بررسی جایگاه میدان در شبکه راه‌های شهرها و مروری بر انواع میدان در دنیا

مقاله علمی – پژوهشی

سارا دهقانی، دانشجوی کارشناسی، بخش مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی- مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
نوید ندیمی*، دانشیار، بخش مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی- مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۰۸- پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱
صفحه ۱۱۰-۸۹

چکیده

میدان در مباحث طرح هندسی راه در دستهٔ تقاطع‌ها قرار می‌گیرد. میدان تقاطع چند راه بوده که وسائل‌نقلیه در وسط تقاطع با گردش حول یک جزیرهٔ دایره‌ای شکل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند. میدان‌ها در شهر می‌توانند نسبت به انوع مختلف شیوه‌های کنترل تقاطع عملکرد بهتری از جهت کارایی و ایمنی داشته باشد. اما عملکرد بهتر وابسته به این است که نوع مناسب میدان و با طراحی صحیح استفاده شود. میدان تاریخچهٔ بسیار طولانی داشته و از حدود ۱۲۰ سال پیش نمونه‌هایی از آن در کشورهای اروپایی حتی پیش از بکارگیری وسائل نقلیه امروزی مورد استفاده بوده است. در این مقالهٔ مروری، ابتدا نگاهی به تاریخچهٔ میدان از سال ۱۹۰۳ تا رسیدن به طرح میدان مدرن صورت خواهد گرفت. سپس انواع میدان مورد استفاده در دنیا مورد، معرفی خواهد شد. در نهایت افق‌های تحقیقاتی و نیز بسته‌های نرم‌افزاری مرتبط با تحلیل و طراحی میدان مطرح می‌گردد. در مجموع نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از میدان‌های چند خطه و با قطر بزرگ طرح نامطلوبی محسوب می‌شود. در عوض برای کم کردن تداخلات میدان‌های چند خطه، اقبال عمومی در دنیا به سمت میدان‌های توربو بوده و تحقیقات زیادی در ارتباط با این نوع میدان در دنیا در حال انجام است. مطالعات پیرامون روش‌های تحلیل ظرفیت میدان، ارتقای ایمنی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران و چراغ‌دار کردن میدان نیز از مسائل مهم در حال پیگیری در تحقیقات مرتبط با میدان است.

واژه‌های کلیدی: تاریخچه، تحلیل ظرفیت، میدان، نرم‌افزار شبیه‌سازی، مرور

۱- مقدمه

میدان تقاطعی است که در وسط آن یک جزیرهٔ دایره‌ای قرار گرفته و جریان ورودی به آن، برخلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کند. تلاقی‌ها و تداخلات ترافیکی از طریق ایجاد گردش در میدان برطرف می‌شوند. البته در صورت طراحی نامناسب، میدان می‌تواند مشکلات متعددی هم از نظر کارایی و هم از نظر ایمنی به‌وجود آورد. میدان‌ها به عنوان یک ابزار بالقوه در جعبه ابزارِ گزینه‌های کنترل تقاطع عمل می‌کنند. دلایل متعددی برای انتخاب یک میدان به عنوان گزینه ارجح وجود دارد که هر دلیل ملاحظات و سبک و سنگین کردن‌های خاص خود را دارد [NCHRP Report 672, 2010]. ثابت شده که میدان‌ها نسبت به سایر اشکال تقاطع‌های هم‌سطح ایمن‌تر هستند [Brown, 1995]. مزایای ایمنیِ میدان‌ها به ویژه در خصوص تصادفاتِ فوتی و جرحی، قابل توجه است. در میدان‌ها، وسایل‌نقلیه در یک جهت حرکت می‌کنند و تداخل‌های راست و چپ مرتبط با تقاطع‌های سنتی را حذف می‌کنند. علاوه بر این، اگر میدان خوب طراحی شود به خوبی می‌تواند سرعت را کنترل کند. اما کنترل سرعت میدان با ویژگی‌های

