



Semnan University



Research Article

## Comparing and Evaluating Types of RCUT Intersection using Traffic Simulation

Samaneh Mohammadi <sup>a</sup> , Ali Abdi Kordani <sup>b\*</sup> , Farzad Moradi <sup>c</sup>

<sup>a</sup> M.Sc., Department of Civil-Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, I. R. Iran.

<sup>b</sup> Professor, Department of Civil-Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, I. R. Iran.

<sup>c</sup> PhD Candidate, Department of Civil-Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, I. R. Iran.

### PAPER INFO

#### Paper history:

Received: 2024-08-30

Revised: 2024-09-28

Accepted: 2024-10-15

#### Keywords:

Simulation;

RCUT;

Intersection;

U-turn;

VISSIM.

### ABSTRACT

The purpose of this study is how the RCUT intersection works in different traffic volumes. To evaluate the intersection, the volume to capacity ratio of 0.9, 0.6, and 0.4 was used to check the performance of the intersection during peak hours. Also, with the aim of choosing the best type of the intersection, changes in the geometric design of the intersection were made and evaluated. Nine scenarios were experienced in four main designs to evaluate all intersection types. These designs include the RCUT intersection, two-lane roundabout, reduced intersection light timing, and dog-bone roundabout. Then, VISSIM software was used to simulate these scenarios and the results of the obtained parameters such as queue length, delay, level of service, number of the vehicle stops and the percentage of pollutants of all scenarios were compared with each other using the multi-criteria decision-making method. Results indicate that the best scenarios included increasing the median width from 7.5 m to 11 m, increasing the median width in the roundabout from 7.5 m to 11.3 m, and increasing the distance of the roundabout from the intersection from 137 m to 183 m, which caused the queue length to decrease by more than 50%. There has been a reduction in delays and stoppages by nearly 20% and associated with pollutants and fuel by nearly 5%. At the end, using the multi-criteria decision-making method, the best scenario, and reducing the optimization of timing of the lights was determined. In this scenario, the queue length results were 50% less than other designs, the level of service was one level higher, and a 25% reduction in delay and stoppages was observed.

\* Corresponding author.

E-mail address: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)

**How to cite this article:** Mohammadi, S., Abdi Kordani, A. & Moradi, F. (2024). Comparing and evaluating the types of RCUT intersection using traffic simulation. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 10(3), 88-110. <https://doi.org/10.22075/jtie.2024.35176.1685>

© 2024 The Author(s). Journal of Transportation Infrastructure Engineering Published by Semnan University Press. This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Semnan University

## مجله زیر ساخت‌های حمل و نقل

وبسایت نشریه: <https://jtie.semnan.ac.ir/?lang=en>

شاپا: 2821-0549



### مقاله پژوهشی

## مقایسه و ارزیابی انواع تقاطع‌های RCUT با استفاده از شبیه‌سازی ترافیکی

سمانه محمدی<sup>۱</sup>، علی عبدی کردانی<sup>۲\*</sup>، فرزاد مرادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد راه و ترابری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

<sup>۲</sup> استاد گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹	<p>هدف از این مطالعه، نحوه عملکرد تقاطع RCUT در احجام مختلف ترافیک است. برای ارزیابی تقاطع، از نسبت‌های حجم به ظرفیت ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۴ استفاده شد تا عملکرد تقاطع در ساعت‌های اوج بررسی گردد. همچنین، با هدف انتخاب بهترین حالت تقاطع، تغییراتی در طرح هندسی تقاطع ایجاد و مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد ۹ سناریو در چهار طرح اصلی جهت ارزیابی همه حالت‌های تقاطع آزمایش شد. این طرح‌ها شامل تقاطع RCUT، دوخطه کردن دوربرگردان، کاهش زمان‌بندی چراغ تقاطع و میدان Dog-Bone Roundabout می‌باشد. سپس برای شبیه‌سازی این سناریوها از نرم‌افزار VISSIM استفاده شد و نتایج پارامترهای به‌دست آمده مانند طول صف، تأخیر، سطح سرویس، تعداد توقف وسایل نقلیه و درصد آلاینده‌ها در همه سناریوها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که برترین سناریوها شامل افزایش عرض میانه از ۷/۵ متر به ۱۱ متر، افزایش عرض میانه در دوربرگردان از ۷/۵ متر به ۱۱/۳ متر و افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع از ۱۳۷ متر به ۱۸۳ متر بودند که سبب کاهش طول صف بیش از ۵۰ درصد، کاهش تأخیر و توقف نزدیک به ۲۰ درصد و در ارتباط با آلاینده‌ها و سوخت نزدیک به ۵ درصد نیز کاهش رخ داده است. در پایان، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، سناریوی برتر، کاهش زمان‌بندی چراغ تعیین گردید. در این سناریو، نتایج طول صف ۵۰ درصد کمتر از سایر طرح‌ها بوده، سطح سرویس یک سطح بالاتر و تا ۲۵ درصد نیز کاهش تأخیر و توقف مشاهده شد.</p>
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴	
واژگان کلیدی:	
شبیه‌سازی؛	
تقاطع RCUT؛	
دوربرگردان؛	
VISSIM.	

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)

استناد به این مقاله: محمدی، س. عبدی کردانی، ع. & مرادی، ف. (۱۴۰۳). مقایسه و ارزیابی انواع تقاطع‌های RCUT با استفاده از شبیه‌سازی ترافیکی. مهندسی زیر ساخت‌های حمل و نقل، ۱۰(۳)، ۸۸-۱۱۰.

## ۱. مقدمه

دوربرگردان صورت می‌گیرد، طرح هندسی و فاصله دوربرگردان از تقاطع از اهمیت بالایی برخوردار است. در این نوع تقاطع، دوربرگردان می‌تواند عاملی برای ایجاد تأخیر جریان ترافیک بوده و همچنین با توجه به نیاز به تغییر خط وسایل نقلیه استفاده کننده از دوربرگردان، حرکت تداخلی نیز اتفاق می‌افتد. بنابراین ضمن تغییر تقاطع چراغ‌دار مرسوم به RCUT جهت روان شدن جریان ترافیک و کاهش تأخیر و از بین بردن گره ترافیکی، می‌بایست جانمایی دقیق و متناسب با طرح هندسی مطلوب برای دوربرگردان آن طراحی نمود.

اصول استاندارد در آئین‌نامه‌های اداره حمل‌ونقل و راه‌های آمریکا و اداره بزرگراه فدرال<sup>۲</sup> در این خصوص وجود دارد.

در این تحقیق، مناسب بودن این نوع تقاطع در محل‌های پرتردد بررسی شده است. همچنین، با ایجاد تغییرات در هندسه تقاطع، انطباق بیشتر با تقاطع‌های پرتردد، ارزیابی گردیده است.

از آنجا که یکی از علل تأخیر، دوربرگردان‌ها هستند، این مطالعه نگاهی ویژه به تقاطع‌های دارای دوربرگردان و استفاده‌کنندگان از آن دارد. در نهایت، با مطالعه و بررسی پارامترهای استاندارد، امکان تغییرشکل تقاطع و محل مناسب برای جانمایی دوربرگردان پیشنهاد می‌گردد. همچنین، به منظور بررسی عملکرد تقاطع RCUT در احجام متفاوت ترافیک، سه نسبت V/C شامل ۰/۹ و ۰/۶ و ۰/۴ در نظر گرفته شد.

برای دوربرگردان موجود در RCUT که نقش مهمی در جریان‌سازی ترافیک دارد نیز فرض شد که دوربرگردان دارای هر دو خط کاهش و افزایش شتاب می‌باشد. همچنین، ۰/۵ وسیله نقلیه سنگین در جریان ترافیک در نظر گرفته شده است.

یکی از عوامل ایجاد تأخیر در جریان ترافیک، وجود تقاطع‌ها است. تقاطع‌های دارای دوربرگردان با تأخیر بیشتر مواجه هستند. در تقاطع‌های با حجم عبور زیاد، با توجه به تعدد وسایل نقلیه، احتمال پس‌زدگی آن‌ها وجود دارد. این مسئله موجب تأخیر در حرکت و ایجاد گره ترافیکی میان دو شاخه تقاطع می‌شود، به همین منظور، تقاطع RCUT برای جایگزینی تقاطع‌های چراغ‌دار مرسوم پیشنهاد می‌شود.

تقاطع‌های U-Turn با عبور محدود که به نام‌های J-Turns یا Superstreets نیز شناخته می‌شوند، نوعی طراحی راه هستند که برای بهبود ایمنی و جریان ترافیک در راه‌های جدا شده با سرعت بالا طراحی شده‌اند.

در این تقاطع، مبنای حرکت دوربرگردان می‌باشد. به طوری که مسیر مستقیم خیابان فرعی حذف شده و استفاده از دوربرگردان جایگزین آن شده است. بنابراین، در یک تقاطع RCUT، رانندگان در راه فرعی از انجام گردش مستقیم به چپ یا عبور مستقیم از بزرگراه اصلی منع می‌شوند. در عوض، این حرکات با هدایت رانندگان به دست می‌آیند که ابتدا به سمت راست به بزرگراه بپیچند، با خط چپ ادغام شده و سپس در یک میانه تعیین شده دورتر از راه فرعی، اقدام به دور زدن می‌نمایند. این نوع تقاطع در محل‌هایی که حجم ترافیک میان مسیر اصلی و فرعی تفاوت زیادی دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عوامل مختلفی در طراحی این نوع تقاطع همچون شکل و المان‌های تقاطع، میانه، خطوط کمکی، شانه‌ها، المان‌های دوربرگردان و امکان تعریض دوربرگردان دخیل هستند (کی و همکاران، ۲۰۱۸).

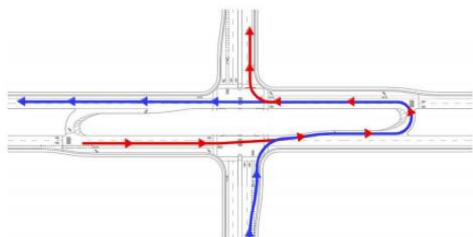
به دلیل اینکه در این تقاطع‌ها حرکت از طریق

<sup>3</sup>- FHWA

<sup>1</sup>- Restricted Crossing U-Turn

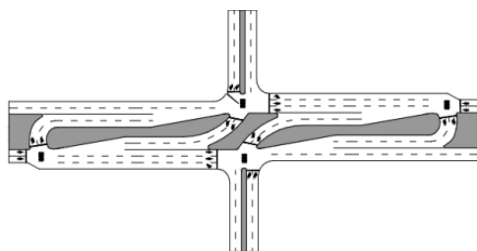
2- AASHTO

عوامل مختلفی در طراحی این نوع تقاطع همچون شکل و امان‌های تقاطع، میانه، خطوط کمکی، شانه‌ها، امان‌های دوربرگردان و امکان تعریض دوربرگردان دخیل هستند (کی و همکاران، ۲۰۱۸).

