهای VISSIMوAIMSUN و PARAMICS وSIDRA را می توان نام برد که در مقایسه با دیگر نرم افزارها بیشتر بکار رفته اند.تحقیقات صورت گرفته توسط Goran Nikolic بر روی نرم افزارهای موجود نشان می دهد که در این بین نرم افزارهای VISSIMوAIMSUN جواب های نزدیکتری به مشاهدات میدانی دارندبخصوص در حالتی که حجم ترافیک به ترافیک اشباع نزدیکتر شود. [Nikolic ,Pringle & Rob ,2010]

تحقیقات صورت گرفته توسط Rahmi Akcelic نشان می دهد که علی رغم اهمیت مشخصات هندسی میدان در عملکرد میدان باید مطابق گزارش NCHRP572 (گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) و متعاقبا HCM2010 با لحاظ کردن خصوصیات رفتار رانندگان مدل های تعیین ظرفیت و تاخیر میدان را تعریف کرد. این در حالی است که در مدل انگلستان مشخصات هندسی میدان به صورت پارامترهای مختلف به صورت پارامترهای جداگانه وارد مدل شده و تاثیرگذاری مستقیم دارند در حالیکه در مدل

HCM2010 مشـــخصـــات هندســـی حداکثر در تعداد خطوط ورودی و گردشـی میدان به صـورت مستقیم و در پارامتر رفتاری رانندگان به صورت غیرمستقیم لحاظ می شود.[Akcelik,2007] تحقیقات صـورت گرفته توسـط Gazzari نشان می دهد که در هر کشـور یا منطقه بر اسـاس رفتار رانندگان باید ابتدا باید فاصله هـای زمانی مناســـب را پیدا کرد و ســـپس از مدل های مبتنی بر NCHRP572 (گزارش شـــمـاره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) استفاده کرد.

لازم به ذکر اسـت مدل NCHRP572(گزارش شـماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) محدود به میادین دوخطه می باشـد و رابطه مستقلی برای محاسبه تاخیرکنترلی ارائه نداده و برای محاسـبه تاخیر از رابطه تقاطع های بدون چراغ استفاده می کند.[Gazzari et al.2013]

تحقیقات صورت گرفته توسط vasconcelos نشان می دهد که در بین مدل های مبتنی بر فاصـله زمانی مدل های تعریف شده بر اســاس گزارش NCHRP572 (گزارش شـــماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) تطبیق بیشـتری از سایر مدل ها نظیر مدل انگلستان و مدل فرانسه و مدل سوییس و مدل آلمان دارند.[Vasconcelos et al.2012]

در تحقیقات صورت گرفته توسط Chen , Lee به مقایسه مقادیر ظرفیت و تاخیر و طول صف بدست آمده از مطالعات میدانی با مقادیر بدست آمده از شبیه سازی با نرم افزارهای RODELوSIDRAوVISSIM پرداخته است. این مطالعات برای میدان های دوخطه انجام شده و نتایج زیر بدست آمده است:

۱- زمانیکه حرکت مســـتقیم در هر دو خط ورودی مجاز باشـــد وسایل نقلیه در خط داخلی سخت تر از خط بیرونی فرصت ورود به میدان را پیدا می کنند. بنابراین وسایل نقلیه در خط سمت چپ با زمان تاخیر و طول صف بیشتری مواجه هستند.

۲- نرم افزارهایRODELوSIDRAوVISSIMمقادیر ظرفیت بیشتری از مقادیر بدست آمده از مطالعات میدانی برآورد می کنند.

۳- نرم افزار SIDRA در شرایط ترافیکی با حجم ترافیک بالاتر مقادیر نزدیک تری به مطالعات میدانی نشان می دهد.

٤- مقادیر پارامترهای بدست آمده از نرم افزار VISSIM از تغییر و نوسان بیشتری نسبت به نرم افزارهای دیگر برخوردارند.

۵- نرم افزارهای RODEL مقادیر تاخیر و طول صف بیشتری از دیگر نرم افزارها و بیشتر از مطالعات میدانی نشان می دهد.

٦- با بالارفتن درجه اشباع ترافیک میدان مقادیر تاخیر و طول صف بدست آمده از نرم افزار RODEL بیشتر اوج می گیرد.

۷- نرم افزارهای SIDRA و VISSIM مقادیر زمان تاخیر و طول صف کمتری از مطالعات میدانی نشان می دهند.
[Chen and, Ming , 2016]

تحقیقات صورت گرفته توسط Kumar در سال ۲۰۱٦ بر روی زمان تاخیر میدان های با ترافیک ناهمگن نشان می دهد پارامترهای ترافیک ورودی و ترافیک گردشی و شعاع جزیره میانی میدان و عرض مسیر های ورودی و گردشی بر روی زمان تاخیر میدان اثر گذار هستند . اگر چه تاثیرگذاری شعاع جزیره میانی میدان چندان قابل توجه نیست. بر اساس این تحقیقات مدل زیر برای محاسبه زمان تاخیر میدان ارائه شده است:

$$Ds = -7.816+0.00708Vs+0.00818Vc-0.067Di+ 0.8048Wc-0.383We \qquad R2=60.2\% \qquad (۱)$$

در این رابطه :

Vs: حجم ترافیک ورودی

Vc: حجم ترافیک گردشی

Di: قطر جزیره میانی

Wc: عرض مسیر گردشی

We: عرض مسیر ورودی

نتایج حاصل از این تحقیق به طور خلاصه به صورت زیر بیان شده است

۱- یک مدل تجربی برای تعیین زمان تاخیر توقف ورودی میدان به صورت تابعی از حجم ترافیک ورودی – حجم ترافیک گردشی- قطر جزیره میانی میدان – عرض مسیر گردشی و عرض ورودی ارائه شده است.