هندسیِ میدان انجام می‌شود و نه فقط با ابزارهای کنترل ترافیک یا اندرکنش با سایر وسایل‌نقلیه. به همین دلیل، در صورت طراحی خوب، سرعت را می‌توان در تمام ساعات روز کنترل کرد [NCHRP Report 672, 2010]. تصمیمات رانندگان، عابران‌پیاده و دوچرخه‌سواران، به‌طور کلی در میدان‌ها نسبت به سایر تقاطع‌ها ساده‌تر است. با این حال، میدان‌ها در بحث تصمیم‌گیری بیشتر بر کاربران تکیه دارند تا استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک. پذیرش عمومی میدان‌ها اغلب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی یک منطقه با هدف احداث اولین میدان است. بدون آموزش کافی، عموم مردم اغلب به‌طور طبیعی در برابر تغییرات رفتار و محیط رانندگی خود دچار تردید یا مقاومت می‌شوند. در چنین شرایطی، پیشنهاد احداث یک میدان ممکن است در ابتدا با واکنش منفی عمومی مواجه شود [Status Report, 2001]. طیف گسترده‌ای از تکنیک‌ها به منظور اطلاع‌رسانی و آموزش عمومی در رابطه با میدان‌های جدید با موفقیت استفاده شده است. برخی از این موارد عبارتند از جلسات عمومی، بروشورها و ویدئوهای اطلاعاتی، همچنین آگهی در روزنامه یا تلویزیون و رادیو. فرآیند مشارکت عمومی باید به محض عملی شدن، ترجیحاً در مراحل اولیه برنامه‌ریزی یک پروژه آغاز شود. نوع اطلاعات ارائه شده و نحوه انتقال آنها اغلب به نوع مخاطب بستگی دارد. مخاطبان ذینفع ممکن است شامل نمایندگان پلیس و ادارات آتش‌نشانی، مقامات مدرسه، متصدیان حمل‌ونقل، برنامه‌ریزان، صاحبان مشاغل آزاد و صنعت حمل و نقل باشند. مخاطبان ممکن است شامل شهروندان عمومی مانند ساکنان اطراف، سالمندان، نوجوانان، عابران‌پیاده دارای معلولیت و سایر نمایندگان جامعه باشند.

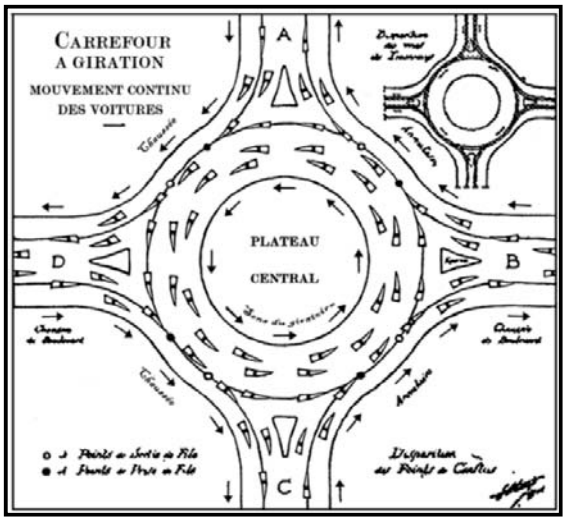
شناسایی مخاطبانِ هدف یکی از گام‌های اولیه در توسعهٔ برنامه مشارکت عمومی است [Tollazzi, 2015]. هدف اصلی این مقاله مرور میدان به‌عنوان یکی از اجزای مهم طرح هندسی راه‌های درون‌شهری است. برای این منظور ابتدا تاریخچه‌ای از میدان ارائه می‌گردد. بررسی تاریخچهٔ میدان می‌تواند به آشنایی با برخی قراردادها یا قوانین در ارتباط با طراحی میدان کمک کند. در ادامه در خصوص انواع مختلف میدان در دنیا به همراه جایگاه هر مورد بحث می‌شود. در نهایت نیز مسائل و موضوعات نوین در ارتبط با میدان شامل بسته‌های نرم‌افزاری و شبیه‌سازی و مسائل و موضوعات تحقیقاتی مرتبط با میدان بررسی می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