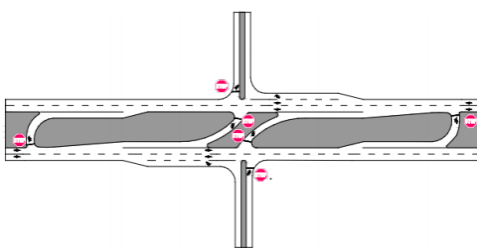


شکل ۴. تقاطع RCUT بدون چپ‌گرد (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

تقاطع‌های RCUT به شکل‌های مختلف شامل چراغ‌دار، کنترل شده با تابلو ایست و کنترل شده با تابلو حق تقدم وجود دارند (شکل‌های ۵ تا ۷).

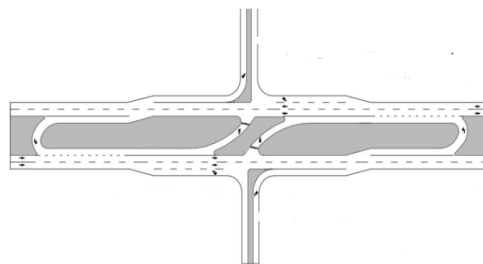


شکل ۵. تقاطع RCUT چراغ‌دار (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)



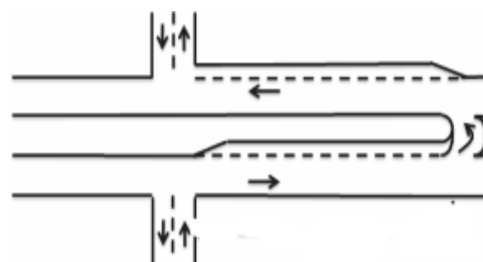
شکل ۶. تقاطع RCUT کنترل شده با تابلو ایست (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

طرح تقاطعی مانند RCUT، اما بدون گردش به چپ اصلی، برای سال‌ها در شریان‌های شهری در شمال آفریقا، خاورمیانه و شبه قاره هند مورد



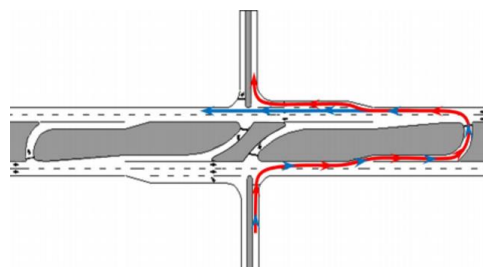
شکل ۱. نمایی از تقاطع RCUT (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

تاکنون در کشور ایران، خصوصاً در معابر شهری، تقاطع RCUT طراحی نگردیده است. محدود تقاطع‌هایی مانند شکل ۲ هستند که به ساده‌ترین شکل RCUT و بدون مسیر چپ‌گرد بیشتر در مسیرهای برون شهری وجود دارند.



شکل ۲. تقاطع RCUT بدون مسیر چپ‌گرد (سان و همکاران، ۲۰۱۷)

نماهای مختلف از تقاطع RCUT در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تفاوت نمونه تقاطع RCUT در شکل‌های ۲ و ۳ در حرکت چپ‌گرد است.



شکل ۳. تقاطع RCUT با چپ‌گرد (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

طولیل باشد. پس نیاز به طرحی متفاوت و ویژه نسبت به انواع دیگر تقاطع می‌باشد (هامر و همکاران، ۲۰۱۴).  
 برخی الزام‌های مورد توجه در طراحی تقاطع RCUT شامل موارد زیر است (هامر و همکاران، ۲۰۱۴):

- مدیریت دسترسی (فاصله معمول، حداقل و حداکثر دوربرگردان)،
- اقدامات مؤثر بر عملکرد،
- در صورت چراغ‌دار بودن تقاطع، در نظر گرفتن طول سیکل قابل قبول، سرعت حرکت، عرض خط،
- وسایل نقلیه طرح در گذرگاه‌ها،
- امکانات عابر پیاده با دسترسی و امکان حرکت برای افراد معلول و کم‌توان،
- پاسخگوی نیازهای اورژانسی.

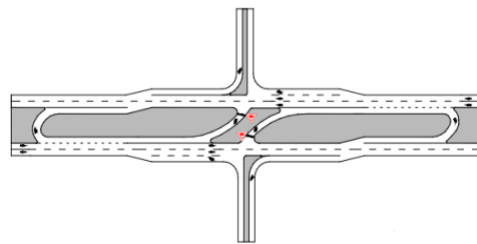
تقاطع RCUT در شریان‌ها کاربرد دارد و در شبکه‌های جمع‌کننده و محلی نیاز نیست. همچنین، این نوع تقاطع برای دو مسیر شریانی نیز مناسب نمی‌باشد. نوع کنترل شده با تابلو ایست و حق تقدم در تقاطع‌های چهارخطه برون‌شهری دارای ایمنی بیشتری است (هامر و همکاران، ۲۰۱۴). تقاطع RCUT پتانسیل جایگزینی با دیگر تقاطع‌ها مانند MUT و DLT را دارد. خلاصه نتایج برخی مطالعات گذشته در خصوص تقاطع‌های RCUT در جدول ۱ ارائه گردیده است.

## ۲. روش تحقیق

در این بخش، روش انجام تحقیق شرح داده می‌شود. ابتدا سناریوهای متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، علاوه بر تقاطع RCUT، طرح‌های دیگری چون دوربرگردان دوخطه، میدان Dog-Bone و کاهش زمان‌بندی چراغ بررسی شده است. مواردی که ممکن است در عملکرد تقاطع اثرگذار باشد شناسایی و مطابق با آن‌ها سناریوها تعریف شدند. پس از این مرحله، از

استفاده قرار گرفته است و برای اکثر این تقاطع‌ها، حتی با حجم ترافیک سنگین طراحی بدون چراغ راهنمایی کارایی دارد.

طرح تقاطع که ما اکنون به عنوان تقاطع RCUT می‌شناسیم اولین بار در ایالات متحده توسط ریچارد کرامر (۱۹۸۰) توسعه یافت و همچنین به طور مستقل در مریلند و کارولینای شمالی نیز طراحی گردید.



شکل ۷. تقاطع RCUT کنترل شده با تابلو حق تقدم (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

توسعه مستقل دیگری از تقاطع RCUT در غرب کارولینای شمالی در یک بزرگراه باریک و پرسرعت با چهار خط از میان کوه‌ها (US-23/74 در نزدیکی Blue Ridge Parkway) رخ داد. در این مکان، دپارتمان حمل‌ونقل کارولینای شمالی (NCDOT) در تلاش بود تا مشکل مربوط به تداخل ناشی از انحراف به چپ ترافیک جزئی خیابان را بدون نصب چراغ راهنمایی کاهش دهد. با این حال، حق تقدم کافی برای گسترش میانه برای ایجاد پناهگاه وجود نداشت. راه‌حل در این مکان، نصب یک سری تقاطع RCUT در سال ۲۰۰۰ بود که به طور مؤثر به کار خود ادامه می‌دهند.

هندس منحصراً به فرد تقاطع RCUT مزایایی برای عابران پیاده و دوچرخه‌سواران دارد. این تقاطع در مقایسه با تقاطع‌های چراغ‌دار مرسوم، موجب کاهش برخورد وسایل نقلیه با عابران پیاده می‌شود. همچنین، مسیر عابران پیاده را کوتاه‌تر می‌کند که باعث سهولت تردد آنها می‌گردد. اما در برخی موارد ممکن است مسیر عابران

مسیر فرعی و برای نسبت حجم به ظرفیت سه نسبت ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۴ در نظر گرفته شده‌اند. خروجی‌های در نظر گرفته شده و مورد نیاز برای بررسی در نرم‌افزار VISSIM شامل طول صف، سطح سرویس، تأخیر وسایل نقلیه، تعداد توقف وسایل نقلیه، درصد آلاینده‌ها و درصد مصرف سوخت می‌باشد.

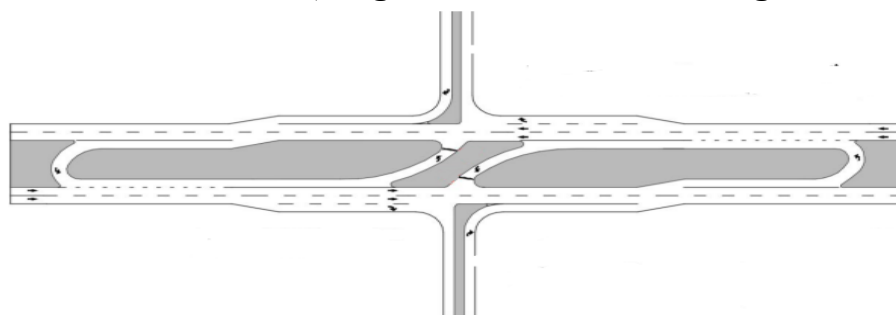
نرم‌افزار SYNCHRO برای طراحی چراغ راهنمایی و نرم‌افزار VISSIM نیز برای شبیه‌سازی سناریوها استفاده شد. در VISSIM، ورودی‌هایی مانند ظرفیت تقاطع، احجام ترافیکی، تعداد خطوط عبوری و نسبت حجم به ظرفیت نیاز است. ظرفیت با محاسبه به‌دست آمده، تعداد خطوط نیز سه خط در مسیر اصلی و دو خط در

#### جدول ۱. خلاصه مطالعات گذشته

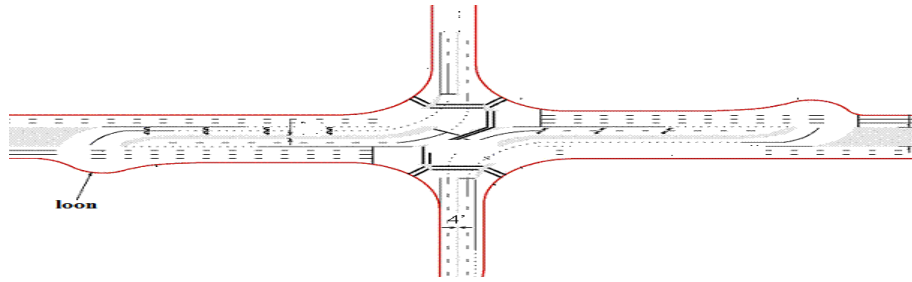
ردیف	نام محقق	عنوان تحقیق	روش تحقیق	نتایج
۱	سان و همکاران (۲۰۱۷)	مطالعه خطوط کاهش و افزایش شتاب و فاصله دوربرگردان با Turn-لدر شبیه‌سازی رانندگی	مدل‌سازی مطابق معیارهای آشتو و شبیه‌سازی آن با دستگاه شبیه‌ساز	وجود خط افزایش شتاب در کنار و فاصله ۲۰۰۰ فوتی برای دوربرگردان، بالعکس برای خط کاهش شتاب فاصله ۱۰۰۰ فوتی مناسب است.
۲	پال میل و همکاران (۲۰۱۷)	بررسی اثر خطوط کمکی بر ایمنی در پایین دست دوربرگردان	بررسی انواع دوربرگردان و برداشت‌های میدانی برای ارزیابی و محاسبه ایمنی	بیشترین loon دوربرگردان‌های دارای ایمنی را داشته‌اند.
۳	انتشارات FHWA (HRT-07-033 ، ۲۰۰۷)	بررسی عملکرد، رفتار و ایمنی میانه دوربرگردان	بررسی شکل‌های مختلف دوربرگردان و اثر هر کدام بر تقاطع	loon عملکرد بهتر دوربرگردان یک طرفه، کمک زیادی به دور زدن وسایل نقلیه سنگین می‌کند.