۲- حجم ترافیک ورودی – حجم ترافیک گردشی - عرض مسیر گردشی و عرض ورودی تاثیر قابل ملاحظه ای بر تاخیر توقف دارند. تاثیر گذاری شعاع جزیره میانی میدان نسبتا کمتر است.

۳- عرض مسیر ورودی بیشترین تاثیر را بر زمان تاخیر و عرض مسیر گردشی کمترین تاثیر را بر زمان تاخیر محاسبه شده دارند.

٤- تاخیر ورودی با افزایش حجم ترافیک ورودی – حجم ترافیک گردشی و عرض مسیر گردشی افزایش می یابد . همچنین با کاهش قطر جزیره میانی و عرض مسیر ورودی شاهد افزایش تاخیر خواهیم بود. [Kumar, Ibrahim & Kumar , 2018]

۳. مروری بر روش ها و مدل های موجود تحلیل میدان

۳-۱ روش SR-45

در گزارش شماره ٤٥ مرکز تحقیقات ویژه راه استرالیا ارائه و روابطی برای محاسبه ظرفیت و تاخیر میدان ها ارائه شده است. مطابق این روش ظرفیت میدان از روابط ۲ الی ۵ تعیین می شود:

$$Q_e = \frac{3600\varphi q_c e^{-\lambda(\alpha-\Delta)}}{1-e^{-\lambda\beta}} \quad (۲)$$

$$\lambda = \frac{\varphi q_c}{1-\Delta q_c} \quad (۳)$$

$$\alpha = 2.819\text{-}3.94*10^{-4} q_c \quad (٤)$$

$$\beta = (1.641\text{-}3.137*10^{-4} q_c \alpha) \quad (۵)$$

Q_e: ظرفیت ورودی میدان (veh/h)

q_c :حجم جریان گردشی (veh/h)

α : متوسط فاصله بحرانی

β : سرفاصله زمانی φ : نسبت وسایل نقلیه آزاد

Δ: فاصله زمانی بین گروه وسایل نقلیه($\Delta = 2$ فرض می شود)

مطابق روش SR-45 متوسط تاخیر در ورودی میدان از روابط روابط ٦ الی ۸ تعیین می شود.

$$d_{st} = d_m + \frac{3600kx}{Q_e(1-x)} \quad (٦)$$

$$K = \frac{d_m Q_e}{3600} \quad (۷)$$

$$d_m = \frac{e^{\lambda(\alpha-\Delta)}}{\varphi q_c} - \alpha - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda\Delta^2-2\Delta+2\Delta\varphi}{2(\lambda\Delta+\varphi)} \quad (۸)$$

k: پارامتر تاخیر d_m: حداقل تاخیر X : درجه اشباع $x=\frac{q_c}{Q_e}$

همانطور که ملاحظه شد در این روش در محاسبه مقادیر ظرفیت و تاخیر میدان از پارامترهای حجم ترافیک گردشی و ورودی و مقادیر مربوط به سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در میدان استفاده شده و تاثیر عرض ورودی (تعداد خطوط) و عرض مسیر گردشی (تعداد خطوط) دیده نشده است. در واقع این روش مربوط به میدان های یک خطه می باشد. [Akcelik, Chung & Young, 1992]

۳-۲ روش فرانسه

این روش توسط موسسه دولتی CERTU برای تعیین ظرفیت و تاخیر میدان ارائه شد. این روش هم مبتنی بر تعیین فاصله بین وسایل نقلیه می باشد. مطابق این روش ظرفیت میدان در محیط های شهری از روابط زیر تعیین می شود.

$$C=1500-(\frac{5}{6})*Q_g \quad (۹)$$

$$Q_g = Q_c + \alpha Q_s \quad (۱۰)$$

Q_s: حجم جریان ورودی

Q_c: حجم جریان گردشی

Q_g: حجم جریان بازدارنده

درمحیط های غیرشهری ظرفیت میدان ازروابط زیرتعیین می شود:

$$C=(1330-0.7Q_g)(1+0.1(l_e-3.5)) \quad (11)$$

$$Q_g=[Q_c+\frac{2}{3}Q_s']\left[1-0.085(l_a-8)\right] \quad (12)$$

$$Q_s'=Q_s[\frac{15-l_i}{15}] \quad (13)$$

l_a: عرض خطوط گردشی

l_e: عرض خطوط ورودی

l_i: عرض جزیره میانی

مطابق این روش تاخیر میدان از روابط زیر تعیین می شود:

$$d=\frac{2000+2Q_g}{Q_c-Q_e} \quad (14)$$

$$d=\frac{3600[1-\exp(\frac{Q_d t_f-Q_g t_g}{3600})}{Q_c-Q_d} \quad (15)$$

t_g: فاصله بحرانی (۵,۱۹)

t_f: زمان انتقال (۳,۱۹)

در روش آیین نامه فرانسه در محاسبه مقادیر ظرفیت و تاخیر میدان از پارامترهای حجم ترافیک گردشی و ورودی و عرض مسیر ورودی و عرض مسیر گردشی و قطر جزیره میانی ومقادیر مربوط به سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در میدان استفاده شده است. البته این روش فقط مربوط به میدان های یک خطه است.