ایدهٔ عملیات چرخشی جریان ترافیک حداقل به سال ۱۹۰۳ میلادی برمی‌گردد، زمانی که ایجن هنارد جریان‌های دایره‌ای ترافیکی را به عنوان راهکاری برای حل مشکل تراکم ترافیک در مراکز شهرهای بزرگ پیشنهاد کرد. این امر مستلزم آن بود که تمام ترافیک در یک جهت و مطابق با شکل ۱ گردش کند. اما اولین کاربرد عملی یک سیستم ترافیک چرخشی به نظر می‌رسد که دایرهٔ کلمبوس بود که توسط ویلیام فلپس انو در نیویورک در سال ۱۹۰۵ اجرا شد [Brown, 1995].

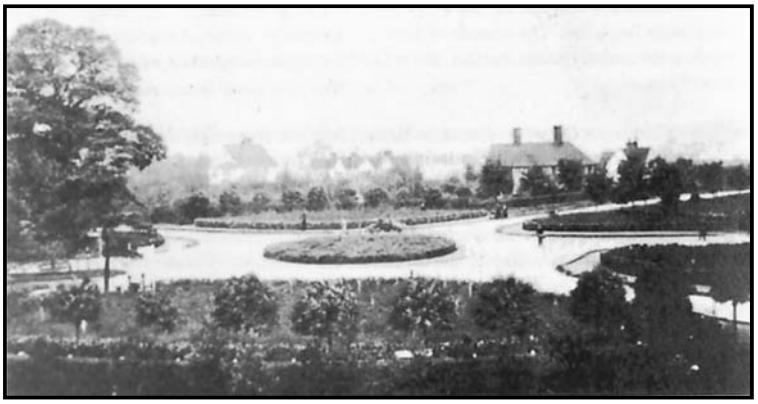
اصول ایدهٔ طرح شده توسط هنارد بر طرح‌های پیشنهادی برای بازسازی خیابان‌های اصلی لیسبون استوار بود. فردریکو رسانو گارسیا که هم دورهٔ هنارد بود، چنین نوع تقاطعی را در سال ۱۸۷۷ در پاریس پیشنهاد کرد. این سیستم در سال ۱۹۰۷میلادی در پاریس در محل تلاقی دوازده جادهٔ شعاعی، افتتاح شد (شکل۲). سپس این طرح در محل تقاطع ده راه، مورد استفاده قرار گرفت [Brown, 1995].

تقریباً در سال ۱۹۰۵ یک انقلاب ترافیکی با رشد سریع تعداد وسایل نقلیه موتوری رخ داد. هر دو کشور بزرگ انگلستان و ایالات متحده آمریکا، در آن زمان تحت تأثیر سیستم راه‌های فرانسه پس از ناپلئون بودند. ایدهٔ بهبود راه‌ها با توجه به رشد سریع ترافیک وسایل نقلیه موتوری در بریتانیا به خوبی جواب داد. در آن زمان پارکر و آنوین در حال توسعهٔ مکانی در لتچوورث بودند. پارکر در سفری که به پاریس در سال ۱۹۰۸ داشت، چنان تحت تأثیر قرار گرفت که در بازگشت، تقاطع شش بازویی طراحی شده برای لتچوورث را به‌صورت چرخشی طراحی کرد. بنابراین اولین میدان در بریتانیا در سال ۱۹۰۹ ساخته و به طور رسمی در سال ۱۹۱۰ افتتاح شد (شکل ۳).