در، نهایت با روش‌های GEH و T-TEST اعتبارسنجی نتایج انجام می‌شود.

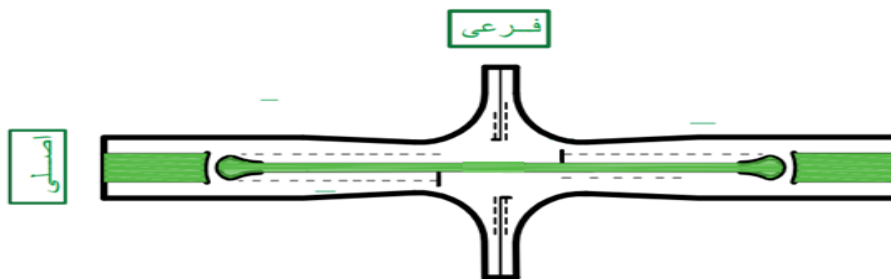
سپس، نتایج حاصل از سناریوهای مختلف را با روش TOPSIS ارزیابی نموده و طرح مطلوب انتخاب می‌شود.



شکل ۸. تقاطع RCUT (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)



شکل ۹. دوربرگردان دوخطه به همراه Loon (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)



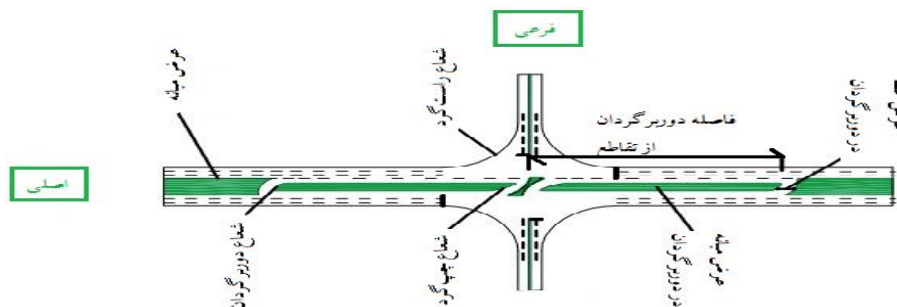
شکل ۱۰. میدان Dog-Bone

- ۵- شعاع گردش راست‌گرد،
- ۶- شعاع گردش چپ‌گرد،
- ۷- عرض خط دوربرگردان.

با استفاده از داده‌های فوق، به‌طور کلی برای چهار طرح، ۱۸۰ سناریوی متفاوت تعریف گردید. سناریوی اول به‌عنوان مدل پایه در نظر گرفته شده و سایر سناریوها بر اساس آن ارزیابی می‌گردد. جدول ۴، مدل پایه تقاطع RCUT را شرح می‌دهد. این سناریو برای تمام طرح‌ها یکسان می‌باشد.

پارامترهای لازم جهت بررسی طرح‌ها به ترتیب زیر و مطابق با شکل ۱۱ انتخاب شدند و همچنین با استفاده از آستو و راهنمای FHWA برای تقاطع RCUT مقادیر مناسب برای هر پارامتر طبق جداول ۲ و ۳ تعیین گردید.

- ۱- عرض میانه در دوربرگردان،
- ۲- عرض میانه،
- ۳- فاصله دوربرگردان از تقاطع،
- ۴- شعاع گردش دوربرگردان،



شکل ۱۱. پارامترهای هندسی موجود در سناریوها

جدول ۲. تقاضا در تقاطع RCUT

مسیر اصلی			مسیر فرعی			V/C	مستقیم (%)	راست‌گرد (%)	چپ‌گرد (%)	دوربرگردان (%)
راست‌گرد (%)	چپ‌گرد (%)	دوربرگردان (%)	مستقیم (ادامه مسیر فرعی) (%)	راست‌گرد (%)	دوربرگردان (%)					
۶۰	۲۰	۱۵	۲۰	۵۰	۳۰	۰/۹	۶۰	۲۰	۱۵	۵
۶۰	۲۰	۱۵	۲۰	۵۰	۳۰	۰/۶	۶۰	۲۰	۱۵	۵
۶۰	۲۰	۱۵	۲۰	۵۰	۳۰	۰/۴	۶۰	۲۰	۱۵	۵

### ۱-۲. سناریوهای تحقیق

- در این تحقیق، چهار طرح مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل‌های ۵ و ۸ و ۹ و ۱۰). این چهار طرح عبارتند از:
- ۱- RCUT استاندارد،
  - ۲- RCUT دارای دوربرگردان دوخطه به همراه Loon،
  - ۳- RCUT با زمان‌بندی‌های مختلف چراغ (طول سیکل‌های ۷۵، ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه)
  - ۴- میدان Dog-Bone

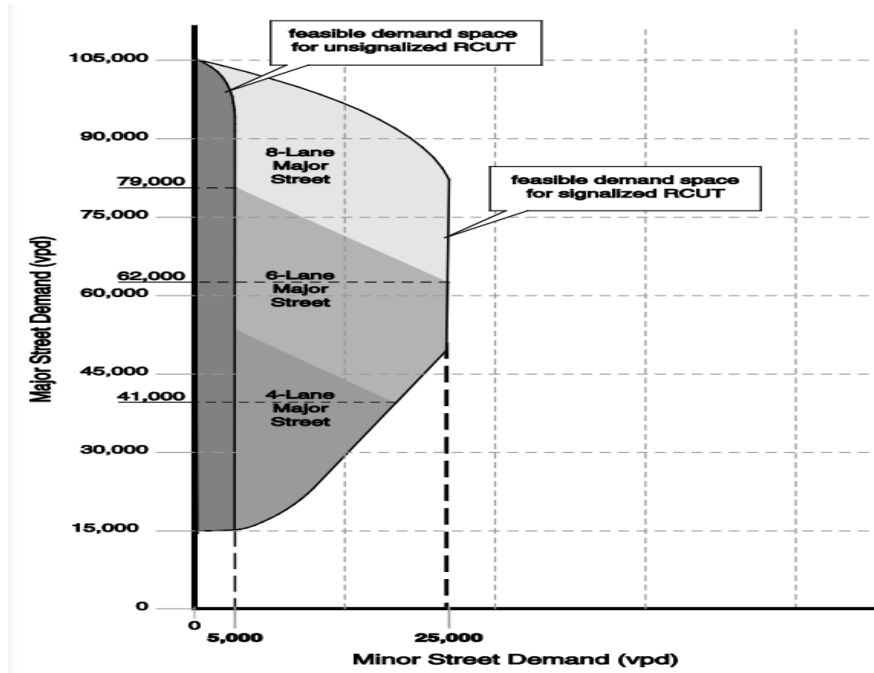
### ۲-۲. مدل‌سازی

پس از تعریف سناریوها، مدل‌سازی انجام می‌شود. ابتدا با استفاده از راهنمای FHWA ظرفیت تقاطع برای سه نسبت حجم به ظرفیت ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۴ محاسبه شد. پس از آن نوع تقاطع مشخص گردید. جهت تشخیص اینکه آیا تقاطع نیاز به چراغ دارد یا خیر از راهنمای FHWA مطابق شکل ۱۲ استفاده گردید که بررسی آن نشان می‌دهد برای نسبت‌های  $v/c$  ۰/۹ و ۰/۶ تقاطع باید چراغ‌دار شود.

جدول ۳. عرضه در تقاطع RCUT

عرض خط	تعداد	عرض میانه در	عرض	فاصله	شعاع گردش	شعاع	شعاع	عرض خط
(فوت)	خط	دوربرگردان (فوت)	میان (فوت)	دوربرگردان از تقاطع (فوت)	دوربرگردان (فوت)	راست‌گرد (فوت)	چپ‌گرد (فوت)	دوربرگردان (فوت)
اصلی - فرعی	اصلی - فرعی	اصلی	اصلی	اصلی	اصلی	اصلی	هر دو	اصلی
۱۰ - ۱۱/۵	۲ - ۳	۲۴/۵	۵۲/۵	۴۵۰	۲۵	۱۴۰	۱۱۰	۳۰
۱۰/۶ - ۱۲/۰	۳ - ۴	۳۷	۶۵	۶۰۰	۳۵	۱۸۰	۱۴۰	۴۵
۱۱/۵ - ۱۲/۵				۸۰۰		۲۱۰		





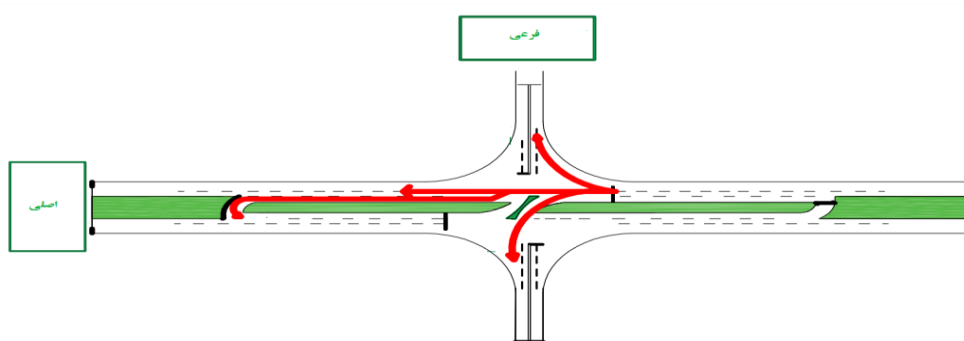
شکل ۱۲. راهنمای انتخاب نوع تقاطع RCUT (FHWA)

- ۱- طول صف،
- ۲- سطح سرویس،
- ۳- تأخیر وسایل نقلیه،
- ۴- تأخیر ناشی از توقف وسایل نقلیه،
- ۵- طول صف،
- ۶- سطح سرویس،
- ۷- تأخیر وسایل نقلیه،
- ۸- تعداد توقف وسایل نقلیه،
- ۹- درصد آلاینده‌ها،
- ۱۰- درصد مصرف سوخت.