۳-۳ روش آیین نامه HCM

این آیین نامه بر اساس تعداد خطوط ورودی و گردشی (تا دو خط) روابط رگرسیونی مختلفی برای محاسبه ظرفیت ورودی میدان ها ارائه داده است. این روابط برای میدان های با ورودی یک خطه و گردشی یک خطه و میدان های با ورودی یک خطه و گردشی دو خطه و میدان های با ورودی دو خطه و گردشی دوخطه ارائه شده اند. این آیین نامه همچنین رابطه ای برای محاسبه تاخیر کنترلی میدان ارائه می دهد.

مشخصه اصلی این روابط تکیه بر تعداد خطوط ورودی و گردشی و حجم ترافیک گردشی و عدم لحاظ مشخصات هندسی میدان است. روش آیین نامه HCM2010 و بطور کلی روش های مبتنی بر NCHRP572 (گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) با منطقی مشابه و مبتنی بر حداقل فاصله زمانی وسایل نقلیه و بر اساس شرایط محلی مربوطه و رفتار رانندگان تعریف شده اند.

رابطه محاسبه تاخیر کنترلی میدان در این آیین نامه به صورت زیر ارائه می دهد.

$$d=\frac{3600}{C_e}+900T[(x-1)+\sqrt{(x-1)^2+\frac{\frac{3600x}{C_e}}{450T}}]+5X \quad (16)$$

ویرایش جدید این آیین نامه(HCM2016) نیز مطابق روش آیین نامه HCM2010 است . در ویرایش جدید تغییرات کوچکی در ضرایب روابط ارائه شده صورت گرفته است اما همان رابطه مربوط به تقاطع عای بدون چراغ برای محاسبه تاخیر ارائه گردیده است.

٤. روش تحقیق

از بررسی مدل ها و روش های موجود برآورد زمان تاخیر میدان به وضوح استنباط می شود که مدل های تاخیر موجود دو مشکل اساسی دارند:

الف- اساسا این مدل ها مربوط به تقاطع های بدون چراغ (حق تقدمی) بوده و منطبق بر رفتار ترافیکی میدان نیستند.

ب- این مدل ها محدود به میدان های دوخطه هستند.

بنابراین نیاز به ارائه روابط تاخیر میدان به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای تحلیل عملکرد میدان به نحوی که بر اساس رفتار ترافیکی میدان استخراج شده باشند و از طرفی دربرگیرنده میدان های چند خطه نیز باشد بطور جدی احساس می شود. در این مقاله روابطی برای برآورد زمان تاخیر کنترلی میدان ارائه می شود که هر دو مشکل مورد اشاره را برطرف می کند. یعنی اولا مدل با شبیه سازی رفتار میدان بدست آمده و ثانیا مدل تا میدان های شش خطه ارائه گردیده است. روابط تاخیر کنترلی ارائه شده بر اساس عملکرد ترافیکی میدان استخراج می شوند ، بنابراین تطبیق بیشتری با شرایط واقعی میدان ها دارند.این روابط برای میدان های چند خطه ارائه خواهند شد ، بنابراین محدودیت تعداد خطوط میدان های مورد مطالعه و ارزیابی عملکرد در آیین نامه های موجود را برطرف خواهند کرد.به عبارت دیگر هدف از انجام این تحقیق ارائه مدل های تاخیر برای میدان های چند خطه بر اساس شبیه سازی ترافیکی و بررسی مقایسه ای این مدل ها با مدل های محاسباتی موجود و نهایتا ارائه مدل تاخیر برای میدان های چند خطه می باشد.

مدل های محاسباتی موجود اکثرا مبتنی بر گزارش NCHRP572 (گزارش شماره ۵۷۲ برنامه هماهنگ ملی تحقیقات راه: (میدانها در ایالات متحده)) می باشند و محدود به میدان های دوخطه می باشند و تحلیل رفتار میدان های چندخطه با این مدل ها امکان پذیر نیست. ضمن اینکه اساسا این مدل ها بر اساس روابط ارائه شده برای تقاطع های بدون چراغ بدست آمده اند.مدل های ارائه شده بر اساس شبیه سازی ترافیکی با توجه به عملکرد ترافیکی میدان و برای تعداد مختلف خطوط ورودی و گردشی بدست می آیند بنابراین می توانند تطبیق بیشتری با عملکرد ترافیکی واقعی میدان ها داشته باشند. بر این اساس می توان از این مدل ها در تحلیل و طراحی میدان ها استفاده کرده و بخصوص خلا روابط مربوط به میدان های چندخطه را پر کرد. بنابراین هدف اصلی تحقیق را میتوان به شرح زیر بیان داشت:

" ارائه مدل تاخیر برای میدان های چند خطه بر اساس شاخصهای هندسی و ترافیکی میدان"

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار شبیه سازی AIMSUN میدان های با تعداد خطوط ورودی و گردشی مختلف شبیه سازی و بر اساس خروجی های نرم افزار برای مقادیر مختلف حجم ترافیک گردشی و ورودی مدل هایی برای محاسبه زمان تاخیر که از مهمترین پارامترهای عملکردی میدان است ارائه شد. در عملیات شبیه سازی و ساخت مدلها، برای محاسبه زمان تاخیر ، ترافیک در شرایط غیر اشباع و به صورت همگن و بر حسب معادل وسیله نقلیه سواری و حداکثر سرعت ٤٠ کیلومتر در ساعت فرض شد. میدان ها به صورت متقارن و چهار شاخه و ترافیک ورودی در تمام رویکردها برابر در نظر گرفته شده و از کل ترافیک ورودی مقادیر مختلفی برای حرکت های گردش به راست و مستقیم و گردش به چپ فرض شدند. درصد ترافیک لحاظ شده برای حرکت های گردش به راست و مستقیم و گردش به چپ به ترتیب در سه حالت (۲۵-۳۵-٤٠) و (۳۳-۳۳-۳۳) و (٤٠-۳۵-۲۵) برای حجم های ترافیک مختلف ورودی (حداقل ۷ و حداکثر۱۱ حجم ترافیک مختلف بر اساس تعداد خطوط ورودی و گردشی مختلف) لحاظ شده اند.میدان ها بر اساس تعداد خطوط ورودی و گردشی (مطابق روش HCM) در ۹ حالت زیر و در هر کدام از حالت ها با سه شعاع جزیره میانی مختلف شبیه سازی شدند:

الف- میدان با ورودی یک خطه و گردشی یک خطه

ب- میدان با ورودی یک خطه و گردشی دو خطه

ج- میدان با ورودی دو خطه و گردشی دو خطه

د- میدان با ورودی دو خطه و گردشی سه خطه

ه- میدان با ورودی سه خطه و گردشی سه خطه

و- میدان با ورودی سه خطه و گردشی چهار خطه

ز- میدان با ورودی سه خطه و گردشی پنج خطه

ح- میدان با ورودی چهار خطه و گردشی پنج خطه

ط- میدان با ورودی چهار خطه و گردشی شش خطه

در حالات مختلف شبیه سازی میدان، میدان هایی با طراحی استاندارد (از نظر تعداد خطوط ورودی و گردشی و منطبق با اصول طراحی هندسی میدان نمی باشند لحاظ نمی شوند.پس از انجام مرحله شبیه سازی که در حدود ۱۰۰۰ حالت انجام شد. مرحله مدل سازی و صحت سنجی با استفاده از نرم افزار SPSS22 و با استفاده از روش های مختلف رگرسیون خطی ، رگرسیون غیر خطی ، شبکه عصبی پرسپترون ،روش آنالیز وزنی ، رگرسیون طبقه ای بامقیاس بهینه و آنالیز حداقل مجموع مربعات انجام و بهترین مدل بر اساس بیشترین R square انتخاب شد.

همانطور که قبلا نیز اشاره شد متغیر های مدل برای هریک از ۹ حالت ذکر شده بر اساس تعداد خطوط ورودی و گردشی شامل حجم ترافیک ورودی ، حجم ترافیک گردشی و شعاع جزیره میانی می باشند. ضمنا در نهایت امکان ارایه یک رابطه واحد برای کل میدان ها با لحاظ کردن تعداد خطوط ورودی و گردشی به عنوان متغیرهای بعدی در کنار سه متغیر فوق بررسی شد.

پس از ارائه روابط مربوط به تاخیر کنترلی میدان با مشخصات ارائه شده و مقایسه در مرحله بعدی به مقایسه نتایج حاصل از مدل ها با مقادیر محاسبه شده از مطالعات میدانی پرداختیم. به این منظور سه میدان با شرایط مختلف هندسی به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده و مقادیر تاخیر کنترلی در این میدان ها تحت شرایط ترافیکی مختلف اندازه گیری شد. مقادیر تاخیر بر اساس تصویربرداری صورت گرفته از میدان های مورد مطالعه که به صورت هلی شات و از ارتفاع مناسب با ارائه تصویر کامل میدان و ترافیک گردشی و ترافیک ورودی و خروجی تمام رویکردها اندازه گیری شدند.مرحله صحت سنجی مدل ها با مقایسه نتایج بدست آمده از مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدل ها در شرایط برابر با مطالعات میدانی صورت گرفت.

مراحل انجام تحقیق به اختصار به شرح زیر می باشد:

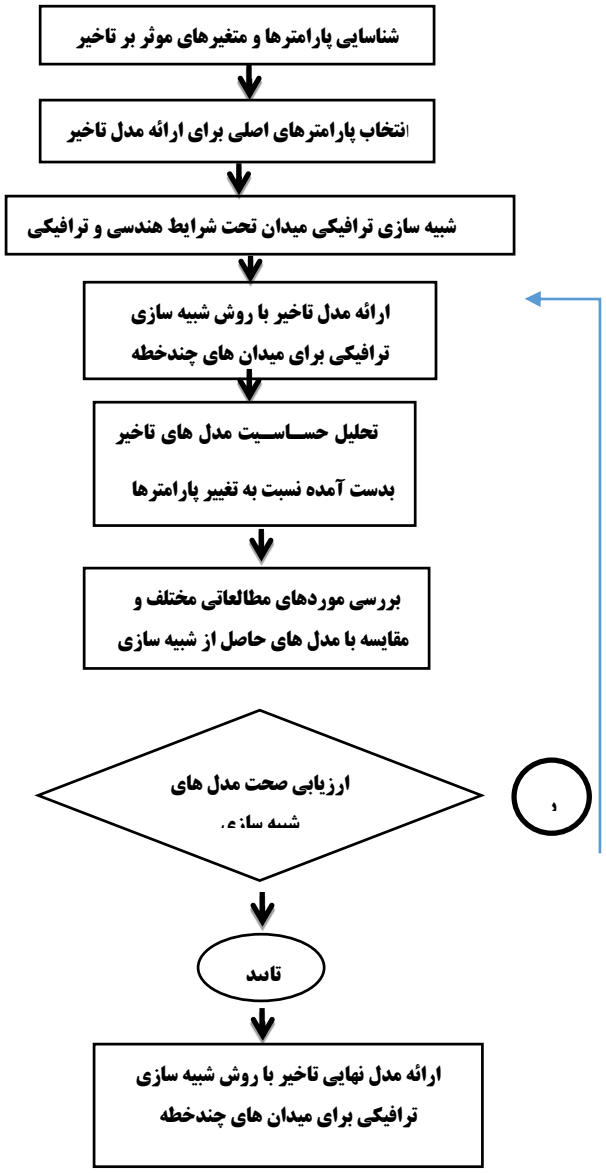
۱. شناسایی پارامترها و متغیرهای موثر بر تاخیر میدان از قبیل حجم ترافیک گردشی و حجم ترافیک ورودی و شعاع جزیره میانی و ..... انتخاب پارامترهای اصلی برای ارائه مدل تاخیر