شکل ۱. سیستم چرخشی پیشنهاد شده توسط هنارد [Brown, 1995]

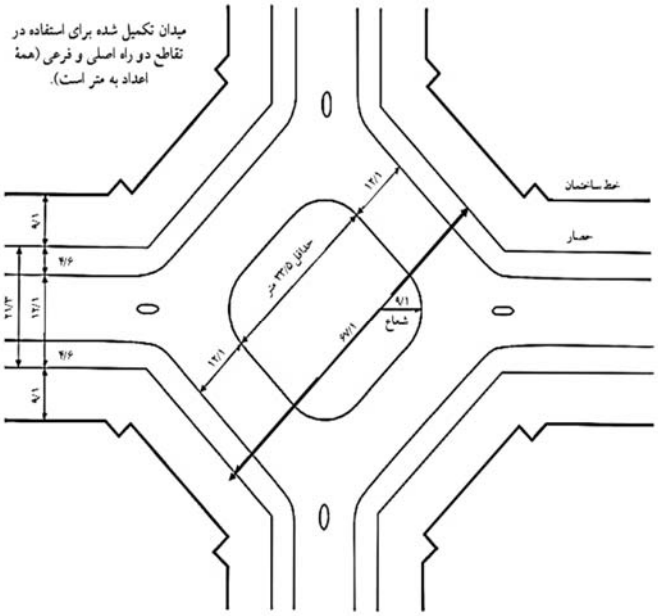
شکل ۲. نمونه‌های اولیهٔ مسیرهای گردشی در پاریس [Tollazzi, 2015]



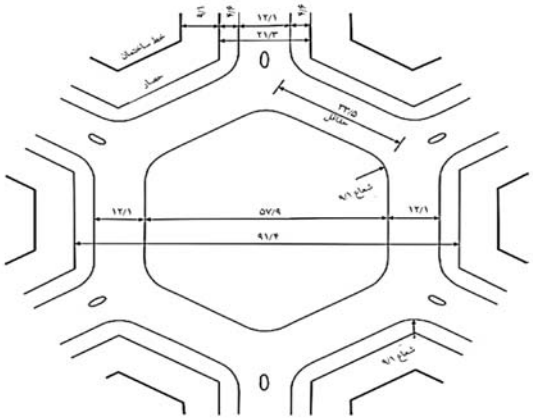
شکل ۳. اولین میدان در بریتانیا سال ۱۹۱۰ [Brown, 1995]

در سال‌های ۱۹۱۳ تا ۱۹۱٤ میلادی، فردی به نام هلیر دایره‌های ترافیکی را به منظور جلوگیری از تقاضای بیش از حد ظرفیت در محل اتصال چند راه اصلی پیشنهاد داد. این ایده در سال ۱۹۱٤ و در کنفرانسی به شرط رعایت الزامات ترافیکی پذیرفته شد (در هر تقاطع باید به اندازهٔ کافی فضای خالی وجود داشته باشد و همچنین محوطه‌سازی در اطراف تقاطع‌ها به طور مطلوب برآورده شود). اگرچه مراحل اولیهٔ توسعه در اروپا با وقوع جنگ جهانی اول متوقف شد، اما در سال ۱۹۱۸ و با تأسیس هیأت حمل و نقل جاده‌ای بریتانیا، پیشنهاد الگو قرار دادن راه‌های فرانسه برای کل اروپا مطرح شد. در سال ۱۹۲٤، در یک کنفرانس ملی در ایالات متحده، مواردی مانند حق تقدم برای عبور از تقاطع‌ها و همچنین استفاده از علائم ایست و هشداردهنده، پیشنهاد شد. ایده‌ای با عنوان سیرکس که در واقع سیستم‌های یک طرفهٔ ساده در اطراف مربع‌های موجود و با گوشه‌های نسبتاً تیز برای تقاطع‌های شلوغ و با بیش از چهار مسیر، در بریتانیا گسترش یافت. در نتیجه در طول سال‌های ۱۹۲۵–۱۹۲٦ سیستم‌های گردشی بسیاری در لندن احداث شدند [Brown, 1995]. در سال ۱۹۲۹، استفاده از میدان‌ها به عنوان یکی از راه‌حل‌های کنترل تقاطع به رسمیت شناخته شد. در این هنگام اولین کتابچه‌های راهنمای میدان با همکاری میان وزارت حمل و نقل و موسسهٔ برنامه‌ریزی شهری بریتانیا چاپ شدند. این راهنماها توصیه می‌کردند که در گذرگاه‌های یک یا چند راه اصلی، فضایی برای گردش ترافیک در سیستم میدان فراهم شود.