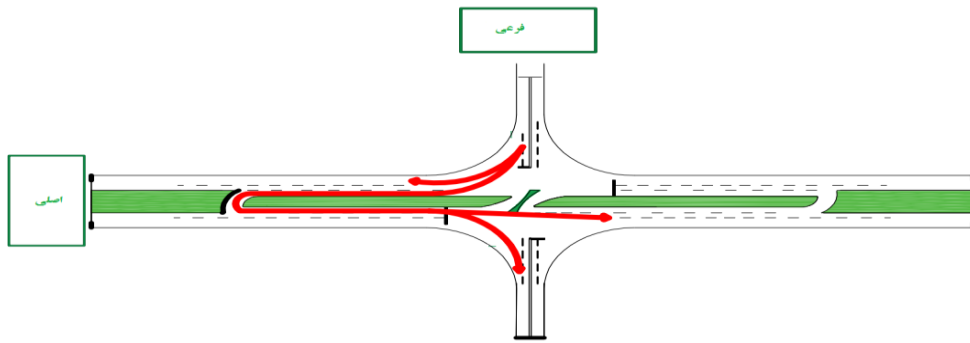
بنابراین با استفاده از نرم‌افزار SYNCHRO و راهنمای FHWA برای تقاطع چراغ طراحی شد. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف ذکر شده و زمان‌بندی چراغ، مدل‌سازی در نرم‌افزار VISSIM انجام می‌شود. داده‌های مورد نیاز شامل ظرفیت، زمان‌بندی چراغ، تعداد و عرض خطوط عبوری هستند. در شکل ۱۳، حرکت‌های مسیر اصلی و شکل ۱۴ حرکت‌های مسیر فرعی نمایش داده شده‌اند. همچنین، شبکه مورد نظر جهت استخراج خروجی مطابق شکل ۱۵ است. پارامترهای مد نظر برای خروجی نتایج عبارتند از:

جدول ۴. مدل پایه تقاطع RCUT

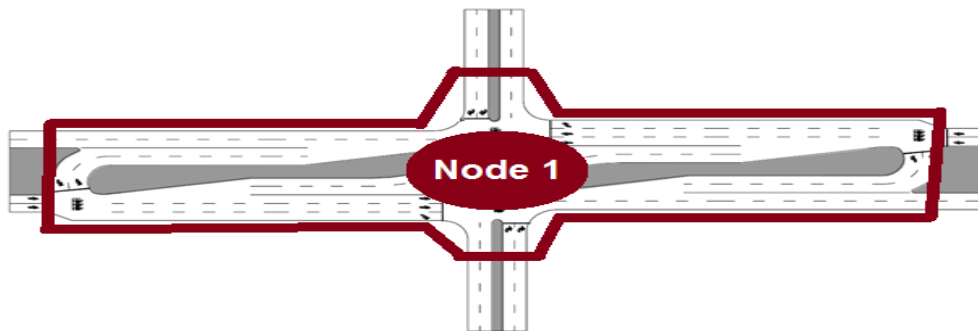
مقدار (M) FT	پارامتر هندسی
۰/۹	V/C
(۳/۵) ۱۱/۵ ft	عرض خط مسیر اصلی
(۳) ۱۰ ft	عرض خط مسیر فرعی
۳	تعداد خط مسیر اصلی
۲	تعداد خط مسیر فرعی
(۷/۵) ۲۴/۵ ft	عرض میانه در دوربرگردان
(۱۶) ۵۲/۵ ft	عرض میانه
(۱۳۷) ۴۵۰ ft	فاصله دوربرگردان از تقاطع
(۷/۶) ۲۵ ft	شعاع دوربرگردان
(۴۳) ۱۴۰ ft	شعاع راست‌گرد
(۳۳/۵) ۱۱۰ ft	شعاع چپ‌گرد
(۹/۱۵) ۳۰ ft	عرض خط در دوربرگردان



شکل ۱۳. حرکت‌های مسیر اصلی



شکل ۱۴. حرکت‌های مسیر فرعی



شکل ۱۵. شبکه مورد بررسی در نرم‌افزار (هامر و همکاران، ۲۰۱۴)

### ۲-۳. تصمیم‌گیری انتخاب چند معیاره

جهت انتخاب سناریوی مطلوب، دو معیار شامل انتخاب طرح مطلوب از بین چهار طرح بیان شده و دیگری انتخاب پارامتر هندسی مطلوب از میان پارامترهای بیان شده در نظر گرفته شده است. از روش TOPSIS جهت انتخاب طرح مطلوب استفاده شده است. در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم، شامل معیار و گزینه‌های مد نظر را تشکیل داده سپس با استفاده از رابطه (۱) تمام درایه‌ها به درایه‌های بدون بعد تبدیل می‌گردند.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

که  $r_{ij}$  درایه بی‌بعد شده و  $x_{ij}$  درایه‌های ماتریس تصمیم است. سپس، برای هر گزینه وزن اختصاص داده شده و ماتریس وزن‌دار تشکیل می‌گردد. ماتریس وزن‌دار طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$V_{ij} = \Gamma_{ij} * \text{وزن هر معیار} \quad (2)$$

که  $V_{ij}$  = ماتریس بی‌وزن  
سپس، معیارهای مثبت و منفی تعیین می‌گردند. معیارهایی که افزایش آن‌ها باعث بهبود عملکرد می‌شود معیار مثبت و معیارهایی که کاهش آن‌ها باعث بهبود عملکرد می‌شود معیار منفی هستند. سپس جدولی تشکیل داده و برای هر معیار، ایده‌آل مثبت و منفی تعیین می‌شود. برای مثال، طول صف که یک معیار است هرچه کمتر باشد عملکرد بهتر است؛ پس معیار منفی محسوب می‌شود. در مرحله بعد، باید مقدار فاصله هر گزینه با ایده‌آل منفی و مثبت خود محاسبه شود. روابط (۳) و (۴) فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی را به ترتیب نشان می‌دهند.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^+)^2} \quad (3)$$

نموده و تعداد وسایل نقلیه عبوری در یک ساعت برای هر رویکرد برداشت می‌شود. سپس همان تقاطع در نرم‌افزار VISSIM مدل شده و تعداد وسایل نقلیه عبوری در یک ساعت محاسبه می‌گردد. در مورد نتایج حاصل از رابطه GEH سه حالت رخ می‌دهد:

۱- عدد به دست آمده کمتر از ۵ نشان‌دهنده صحت نرم‌افزار؛

۲- عدد به دست آمده بین ۵ و ۱۰ نشان‌دهنده نیاز به بررسی است و

۳- عدد به دست آمده بیشتر از ۱۰ نشان‌دهنده مشکلی در نرم‌افزار است.

در روش دوم یا T-TEST نیز همان برداشت‌ها مجدداً بررسی گردید. T-TEST برای تعیین اختلاف معناداری میانگین یک گروه با یک مقدار پیش فرض و یا میانگین‌های دو گروه به کار می‌رود.

### ۳. نتایج

ابتدا نتایج چراغ‌دار کردن تقاطع با استفاده از نرم‌افزار SYNCHRO، سپس نتایج شبیه‌سازی‌های سناریوها در نرم‌افزار VISSIM و مقایسه نتایج با یکدیگر ارائه شده است. سپس، نتایج حاصل از روش TOPSIS جهت انتخاب گزینه مطلوب تعیین و در پایان اعتبارسنجی نتایج ارائه شده است.

#### ۳-۱. نتایج نرم‌افزار SYNCHRO

راهنمای FHWA طول سیکل را در محدوده ۹۰ تا ۱۸۰ ثانیه و زمان سبز را ۶۰ تا ۸۰ درصد پیشنهاد نموده است. بنابراین با در نظر گرفتن این محدوده‌ها، نتایج زیر حاصل شد:

۱- طول سیکل ۱۴۲ ثانیه

۲- زمان سبز برای مسیرهای اصلی و مستقیم ۷۴ ثانیه

۳- زمان سبز برای دوربرگردان و چپ‌گرد ۶۰ ثانیه  
نتایج فوق جهت بررسی RCUT استاندارد استفاده شد.

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^-)^2} \quad (4)$$

$d_i^+$  = فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت

$d_i^-$  = فاصله هر گزینه از ایده‌آل منفی

$v_{ij}^+$  = ایده‌آل مثبت

$v_{ij}^-$  = ایده‌آل منفی

$v_{ij}$  = ماتریس بی‌وزن

در مرحله آخر، شاخص رتبه‌بندی گزینه‌ها طبق رابطه ۵ محاسبه شده و گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. مقدار به دست آمده از رابطه ۵ هرچه به یک نزدیک‌تر باشد به معنی بهتر بودن آن گزینه است.

$$cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (5)$$

$cl_i$  = شاخص رتبه‌بندی گزینه‌ها

#### ۲-۴. اعتبارسنجی

برای اطمینان از صحت نتایج به دست آمده از نرم‌افزار و میزان نزدیک بودن آنها به واقعیت، نیاز به اعتبارسنجی است. برای این مسئله از روش‌های آماری استفاده شده است. دو روش برای اطمینان بیشتر انتخاب شدند که شامل GEH و T-TEST می‌باشد. برای انجام این دو روش به دو دسته داده‌های آماری شامل برداشت میدانی و نرم‌افزاری نیاز است. روش GEH به ترافیک ساعتی نیاز دارد. رابطه (۶) روش GEH را نمایش می‌دهد.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (6)$$

$M$  = ترافیک ساعتی حاصل از نرم‌افزار

$C$  = ترافیک ساعتی حاصل از برداشت میدانی

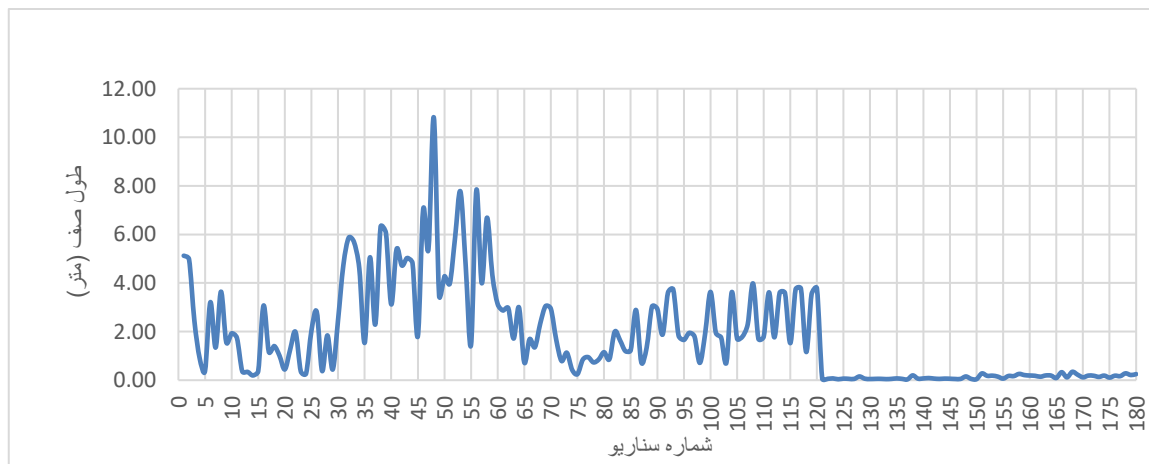
برای انجام این روش، تقاطعی شهری انتخاب

### ۲-۳. نتایج نرم افزار VISSIM

ابتدا نتایج حاصل از شبیه سازی سناریوهای مختلف تقاطع RCUT ارائه و سپس به بررسی پارامترهای هندسی پرداخته می شود.