۲. شبیه سازی ترافیک میدان تحت شرایط هندسی و ترافیکی مختلف و محاسبه تاخیر کنترلی

۳.ارائه مدل تاخیر با روش شبیه سازی ترافیکی برای میدان های یک تا چندخطه بر اساس پارامترهای حجم ترافیک گردشی ، حجم ترافیک ورودی و شعاع جزیره میانی برای میدان با تعداد خطوط ورودی و گردشی مختلف

٤.تحلیل حساسیت مدل های تاخیر نسبت به تغییر پارامترها

۵. بررسی موردهای مطالعاتی با شرایط مختلف و محاسبه زمان تاخیر میدانی در آنها



شکل ۱. فلوچارت مراحل انجام تحقیق

٦.محاسبه زمان تاخیرهای مختلف با مدل های حاصل از شبیه سازی تحت شرایط و پارامترهای مشابه در مورد های مطالعاتی

۷.ارزیابی دقت و صحت مدل های تاخیر ساخته شده بر اساس شبیه سازی ترافیکی با مفایسه خروجی های مدل های شبیه سازی با مورد های مطالعاتی میدانی

۸.ارائه نهایی مدل های تاخیر و ظرفیت برای میدان های چند خطه

۵. ساخت و توسعه مدل تاخیر

در ادامه خلاصه نتایج شبیه سازی های صورت گرفته ، مدل سازی ها ، مطالعات میدانی صورت گرفته ، تحلیل حساسیت و نتایج صحت سنجی ارائه می شود.

۵-۱ مطالعات میدانی

پس از ارائه روابط مربوط به تاخیر کنترلی میدان با مشخصات ارائه شده در این مرحله به مقایسه نتایج حاصل از مدل ها با مقادیر محاسبه شده از مطالعات میدانی پرداخته شد.

بدین منظور سه میدان در سطح شهر کرمانشاه با شرایط مختلف هندسی به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب و مقادیر تاخیر کنترلی در این میدان ها تحت شرایط ترافیکی مختلف اندازه گیری شد. مورد های مطالعاتی شامل میدان فردوسی ، میدان معلم و میدان رسالت بودند.برداشت های میدانی به صورت فیلم برداری هوایی (هلی شات) با تصویر کامل و همزمان از میدان ها و ترافیک ورودی و خروجی و گردشی میدان صورت پذیرفت. فیلم برداری در سه روز متوالی در اردیبهشت ماه (یکشنبه – دوشنبه و سه شنبه) در ساعات ۵ الی ۷ بعدازظهر انجام شد. (شکل های ۲ و ۳ و ٤)

میدان فردوسی با مشخصات هندسی دو خط ورودی و سه خط گردشی و شعاع جزیره میانی ٤٠ متر ، میدان معلم با مشخصات هندسی سه خط ورودی و چهار خط گردشی و شعاع جزیره میانی ۲۵ متر و میدان رسالت با مشخصات هندسی دو خط ورودی و دو

خط گردشی و شعاع جزیره میانی ۱۵ متر با شرایط هندسی و وضعیت ترافیکی متفاوت انتخاب شده اند.

تصویربرداری صورت گرفته از میدان های مورد مطالعه به صورت هلی شات و از ارتفاع مناسب با ارائه تصویر کامل میدان و ترافیک گردشی و ترافیک ورودی و خروجی تمام رویکردها صورت گرفته و مقادیر تاخیر بر این اساس اندازه گیری شدند.

لازم به ذکر است که مرحله صحت سنجی مدل ها با مقایسه نتایج بدست آمده از مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدل ها در شرایط برابر با مطالعات میدانی صورت گرفت.

نتایج بدست آمده از مطالعات میدانی و مقایسه نتایج مطالعات میدانی با خروجی مدل های تاخیر بدست آمده از شبیه سازی در جدول های ۱ و ۳ و۵ پیوست ارائه شده است.

۵-۲ نتایج مدلسازی

مرحله مدل سازی و تحلیل حساسیت با استفاده از نرم افزار SPSS 22 و با بکارگیری روش های مختلف مدلسازی شامل رگرسیون خطی ، رگرسیون غیر خطی ، شبکه عصبی پرسپترون ، روش آنالیز وزنی ، رگرسیون طبقه ای بامقیاس بهینه و آنالیز حداقل مجموع مربعات انجام و مدل نهایی بر اساس بیشترین R^2 انتخاب شد. نتایج مدلسازی به تفصیل در جدول ۷ پیوست و خلاصه نتایج مدلسازی به صورت جدول ۱ است.

بطور کلی مدل ها بیانگر رابطه مستقیم بین تاخیر کنترلی میدان و مقادیر حجم ترافیک ورودی و گردشی و رابطه معکوس بین تاخیر کنترلی میدان و مقدار شعاع جزیره میانی میدان می باشند. یعنی با افزایش مقادیر حجم ترافیک ورودی و گردشی تاخیر کنترلی میدان افزایش یافته و با افزایش شعاع جزیره میانی میدان تاخیر کنترلی کاهش می یابد.