بنابراین دستورالعمل‌های کلی برای طراحی میدان ارائه شد. بر اساس برخی منابع، این اولین استفادهٔ رسمی از اصطلاح میدان بود [Brown, 1995]. با این حال، این فرض وجود داشت که تحت تأثیر تبدیل بسیاری از فضاهای مربع و مستطیل شکل به میدان، وجود یک جزیرهٔ مرکزی با اضلاع صاف و هموار برای حرکات ضربدری، ضروری است. این حرکات در بخش بیرونی جزیره انجام می‌شدند. بنابراین جزایر جداکنندهٔ باریک‌تر ساخته و نیز جزایر مرکزی چند ضلعی نیز با توجه به تعداد خطوط ورودی و با حداقل طول حدود ۳۳/۵ متر و به منظور اجازهٔ ساماندهی ترافیک ایجاد شدند [Brown, 1995]. سپس عرض مسیرگردشی تا حدود ۱۲/۲ متر و شعاع گوشه‌های جزیرهٔ مرکزی نیز ۹/۱ متر اعلام گردید. این طرح‌های پیشنهادی شامل یک میدان با چهار مسیر (شکل ٤) و یک میدان با شش مسیر و یک جزیرهٔ مرکزی شش ضلعی (شکل ۵) بود [Brown, 1995].



شکل ٤. طرح پیشنهادی برای میدان با چهار مسیر [Brown, 1995]



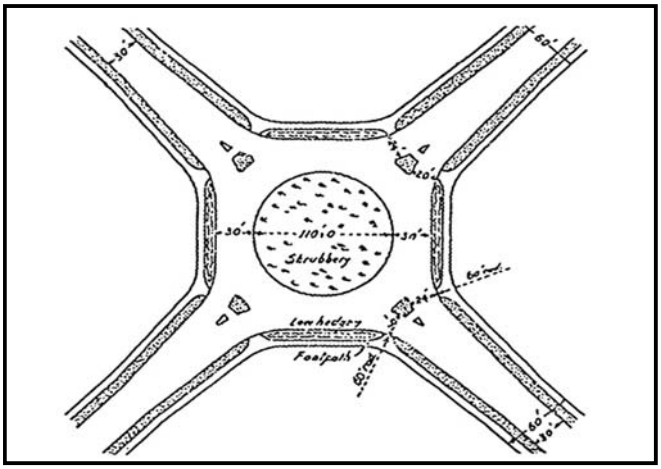
شکل ۵. طرح پیشنهادی برای میدان با شش مسیر [Brown, 1995]

این ایده منجر به بروز تغییراتی در برخی از میدان‌های موجود شد. به عنوان مثال جزایر مرکزی دایره‌ای (شکل ٦) با جزایر مرکزی شش ضلعی (شکل ۷) جایگزین شدند. نکتهٔ جالب توجه اینکه در دههٔ پنجاه قرن گذشته و برای مدت کوتاهی جزایر مرکزی چند ضلعی در میدان‌ها دوباره مورد استفاده قرار گرفتند.

شکل ٦. یک میدان با جزیرهٔ دایره‌ای- پیکادلی لندن [Tollazzi, 2015]

شکل ۷. تغییر شکل (٦) با جزیرهٔ مرکزی شش ضلعی [Tollazzi, 2015]

تا اواسط دهۀ سی، به منظور حل مشکلات ترافیکیِ مراکز شهرها، از میدان‌ها نیز در بسیاری از طرح‌های پیشنهادی، استفاده می‌شد. سپس در سال ۱۹۳۳، واتسون اولویت‌هایی شامل این موارد تعیین کرد: کاهش ازدحام، رانندگی هماهنگ با برنامۀ زمانی، سفر راحت‌تر، جریان ترافیک ایمن‌تر، حذف و یا کاهش کنترل‌های ترافیکی پلیس در تقاطع‌ها و کاهش تداخل‌ها در جریان‌های ترافیکی [Brown, 1995]. سپس در سال ۱۹۳۷ این دستورالعمل‌ها در طراحی میدان‌ها استفاده شدند (شکل ۸) [Brown, 1995].