نتایج طول صف ها در شکل ۱۶ آورده شده است. از سناریوی ۱ تا ۶۰ که مربوط به نسبت حجم به ظرفیت ۰/۹ است مشاهده می شود که سناریوهای ۳۰ تا ۶۰ که مربوط به افزایش تعداد خطوط است بیشترین مقدار طول صف را دارند. به طور کلی، سناریوها شامل افزایش شعاع راست گرد از ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) به ۲۱۰ فوت

(۶۴ متر) و افزایش شعاع گردش دوربرگردان از ۲۵ فوت (۷/۶ متر) به ۳۵ فوت (۱۰/۶ متر) ضعیف ترین عملکرد را در رابطه با طول صف داشته اند. اما همچنان سناریوی مبنا (شماره ۱) بیشترین طول صف را داراست. بهترین عملکرد مربوط به سناریوهایی است که افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) و افزایش عرض میانه از ۵۲/۵ فوت (۱۶ متر) به ۶۵ فوت (۲۰ متر) در آنها اعمال گردیده است و نتایج در این حالتها نشان دهنده کاهش بیش از ۱۰٪ طول صف است.



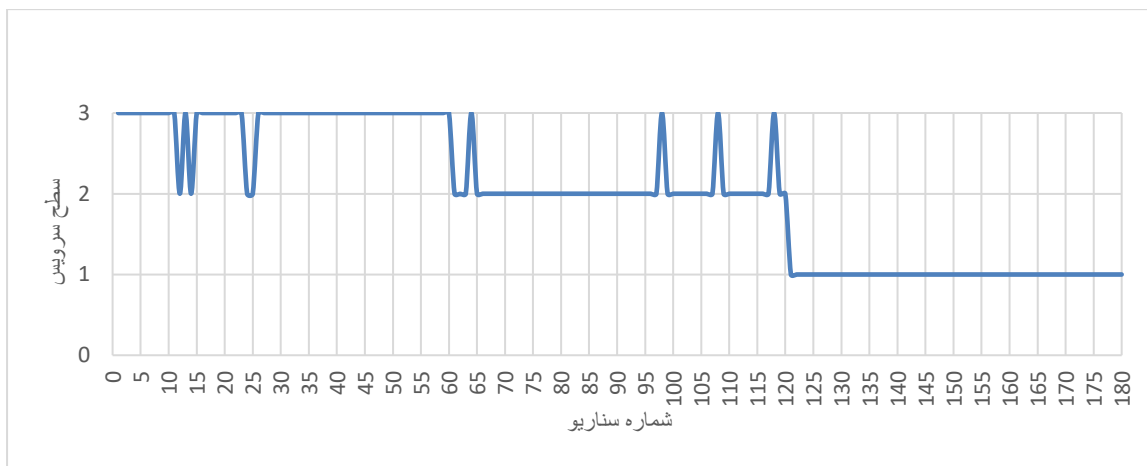
شکل ۱۶. نمودار نتایج بررسی طول صف در سناریوها

دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۶۰۰ فوت (۱۸۳ متر) هستند مشاهده می شود که سطح سرویس بهبود یافته است. با کاهش نسبت حجم به ظرفیت، سطح سرویس به ترتیب یک سطح ارتقا می یابد. البته در سناریویی مانند افزایش شعاع راست گرد از ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) به ۲۱۰ فوت (۶۴ متر) ضعف در سطح سرویس مشاهده می شود.

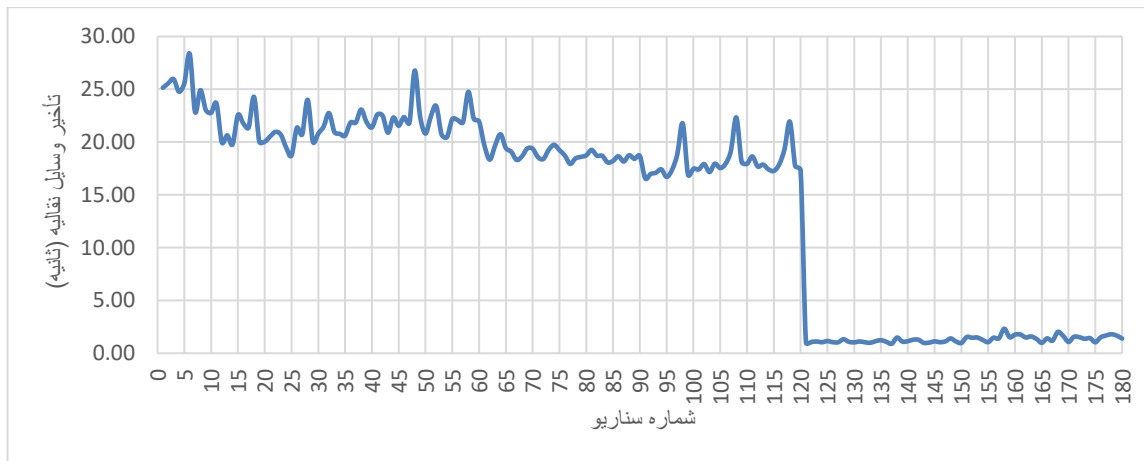
شکل ۱۷ سطح سرویس را نمایش می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، سناریوهای ۱ تا ۶۰ که دارای بالاترین نسبت حجم به ظرفیت هستند دارای ضعیف ترین سطح سرویس بوده و تنها در سناریوهای ۱۲، ۱۴ و ۲۴ که سناریوهای افزایش عرض میانه در دوربرگردان از ۲۴/۵ فوت (۷/۵ متر) به ۳۷ فوت (۱۱/۲ متر) و افزایش فاصله

شکل ۱۹ تأخیر ناشی از توقف را نمایش می‌دهد. همانطور که در نمودار مشخص است همچنان افزایش شعاع راست گرد از ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) به ۲۱۰ فوت (۶۴ متر) ضعیف‌ترین سناریو بوده و موجب افزایش ۱ تا ۳ درصدی تأخیر نسبت به سناریو مبنا می‌شود. افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) کمترین تأخیر را ایجاد کرده و سبب بهبود ۵ درصدی تأخیر شده است.

شکل ۱۸ تأخیر وسایل نقلیه را نمایش می‌دهد. مطابق این نمودار بالاترین میزان تأخیرها مربوط به سناریوی افزایش شعاع راست گرد از ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) به ۲۱۰ فوت (۶۴ متر) است و از طرف دیگر کمترین میزان تأخیر مربوط به سناریوی افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۶۰۰ فوت (۱۸۳ متر) و افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) است.



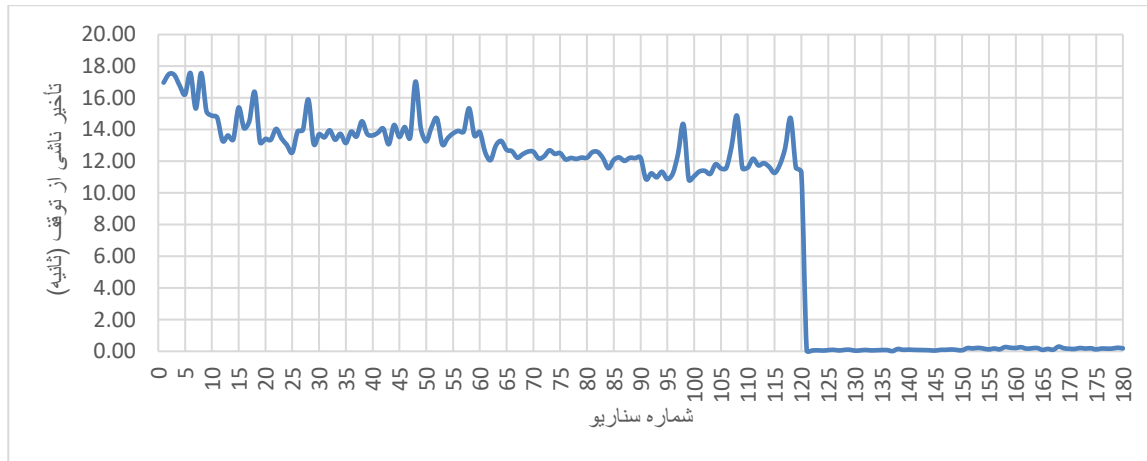
شکل ۱۷. نمودار نتایج بررسی سطح سرویس در سناریوها



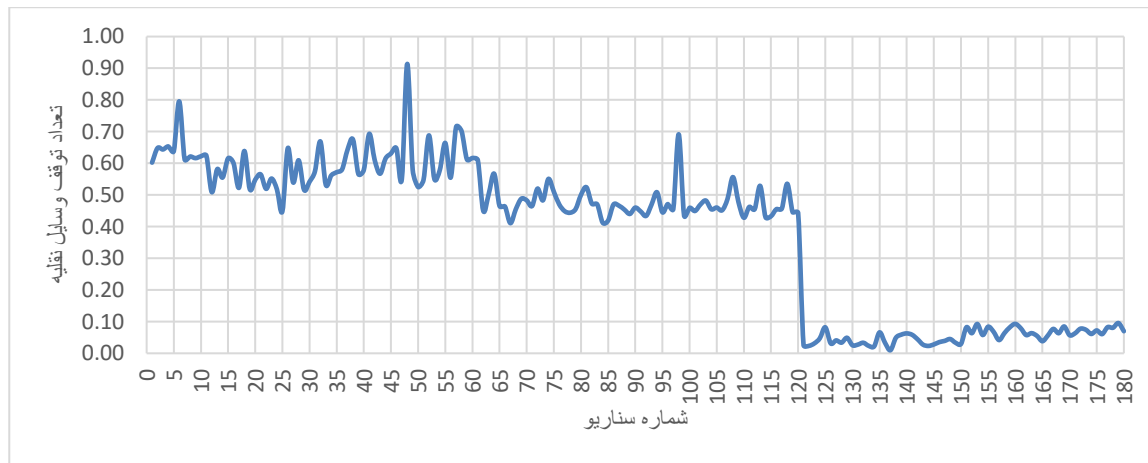
شکل ۱۸. نمودار بررسی تأخیر وسایل نقلیه در سناریوها

متر) به ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) و افزایش عرض میانه از ۵۲/۵ فوت (۱۶ متر) به ۶۵ فوت (۲۰ متر) به ترتیب باعث کاهش ۲۰٪ و ۱۵٪ تعداد توقف‌ها در تقاطع می‌گردد.