جدول ۱. مدل های تاخیر کنترلی میدان

مدل های تاخیر کنترلی میدان	R^2
میدان با ورودی یک خطه و گردشی یک خطه $D_{11}= 0.011V_i + 0.021V_c - 0.204R + 0.218$	$R^2= 0.833$
میدان با ورودی یک خطه و گردشی دو خطه $D_{12}= 0.009V_i + 0.018V_c - 0.063R - 4.091$	$R^2= 0.847$
میدان با ورودی دو خطه و گردشی دو خطه $D_{22}= 0.017V_i + 0.021V_c - 0.023R - 8.152$	$R^2= 0.839$
میدان با ورودی دو خطه و گردشی سه خطه $D_{23}= 0.006V_i + 0.025V_c - 0.073R - 4.413$	$R^2= 0.889$
میدان با ورودی سه خطه و گردشی سه خطه $D_{33}= 0.010V_i + 0.021V_c - 0.146R - 3.102$	$R^2= 0.911$
میدان با ورودی سه خطه و گردشی چهار خطه $D_{34}= 0.010V_i + 0.027V_c - 0.489R - 1.211$	$R^2= 0.891$
میدان با ورودی سه خطه و گردشی پنج خطه $D_{35}= 0.03V_i + 0.024V_c - 0.751R + 13.402$	$R^2= 0.888$
میدان با ورودی چهار خطه و گردشی پنج خطه $D_{45}= 0.001V_i + 0.032V_c - 0.378R - 2.593$	$R^2= 0.904$
میدان با ورودی چهار خطه و گردشی شش خطه $D_{46}= - 0.007V_i + 0.025V_c - 0.491R + 9.190$	$R^2= 0.882$
میدان با ورودی $\boldsymbol{N_i}$ خطه و گردشی $\boldsymbol{N_c}$ خطه $\boldsymbol{D_{nm}= 0.004V_i + 0.020V_c - 0.094R + 0.773N_i - 1.357N_c + 1.339}$	$R^2= 0.827$

$\boldsymbol{V_i}$: حجم ترافیک ورودی — $\boldsymbol{V_c}$: حجم ترافیک گردشی

$\boldsymbol{R}$: شعاع جزیره میانی — $\boldsymbol{N_i}$: تعداد خطوط ورودی

$\boldsymbol{N_c}$: تعداد خطوط گردشی

$\boldsymbol{D_{ic}}$: تاخیر میدان با ورودی i خطه و گردشی c خطه

جدول۲ – مقادیر آزمون t مدل های تاخیر

مدل	Vi		Vc		R		عدد ثابت	
تاخیر	t	Sig	t	Sig	t	Sig	t	Sig
D_{11}	۱,۳۹۸	۰,۱۶۹	۲,۷۹۹	۰,۰۰۷	−۲,۵۱۶	۰,۱۵	۰,۲۲۳	۰,۸۲۵
D_{12}	۱,٦۰۹	۰,۱۱۵	۳,۹۷۹	۰	−۱,۱۳٦	۰,۲٦۲	−۲,٦٤۰	۰,۰۱۲
D_{22}	۲,۳٤۰	۰,۰۲٤	۳,۱۷۲	۰,۰۰۳	−۰,۹۹۳	۰,۳۲٦	−۳,۸۳۰	۰
D_{23}	−۲,٤۳٦	۰,۰۱۹	۱,۰۷۷	۰,۲۸۷	٤,٤۳۸	۰	−۰,۷٤٦	۰,٤٥۹
D_{33}	−۰,۲۸۷	۰,۷۷٥	۱,٥۲۷	۰,۱۳٤	۳,۸٤۰	۰	−۲,٤۹۷	۰,۰۱٦
D_{34}	۰,٤۸٥	۰,٦۳۰	۳,٦۷۰	۰,۰۰۱	−۱,٦٥۰	۰,۱۰٦	−۰,٤٦۲	۰,٦٤٦
D_{35}	۲,٥۳۲	۰,۰۱٥	۰,٦٤۹	۰,٥۱۹	٤,٤۷۸	۰	−٤,۳۹۳	۰
D_{45}	۰,۲۰۲	۰,۸٤۱	٥,٦۸۱	۰	−۱,۹٤۱	۰,۰٥۸	−۰,٤۳۰	۰,٦٦۹
D_{46}	−۲,۳۰۸	۰,۰۲٤	۸,۱۳٤	۰	−۳,۲٦۲	۰,۰۰۲	۱,۷۱۷	۰,۰۹۰
D_{nm}	۰,۳۸۸	۰,٦۹۸	۸,۳۸٤	۰	−۳,٥۰۸	۰	٦,۲٥۹	۰

٤-۳ بررسی و تحلیل نتایج مقایسه موردهای مطالعاتی با خروجی مدل ها

صحت سنجی مدل ها با مقایسه نتایج بدست آمده از مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدل ها در شرایط برابر با مطالعات میدانی و انجام آزمون T صورت پذیرفت (نتایج در جدول های ۲ و ٤ و٦ ضمیمه). مقایسه نتایج مقادیر تاخیر بدست آمده از مدل ها و مطالعات میدانی در سه میدان که به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شدند نشان دهنده نزدیک بودن این مقادیر با هم و اختلاف قابل چشم پوشی آنها می باشد. به طور کلی اختلاف ها بین صفر تا حداکثر ١٤ درصد می باشند (جدول ۳)که نشان دهنده تطبیق مدل ها با وضعیت واقعی ترافیک در میدان است.مورد های مطالعاتی شامل میدان فردوسی ، میدان معلم و میدان رسالت بودند.در مورد مطالعاتی میدان فردوسی با مشخصات هندسی دو خط ورودی و سه خط گردشی و شعاع جزیره میانی ٤٠ متر ، اختلاف ها حداکثر حدود ۱۲ درصد می باشند. میانگین مقادیر تاخیر برابر ۳٥,۹۹ ثانیه و میانگین مقادیر اختلاف برابر ۱,۷٦ ثانیه است. یعنی درصد اختلاف میانگین ها برابر ٤,۸ درصد است.