شکل ۸. طراحی معمولی میدان با توجه به دستورالعمل طراحی میدان در ۱۹۳۷ [Brown, 1995]

دومین دورۀ تحقیقات عمیقِ پیرامون میدان‌ها از دهۀ پنجاه آغاز شد و تا اواخر دهه شصت قرن گذشته ادامه داشت. در این مدت تعداد زیادی از میدان‌های جدید ایجاد شدند که برخی از آن‌ها هنوز هم در حال اجرا هستند [Brown, 1995]. میدان مدرن در بریتانیا در اواسط قرن بیستم توسط آزمایشگاه تحقیقات حمل و نقل برای اصلاح مشکلات مرتبط با دایره‌های ترافیکی ایجاد شد. بنابراین در یک میدان مدرن، اولویت به جریان گردشی داده می‌شود. همچنین جزیرۀ مرکزی یک مانع دید در سرتاسر تقاطع برای رانندگان ورودی به میدان ایجاد می‌کند. نکتۀ اصلی در اصطلاح میدان مدرن تأکید بر تمایز آن با انواع قدیمی‌تر میدان نظیر تقاطع گردان است که ویژگی‌های طراحی و قوانین عملکردی متفاوتی نظیر قطر بیشتر، سرعت‌های بالاتر و دادن اولویت به جریان ورودی نسبت به جریان گردشی بودند. ولی مشخصۀ اصلی یک میدان مدرن، انحراف در هنگام ورود بوده و همچنین سرعت در اطراف جزیره مرکزی حدود ۲۵ تا ٤۰ کیلومتر در ساعت است. این تغییرات با کاهش تعداد و شدت تصادفات، ویژگی‌های ایمنی تقاطع‌های دایره‌ای را بهبود بخشید. میدان مدرن در مقایسه با تقاطع‌های گردان و دایره‌های ترافیکی قدیمی از نظر کارایی و ایمنی، پیشرفت چشمگیری داشته است [Brown, 1995; Jacquemart, 1998; Todd, 1991]. بنابراین، بسیاری از کشورها میدان مدرن را به عنوان شکلی از تقاطع پذیرفته‌اند و برخی راهنماها و روش‌های طراحی گسترده‌ای را برای ارزیابی کارایی عملکردی میدان‌های مدرن توسعه داده‌اند. امروزه میدان مدرن در همۀ کشورهای اروپایی و همچنین در بیش از ٦۰ کشور دیگر در جهان وجود دارند. امروزه منظور از اصطلاح میدان استاندارد میدانی که یک یا دو خط ساده دارد و نیز تأکید بر تمایز آن‌ها از سایر انواع میدان است.

۳- مروری بر انواع میدان

امروزه در سراسر جهان میدان‌هایی وجود دارد که به آنها سایر انواع میدان می‌گویند. برخی از این میدان‌ها در حال حاضر بسیار قدیمی بوده و اما گروه دیگری از آنها هنوز کاملاً جدید هستند. برخی از آنها فقط در کشورهای خاصی اجرا شده‌اند، اما گروه دیگری از آنها در اکثر کشورها اجرا می‌شود. این میدان‌ها معمولاً با میدان‌های استاندارد یک یا دو خطه در یک یا چند عنصر طراحی دارای تفاوت هستند، زیرا اهداف اجرای آن‌ها نیز خاص و متفاوت است. دلایل اصلی اجرای آنها، معایب میدان‌های استاندارد یک یا دو خطه با توجه به شرایط خاص در واقعیت است. معمولاً این معایب شامل ایمنیِ ترافیک پایین و یا ظرفیت ترافیک پایین است. در ادامه انواع مختلف این نوع میدان‌ها

بررسی خواهد شد. در این بخش مروری بر انواع میدان که در دنیا در حال حاضر در حال استفاده است صورت می‌گیرد.