شکل ۲۰ نتایج تعداد توقف‌های وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. در این نمودار، افزایش شعاع راست‌گرد از ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) به ۲۱۰ فوت (۶۴ متر) عملکرد ضعیف داشته و تا ۵۰٪ سبب افزایش تعداد توقف می‌شود. افزایش شعاع چپ‌گرد از ۱۱۰ فوت (۳۳/۵



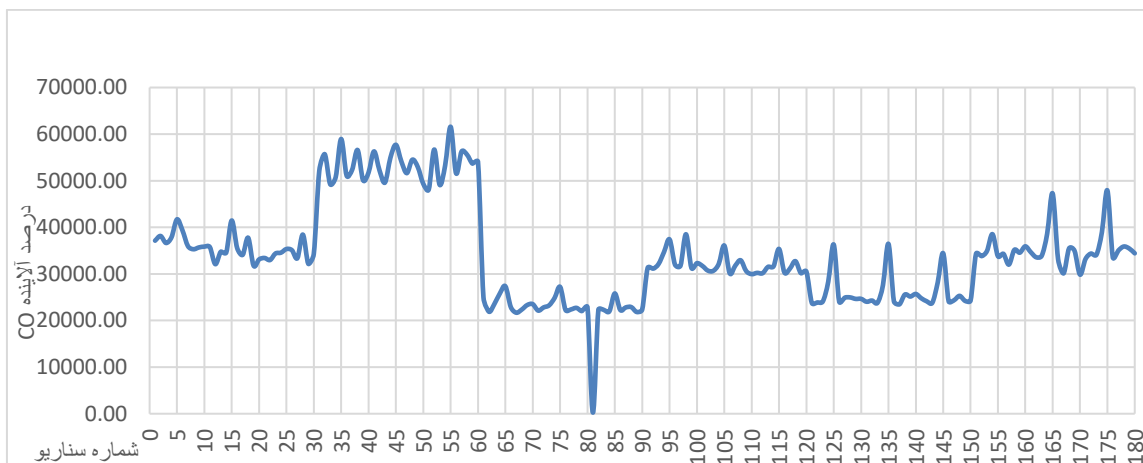
شکل ۱۹. نمودار بررسی تأخیر ناشی از توقف در سناریوها



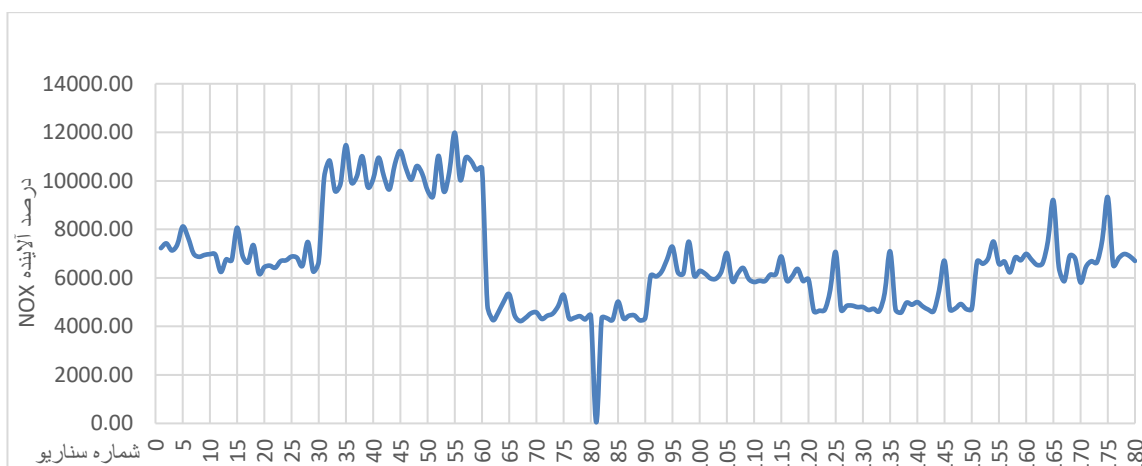
شکل ۲۰. نمودار تعداد توقف‌های وسایل نقلیه در سناریوها

شدت افزایش یافته و حتی تا ۵۰ درصد افزایش مشاهده می‌شود. افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) بیشترین اثر را در تشدید آلاینده‌ها دارد.

شکل ۲۱، نتایج درصد آلاینده CO، شکل ۲۲ درصد آلاینده NOx و شکل ۲۳ درصد گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد. در سناریوهای ۳۰ تا ۶۰ که افزایش تعداد خطوط عبوری هستند درصد آلاینده‌ها به



شکل ۲۱. نمودار بررسی درصد آلاینده CO در سناریوها

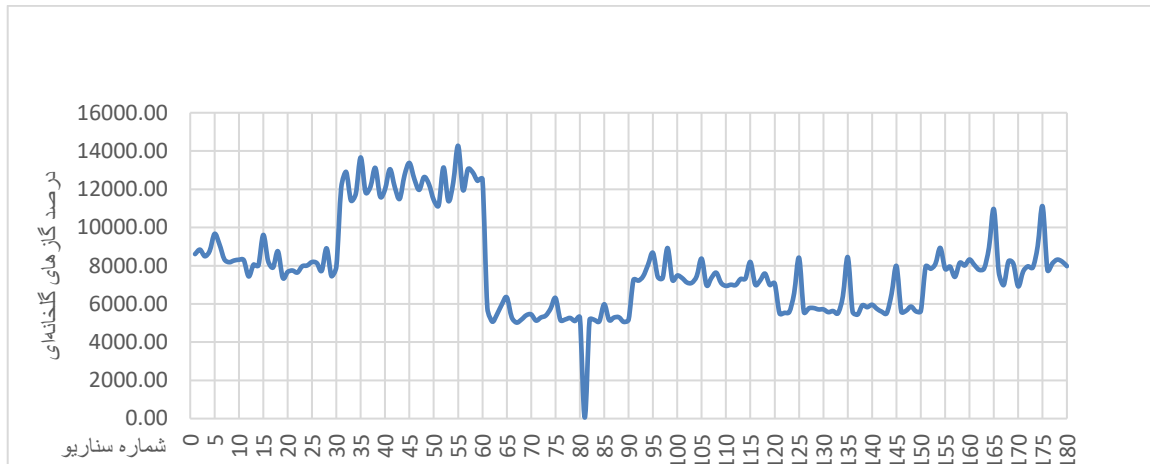


شکل ۲۲. نمودار بررسی درصد آلاینده NOx در سناریوها

مصرف سوخت است. اما در سناریوهای افزایش شعاع چپ‌گرد از ۱۱۰ فوت (۳۳/۵ متر) به ۱۴۰ فوت (۴۳ متر) و افزایش عرض میلنه از ۵۲/۵ فوت (۱۶ متر) به ۶۵ فوت (۲۰ متر) باعث کاهش ۱۰ تا ۲۵ درصدی مصرف سوخت می‌گردد.

آخرین نمودار مربوط به درصد مصرف سوخت است که در شکل ۲۴ آورده شده است. مطابق انتظار، با افزایش تعداد خطوط، درصد مصرف سوخت افزایش زیادی داشته و همچنان افزایش فاصله دوربرگردان از ۴۵۰ فوت (۱۳۷ متر) به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) مؤثرترین عامل در ازدیاد

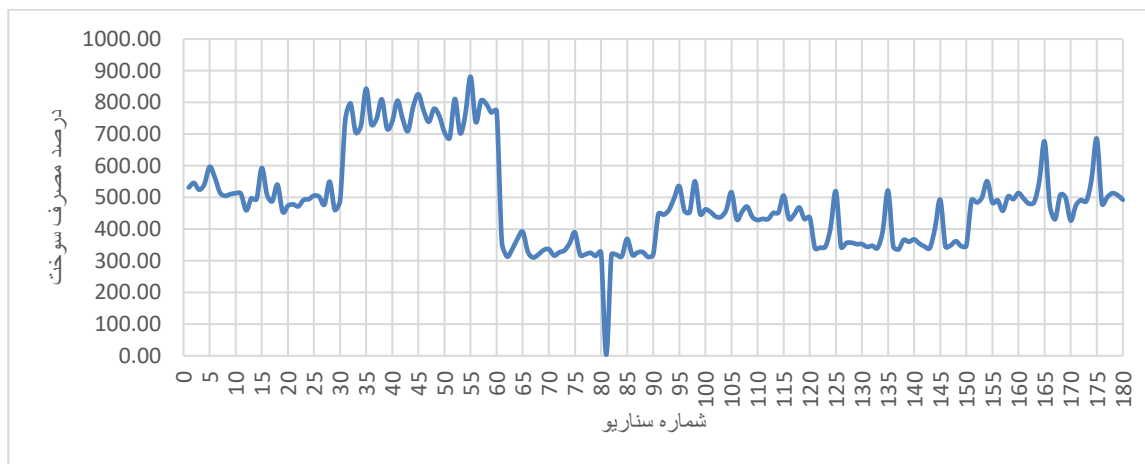




شکل ۲۳. نمودار بررسی درصد گازهای گلخانه‌ای در سناریوها

که چهارخطه نمودن مسیر اصلی و سه خطه نمودن مسیر فرعی (سناریوهای ۳۰ تا ۶۰ یا افزایش خطوط عبوری) برای تقاطع RCUT مناسب نبوده و نتایج مطلوبی در هیچ یک از پارامترها حاصل نگردیده است.

نتایج حاصل از بررسی پارامترهای هندسی حاکی از آن است که سناریوی افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع سناریوی بهینه بوده و ضعیف‌ترین سناریو نیز افزایش شعاع راست‌گرد است. همچنین، مشخص است



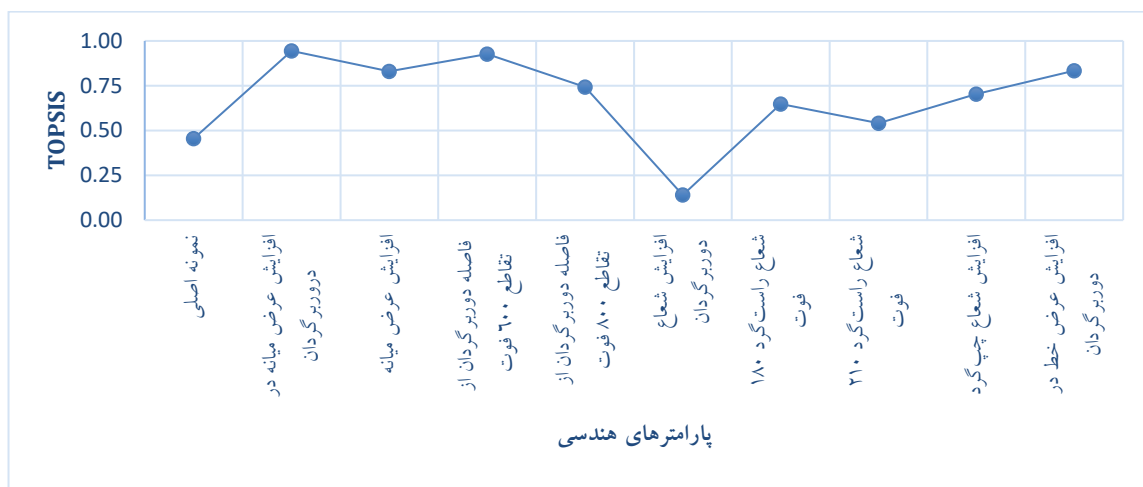
شکل ۲۴. نمودار بررسی درصد مصرف سوخت در سناریوها

سرویس، تأخیر وسایل نقلیه، تأخیر ناشی از توقف وسایل نقلیه، تعداد توقف وسایل نقلیه، درصد آلاینده‌ها و درصد مصرف سوخت، انتخاب می‌شود. شکل ۲۵، نمودار مقایسه پارامترها و رتبه‌بندی آنها

### ۳-۳. نتایج تصمیم‌گیری چندمعیاره

برای مقایسه سناریوها از روش TOPSIS استفاده شد. در بین پارامترهای هندسی بررسی شده، بهترین پارامتر با بررسی معیارها شامل طول صف، سطح

را نمایش می‌دهد. روش TOPSIS نتیجه‌ای بین صفر و ۱ دارد، هر گزینه‌ای که به ۱ نزدیک‌تر باشد دارای مطلوبیت بیشتر است.