شکل۲. میدان فردوسی

شکل۳. میدان معلم

شکل٤. میدان رسالت

همچنین نتایج انجام آزمون T جهت صحت سنجی و مقایسه نتایج مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدلها برای این مورد مطالعاتی در جدول ۲ ضمیمه ارائه شده است.

در مورد مطالعاتی میدان معلم با مشخصات هندسی سه خط ورودی و چهار خط گردشی و شعاع جزیره میانی ۲۵ متر ، اختلاف ها حداکثر حدود ١٤ درصد می باشند. میانگین مقادیر تاخیر برابر ۲۵,۲۱ ثانیه و میانگین مقادیر اختلاف برابر ۱,۵۲ ثانیه است. یعنی درصد اختلاف میانگین ها برابر ٦ درصد است. همچنین نتایج انجام آزمون T جهت صحت سنجی و مقایسه نتایج مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدلها برای این مورد مطالعاتی در جدول ٤ ضمیمه ارائه شده است.

در مورد مطالعاتی میدان رسالت با مشخصات هندسی دو خط ورودی و دو خط گردشی و شعاع جزیره میانی ۱۵ متر ، اختلاف ها حداکثر حدود ۱۳ درصد می باشند. میانگین مقادیر تاخیر برابر ۱۲,۹ ثانیه و میانگین مقادیر اختلاف برابر ۰,٤۳ ثانیه است. یعنی درصد اختلاف میانگین ها برابر ۳,۳ درصد است.(جدول ۲)

همچنین نتایج انجام آزمون T جهت صحت سنجی و مقایسه نتایج مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدلها برای این مورد مطالعاتی در جدول ٦ ضمیمه ارائه شده است.

بطور کلی می توان گفت که مدل ها در پیش بینی وضعیت ترافیک وضعیت قابل قبولی دارند و مقادیر تاخیر کنترلی بدست آمده از مدل ها تطبیق قابل قبولی با واقعیت ترافیکی میدان ها دارند و می توان با اطمینان کافی از مدل ها در مطالعات و برنامه ریزی و تحلیل وطراحی میادین استفاده کرد.

جدول۳ . خلاصه نتایج مقایسه موردهای مطالعاتی و مدل ها

مورد مطالعاتی	تعداد خطوط ورودی	تعداد خطوط گردشی	شعاع جزیره میانی	دامنه اختلاف (درصد)	میانگین اختلاف ها (درصد)
میدان رسالت	۲	۲	۱۵	۰-۱۳	۳,۳
میدان فردوسی	۲	۳	٤۰	۰-۱۲	٤,۸
میدان معلم	۳	٤	۲۵	۰-۱٤	٦

٦. نتیجه گیری

روش های مختلفی که برای محاسبه تاخیر کنترلی ارایه شده اند محدود به میدان های دوخطه می باشند و تحلیل رفتار میدان های چندخطه با این روش ها امکان پذیر نیست. ضمن اینکه اساسا این روش ها بر اساس روابط ارائه شده برای تقاطع های بدون چراغ بدست آمده اند. در این مقاله روابط تاخیر کنترلی میدان بر اساس عملکرد ترافیکی میدان استخراج شدند ، بنابراین تطبیق بیشتری با شرایط واقعی میدان ها دارند. همچنین این روابط برای میدان های چند خطه ارائه شده اند ، بنابراین محدودیت تعداد خطوط میدان های مورد مطالعه و ارزیابی عملکرد در آیین نامه های موجود را نیز برطرف می کنند.

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار AIMSUN میدان های با تعداد خطوط ورودی و گردشی مختلف شبیه سازی شده و بر اساس خروجی های نرم افزار برای مقادیر مختلف حجم ترافیک گردشی و ورودی مدل های رگرسیون غیرخطی برای محاسبه زمان تاخیر که از مهمترین پارامترهای عملکردی میدان است ارائه شدند. در ساخت مدل ها برای محاسبه زمان تاخیر ، ترافیک بر حسب معادل وسیله نقلیه سواری در نظر گرفته شد. میدان ها به صورت متقارن و چهار شاخه و ترافیک ورودی در تمام رویکردها برابر در نظر گرفته شده و از کل ترافیک ورودی مقادیر مختلفی برای حرکت های گردش به راست و مستقیم و گردش به چپ فرض شدند. پس از ارائه روابط مربوط به تاخیر کنترلی میدان با مشخصات ارائه شده (جدول ٤ پیوست و جدول ۳) در مرحله بعدی به مقایسه نتایج حاصل از مدل ها با مقادیر محاسبه شده از مطالعات میدانی پرداخته شد. بدین منظور سه میدان با شرایط مختلف هندسی به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده و مقادیر تاخیر کنترلی در این میدان ها تحت شرایط ترافیکی مختلف اندازه گیری شدند (جدول های ۱ و ۲ و۳ ضمیمه).

مقادیر تاخیر بر اساس تصویربرداری صورت گرفته از میدان های مورد مطالعه که به صـورت هلی شـات و از ارتفاع مناسب با ارائه تصویر کامل میدان و ترافیک گردشی و ترافیک ورودی و خروجی تمام رویکردها اندازه گیری شـدند. مرحله صحت سنجی مدل ها با مقایسه نتایج بدست آمده از مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدست آمده از مدل ها در شـرایط برابر با مطالعات میدانی انجام شـد. بر اساس نتایج صحت سنجی اختلاف نتایج مدل های شبیه سازی و مقادیر مطالعات میدانی بین صفر تا ١٤ درصد(بطور میانگین کمتر از ٦ درصـد)بود.در سـه مورد مطالعاتی انتخاب شـده میانگین اختلاف نتایج مدل های شـبیه سـازی و مقادیر مطالعات میدانی برابر ٣,٣ و ٤,٨ و ٦ درصـد بود که بیانگر صـحت مدل های ارائه شـده برای محاسبه تاخیر در میدان های چندخطه می باشد. نتایج صحت سنجی بیانگر اختلاف قابل صرف نظر مقادیر تاخیر میدانی و نتایج بدسـت آمده از مدل ها و در نتیجه صحت مدل های ارائه شده برای محاسبه تاخیر و ظرفیت میدان های چندخطه می باشند.

٧. مراجع

- Akcelik, Rahmi (2017) "An assessment of the Highway Capacity Manual Edition 6 Roundabout Capacity Model", 5th International Roundabout Conference, Transportation Research Board At: Green Bay, Wisconsin, USA

- Akcelik, Rahmi, Chung , Edward and Young , William (1992) "Comparison of roundabout capacity and delay estimates from analytical and simulation models", Proceeding, 16th ARRB Conference, Perth, Western Australia; Volume 16, Part 5

- Akcelik , Rahmi (2007) "A review of gap acceptance capacity models", 29th Conference of Australian Institutes of Transport Research At: Adelaide, Australia

- Chen, X. and Lee, M. S. (2016) "A case study on multi-lane roundabouts undercongestion: Comparing software capacity and delay estimates with field data " , journal of t raffic and transportation engineering (english edition) ; Vol. 3, Issue 2; pp.154-165

- Essa, Alla Jaber, Ismail, Amiruddin, Jehad, Ali Emad, Hussein, Adheem, Ameer Abdul and Khalaf, Abdullah Hayal (2017) " Development of roundabout delay models using traffic simulation programs: A case study at Al-Mansour City, Iraq" Journal Kejuruteraan, Vol. 29, No. 2, pp. 97-103

-Gazzarri, R, Martello, Souleyrette, A. Pratelli and Antonio Reginald R.(2013) "Gap acceptance parameters for HCM, 2010 roundabout capacity models applications in Italy" , Intersections Control and Safety , p. 1-16

- Nikolic, Goran ,Pringle, Bragg and Kevin, Rob (2010) "Evaluation of analytical tools for the operational analysis of roundabout" , Conference paper, Annual Conference Of The Transportation Association Of Canada At: Halifax, Nova Scotia, Canada

- Kumar, Shashi , Ibrahim, Mohammed and Kumar, S. (2018) "Development of delay models for roundabout with heterogeneous traffic flow condition", Indian J. Sci. Res. Vol. 17, No. 2, pp. 46-57

- Vasconcelos, Luis , Seco , Álvaro, Bastos Silva ,Ana, Tiago, Abreu and Silva, João Pedro

(2012) “A comparison of roundabout capacity models” , 9th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

- Highway Capacity Manual (2016) TRB NCHRP National Cooperative Highway Research Program, "Roundabouts in the United States", NCHRP Report 572, Transportation Research Board of the National Academies, 2007

– رحیم اف، کامران، صـفارزاده ، محمود و ارجمندی،محسـن ، (۱۳۹٦) "طراحی مدل های تحلیل عملکرد میدان های شـهری چند خطه با استفاده از روش شبیه سازی AIMSUN "، هفدهمین کنفرانس بین المللی ترافیک ،تهران

- رضویان ،الهام سادات ، آقایان، ایمان و حدادی، فرهاد (۱۳۹۷) " تحلیـل و مدلسـازی زمان تاخیر در میدان‌های توربو و مدرن" فصلنامه مهندسی حمل و نقل

کامران رحیم اف ، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه آزاد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه آزاد اسلامی اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران – برنامه ریزی حمل و نقل ریلی از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی ترافیک و برنامه ریزی حمل و نقل و ایمنی ترافیک و سیستم های هوشمند ترافیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه پیام نور تهران – شمال است.

محمود صفارزاده ، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال۱۳٦٦ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – راه و ترابری در سال ۱۳۷۰ را از دانشگاه کارلتون، اتاوا، کانادا اخذ نمود. در سال ۱۳۷٤. موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل از دانشگاه کارلتون، اتاوا، کانادا گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیستمهای هوشمند حمل و نقل ایمنی حمل و نقل حمل و نقل هوایی و فرودگاه و مهندسی ترافیک و پایانه های حمل و نقل بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادی در دانشگاه تربیت مدرس است.

محسن ارجمندی ، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه رازی کرمانشاه. و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران– راه و ترابری در سال ۱۳۸۰ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. از سال ۱۳۹٤ دانشجوی دکتری در رشته مهندسی عمران– راه و ترابری دردانشگاه پیام نور تهران – شمال گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی ترافیک است.