شکل ۲۵. نمودار مقایسه پارامترهای هندسی در سناریوها

۴- RCUT با زمان‌بندی‌های چراغ مختلف (طول

سیکل‌های ۷۵، ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه).

شکل ۲۶ مقایسه مدل مبنا را برای چهار طرح

پیشنهادی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود

زمان‌بندی ۷۵ ثانیه‌ای به ۱ نزدیک‌تر است پس طرح

مطلوب‌تری نسبت به سایر طرح‌ها است.

شکل ۲۷ نمودار مقایسه افزایش عرض میانه در

دوربرگردان را نمایش می‌دهد که بر اساس آن RCUT

استاندارد به ۱ خیلی نزدیک‌تر بوده بنابراین نتیجه

مطلوب‌تری دارد. پارامتر هندسی افزایش عرض میانه در

دوربرگردان قبلاً رتبه اول را بدست آورده بود حال با

بررسی در چهار طرح مذکور تائید می‌گردد که افزایش

عرض میانه در دوربرگردان با وجود RCUT استاندارد

نتایج مطلوبی حاصل می‌شود.

برخلاف ارزیابی‌های قبل که در اکثر موارد افزایش

فاصله دوربرگردان از تقاطع به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) به

عنوان گزینه مطلوب انتخاب می‌شد اما این روش افزایش

فاصله دوربرگردان از تقاطع به ۶۰۰ فوت (۱۸۳ متر) را

در رتبه بالاتر انتخاب نمود زیرا که فاصله ۸۰۰ فوتی

(۲۴۴ متر) در درصد آلاینده‌ها و درصد مصرف سوخت

نتایج مورد قبولی نداشته و باعث تشدید آلاینده‌ها و

سوخت نیز شده است.

در ادامه چهار طرح در نظر گرفته شده با یکدیگر

مقایسه می‌شود. معیار مقایسه همان پارامترهای هندسی

بیان شده در بالا می‌باشد. این چهار طرح شامل:

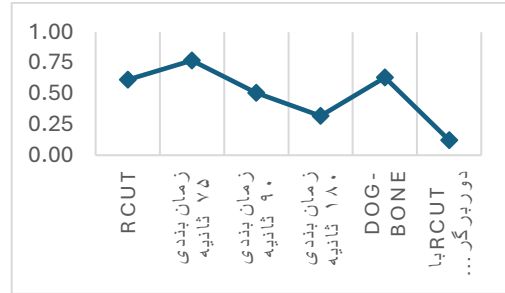
۱- RCUT استاندارد،

۲- RCUT دارای دوربرگردان دوخطه به همراه Loon،

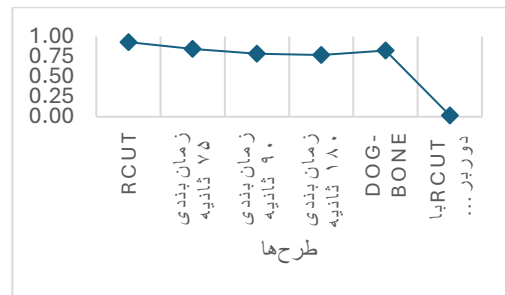
۳- میدان Dog-Bone.

مقایسه می‌نماید. همانطور که مشاهده می‌شود، همه طرح‌ها، به جز دوخطه نمودن دوربرگردان، با افزایش عرض میانه نتایج بسیار نزدیک به یکدیگر دارند.

شکل ۲۹ نمودار مقایسه افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع به اندازه ۶۰۰ فوت (۱۸۳ متر) را نمایش می‌دهد. این پارامتر که رتبه دوم در مقایسه پارامترها را دارد همانند برخلاف ارزیابی‌های قبل که در اکثر موارد افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع به ۸۰۰ فوت (۲۴۴ متر) به عنوان گزینه مطلوب انتخاب می‌شد اما این روش افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع به ۶۰۰ فوت (۱۸۳ متر) را در رتبه بالاتر انتخاب نمود زیرا که فاصله ۸۰۰ فوتی (۲۴۴ متر) در درصد آلاینده‌ها و درصد مصرف سوخت نتایج مورد قبولی نداشته و باعث تشدید آلاینده‌ها و سوخت نیز شده است.

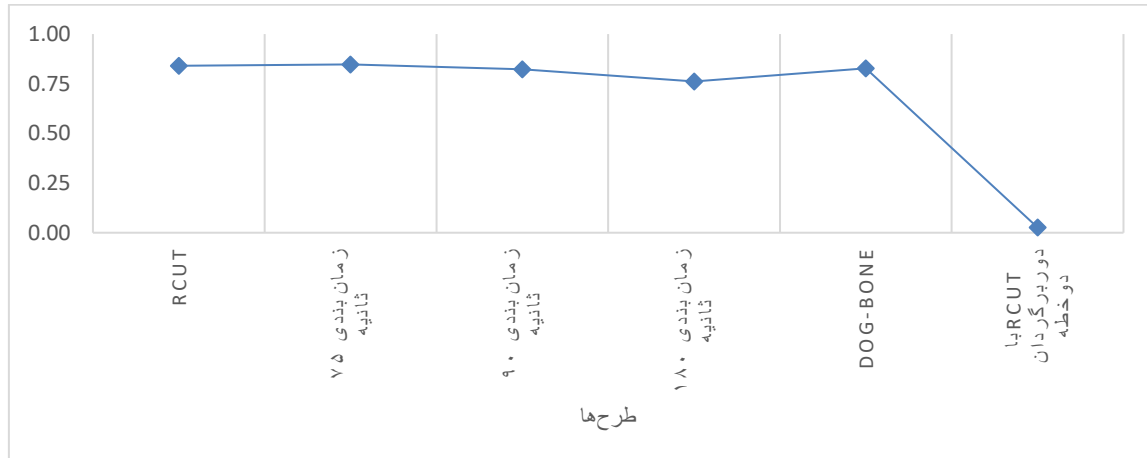


شکل ۲۶. نمودار مقایسه مدل مبنا در طرح‌ها

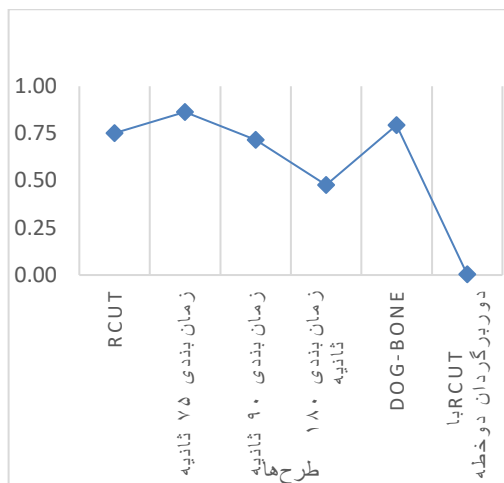


شکل ۲۷. نمودار مقایسه عرض میانه در دوربرگردان در طرح‌ها

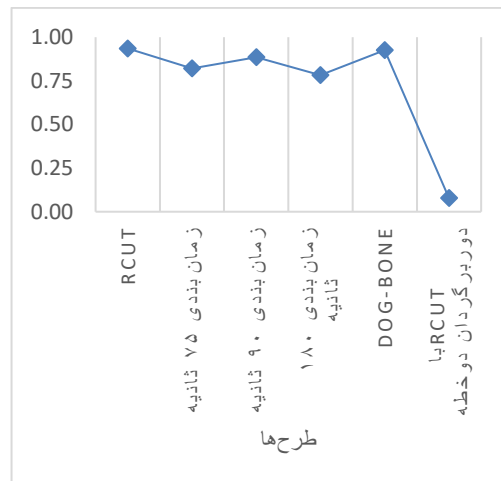
شکل ۲۸ نیز نتیجه افزایش عرض میانه را در طرح‌ها



شکل ۲۸. نمودار مقایسه افزایش عرض میانه



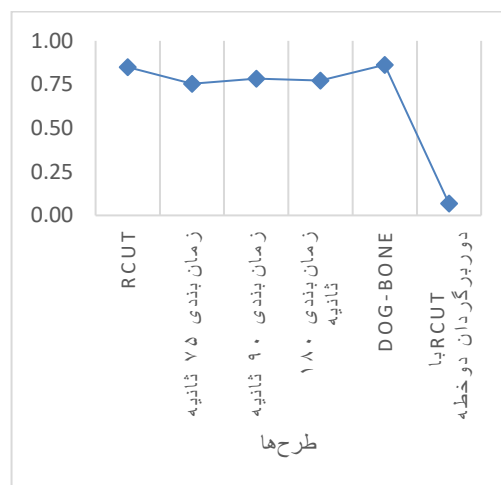
شکل ۳۲. مقایسه افزایش شعاع راست‌گرد ۵۵ متر



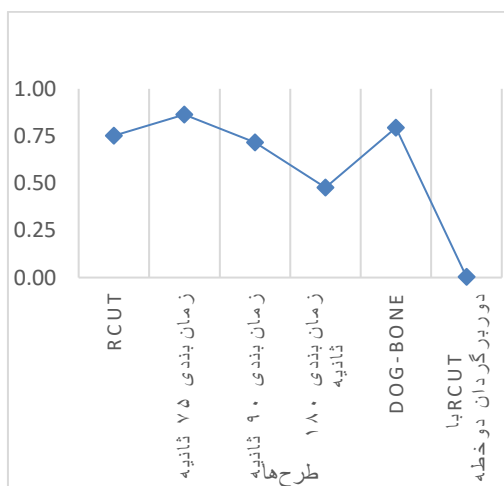
شکل ۲۹. نمودار مقایسه افزایش فاصله دوربرگردان ۱۸۳ متر

شکل ۳۲ نمودار افزایش شعاع راست‌گرد به اندازه ۱۸۰ فوت (۵۵ متر) است. این پارامتر هندسی، با زمان‌بندی ۷۵ ثانیه‌ای، با اختلاف کمی از میدان Dog-Bone نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

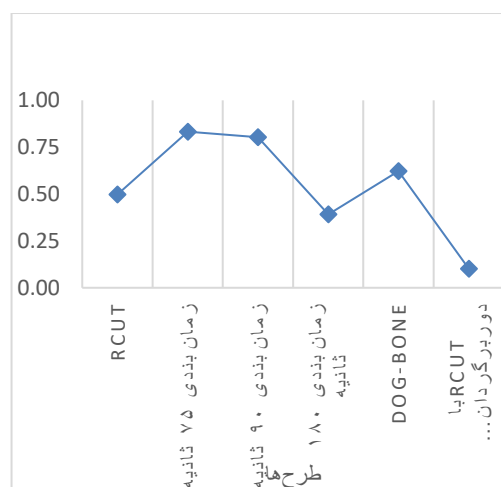
شکل ۳۳ نمودار مقایسه افزایش شعاع راست‌گرد را به اندازه ۲۱۰ فوت (۶۴ متر) نمایش می‌دهد. زمان‌بندی ۹۰ ثانیه‌ای و با اختلاف کم زمان‌بندی ۷۵ ثانیه‌ای، موجب عملکرد بهتر در تقاطع RCUT شده‌اند.



شکل ۳۰. نمودار مقایسه افزایش فاصله دوربرگردان ۲۴۴ متر

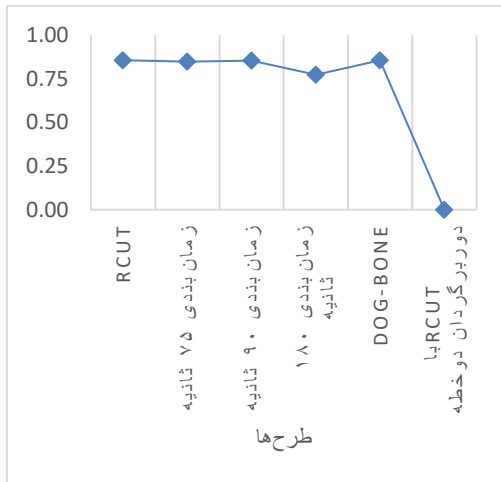


شکل ۳۳. مقایسه افزایش شعاع راست‌گرد ۶۴ متر



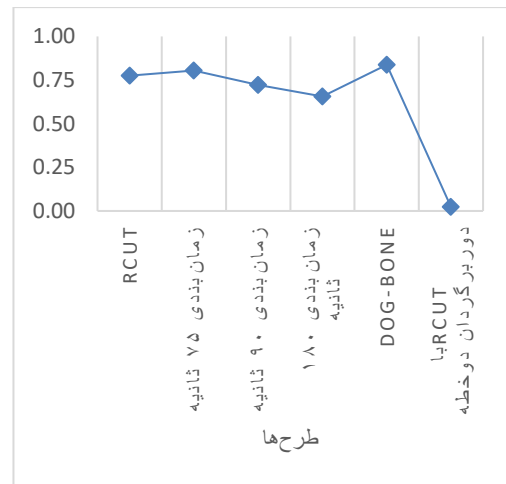
شکل ۳۱. نمودار مقایسه افزایش شعاع دوربرگردان

در شکل ۳۴ افزایش شعاع چپ‌گرد در طرح‌ها



شکل ۳۵. نمودار مقایسه افزایش عرض خط دوربرگردان

مقایسه می‌گردد. در این پارامتر میدان Dog-Bone نتیجه بهتری دارد.



شکل ۳۴. نمودار مقایسه افزایش شعاع چپ‌گرد

با اتمام مقایسه‌ها، مشاهده می‌شود که پارامترهای هندسی رتبه‌های ۱ تا ۳ شامل افزایش عرض میانه در دوربرگردان، افزایش فاصله از تقاطع به اندازه ۶۰ فوت و افزایش عرض خط دوربرگردان، همگی با تقاطع RCUT استاندارد نتیجه بهتری داشته‌اند. در سایر موارد زمان بندی چراغ RCUT با طول سیکل ۷۵ ثانیه نتایج خوبی نشان می‌دهد. همچنین، از بین سه زمان بندی ۷۵، ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه، ۷۵ ثانیه در اکثر موارد رتبه بهتری داشته و نتایج حاصل از آن از حالت ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه‌ای مطلوب‌تر است.

### ۳-۴. نتایج اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی نتایج نرم‌افزار VISSIM از دو روش GEH و استفاده شد.

جدول ۵، نتایج حاصل از اعتبارسنجی به روش GEH را نمایش می‌دهد. چنانچه نتیجه GEH کمتر از ۵ باشد نتایج به دست آمده از نرم افزار دارای اعتبار است. با توجه به اینکه در جدول مذکور تمامی نتایج کم‌تر از ۵ است بنابراین نتایج حاصل از نرم‌افزار به واقعیت نزدیک است.

در شکل ۳۵، افزایش عرض خط دوربرگردان مقایسه می‌گردد. در این پارامتر، RCUT استاندارد، میدان، زمان بندی ۷۵ و ۹۰ ثانیه‌ای همگی نتایج یکسانی را نشان می‌دهند.

جدول ۵. نتایج اعتبارسنجی به روش GEH

	Variable 1	Variable 2
MEAN	152.750	140.500
VARIANCE	11705.929	11695.429
OBSERVATIONS	8.000	8.000
HYPOTHESIZED MEAN DIFFERENCE	0.000	
DF	14.000	
T STAT	0.226	
P(T<=T) ONE-TAIL	0.412	
T CRITICAL ONE-TAIL	1.345	
P(T<=T) TWO-TAIL	0.824	
T CRITICAL TWO-TAIL	1.761	

بحرانی بوده و می‌توان داده‌های خروجی از نرم‌افزار را مورد قبول ارزیابی نمود.

روش بعدی، روش T-TEST است و می‌بایست T تجربی کمتر از T بحرانی باشد. همانطور که نتایج این روش در جدول ۶ ارائه شده است، T تجربی کمتر از T

جدول ۶. نتایج اعتبارسنجی به روش T-Test

نتیجه	GEH	ترافیک ساعتی میدانی	ترافیک ساعتی در ویسیم	جهت حرکت
خوب	۰/۴۲	۳۷۵	۳۶۷	←
خوب	۱/۳۴	۸۶	۷۴	↖
خوب	۱	۲۳۴	۲۱۹	→
خوب	۰/۹	۸۳	۷۵	↘
خوب	۱/۰۸	۱۵۲	۱۳۹	↑
خوب	۱/۰۳	۵۰	۴۳	↗
خوب	۱/۶۸	۱۶۶	۱۴۵	↓
خوب	۱/۶۹	۷۶	۶۲	↙

خط دوربرگردان به ترتیب عملکرد تقاطع را بهبود می‌دهند.

در بررسی طرح‌ها با پارامترهای هندسی متفاوت جهت ارزیابی تقاطع نتیجه‌گیری شد که RCUT استاندارد طرح مطلوب‌تری بوده و در سایر پارامترها نیز زمان‌بندی ۷۵ ثانیه‌ای طرح با عملکرد بهتر است. همچنین، بین سه زمان‌بندی مفروض ۷۵، ۹۰ و ۱۸۰، زمان‌بندی ۷۵ ثانیه نتایج بهتری را ارائه نموده است. همچنین، نتایج نشان داد که افزایش عرض میانه در دوربرگردان به اندازه ۳۷ فوت (۱۱/۳ متر) و همچنین افزایش عرض خط دوربرگردان به اندازه ۴۵ فوت (۱۳/۷ متر) گزینه‌های مطلوب برای طراحی تقاطع RCUT هستند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، چهار طرح شامل RCUT استاندارد، RCUT دارای دوربرگردان دوخطه به همراه Loon، RCUT با زمان‌بندی‌های مختلف چراغ (طول سیکل‌های ۷۵، ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه) و میدان Dog-Bone مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه پارامترهای هندسی مختلف برای بررسی سناریوها در نظر گرفته شد و مقادیر پیش‌فرض تعیین گردید. سناریوی اول به‌عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد و سایر سناریوها بر اساس آن ارزیابی شد. با توجه به ارزیابی نتایج، مشخص گردید که در طراحی تقاطع‌ها، RCUT گزینه مطلوب است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش عرض میانه در دوربرگردان، افزایش فاصله دوربرگردان از تقاطع (۱۸۳ متر) و افزایش عرض

## ۵. پیشنهادها

برخی محدودیت‌ها در این مطالعه وجود داشته که بر اساس آنها پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه می‌گردد.

۱- در این تحقیق، ایمنی تقاطع بررسی نشده که می‌توان با نرم‌افزار مربوطه، ایمنی پارامترهای هندسی نیز بررسی گردد.

۲- طرح‌های بیان شده در این تحقیق را می‌توان برای مناطق برون‌شهری که میزان تردد وسایل نقلیه سنگین بیشتر است نیز مورد ارزیابی قرار داد.

۳- Loon برای میلنه یا معابر کم عرض و فضای کم برای دور زدن گزینه خوبی برای بررسی‌های آتی خواهد بود.

بعلاوه، جانمایی دوربرگردان یا همان فاصله دوربرگردان از تقاطع پارامتر اثرگذار در بهبود عملکرد تقاطع ارزیابی شد. نتایج نشان داد که حفظ فاصله ۶۰۰ فوتی (۱۸۳ متری) دوربرگردان از تقاطع از حرکت‌های تداخلی بیش از اندازه و تأخیرها و توقف‌ها جلوگیری می‌نماید. هر چند این گزینه نتایج مطلوبی داشته اما باید در نظر داشت که افزایش فاصله موجب شده که موجب می‌شود این گزینه در رتبه آخر قرار گیرد. در صورت وجود حجم ترافیک زیاد و نیاز به چراغ‌دار نمودن تقاطع، طول سیکل ۷۵ ثانیه عملکرد مطلوب‌تری خواهد داشت. در این صورت، صف‌های پشت چراغ نیز کاهش می‌یابد. دوخطه نمودن دوربرگردان به همراه Loon نیز نتایج خوبی نداشت و سبب کاهش عملکرد تقاطع شد.

## ۵. مراجع

- AASHTO. 2018. "A policy on geometric design of highways and streets". 7th ed., Ch. 9, pp. 139-141, Washington, DC.
- Hummer, J., Ray, B., Daleiden, A., Jenior, P. and Knudsen, J. 2014. "Restricted crossing U-turn, informational guide". FHWA, pp. 3-5, 22-24, Washington DC.
- Pal Meela, I., Vesperb, A., Borsosc, A. and Koren, C. 2017. "Evaluation of the effects of auxiliary lanes on road traffic safety at downstream of U-turns". Elsevier B.V. pp. 1931-1945.
- Sun, C., Qing, Z., Edara, P., Balakrishnan, B. and Hopfenblatt, J. 2017. "Driving simulator study of J-turn acceleration-deceleration lane and U-turn spacing configurations". J. Transport. Res. Board, 2638(1): 26-34.