۳-۱- میدان مدرن تک‌خطه

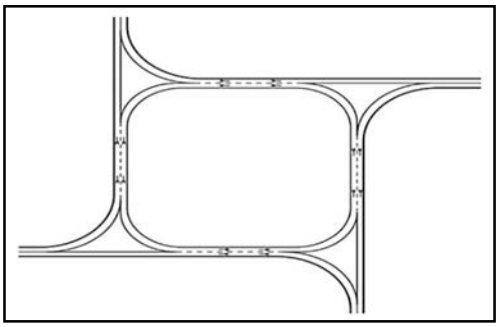
میدان‌های استاندارد یک‌خطه (شکل ۹)، که اغلبِ میدان‌های سراسر جهان را شامل می‌شوند، تنها دارای یک خط در هر ورودی، خروجی و مسیرگردشی هستند. میدان‌های تک‌خطه ایمن‌ترین نوعِ تقاطع برای عابران پیاده و وسایل‌نقلیه موتوری در میان تمامی انواع تقاطع‌های کلاسیک و یا استاندارد هستند. ابعاد قطر بیرونی میدان‌های تک‌خطه در هر کشور متفاوت است، اما معمولاً بین ۲٦ متر (البته برای حداقل، ۲۹ متر بهتر است) و (در برخی کشورها) ٤٥ متر است. میدان‌های استاندارد تک‌خطه شامل یک جزیرهٔ مرکزی هستند که از دو قسمت قابل عبور (نوار کامیون) و غیر قابل عبور تشکیل شده است. در مرکز یک میدان مدرن تک‌خطه یک مانع بصری وجود دارد که به رانندگان کمک می‌کند تنها بر روی ترافیک گردشی، عابران‌پیاده و دوچرخه‌سواران، تمرکز کنند.

شکل ۹. میدان معمولی تک‌خطه در اسلوونی [Tollazzi, 2015]

۳-۲- میدان مربعی

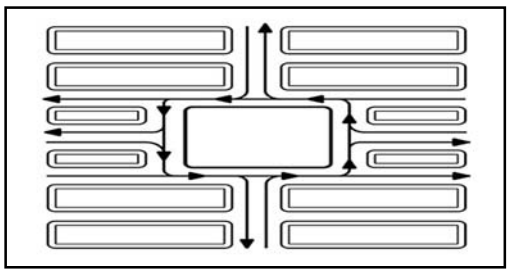
می‌توان میان دو نوع متفاوت از میدان‌های مربعی با توجه به منشأ آن‌ها تمایز قائل شد. نوع اول از میدان‌های مربعی اولیهٔ شهرهای قدیمی با چهار یا چند جاده متقاطع سرچشمه می‌گیرد که در ابتدا فقط برای وسایل‌نقلیه متکی به اسب و عابران‌پیاده در نظر گرفته شده بود (شکل ۱۰). گروه دوم از میدان‌های مربعی جدیدتر هستند. و معمولاً زمانی استفاده می‌شوند که سازمان‌های ترافیکی در راه‌های موجود تغییر کرده باشند. مشخصهٔ اساسی این دسته از میدان‌های مربعی این است که جزیرهٔ مرکزی مستطیل و یا مربع شکل است. به طور کلی، این دسته از میدان‌های مربعی دو نوع هستند: آن‌هایی که ورودی‌های مماسی دارند (شکل ۱۱) و آن‌هایی که ترکیبی از ورودی‌های شعاعی و مماسی دارند.

شکل ۱۰. میدان قدیمی مربعی در ماریبور- اسلوونی۱۸۹۰ [Tollazzi, 2015]



شکل ۱۱. میدان مربعی با ورودی‌های مماسی [Tollazzi, 2015]

میدان‌های مربعی با ترکیبی از ورودی‌های شعاعی و مماسی (شکل ۱۲) شامل چندین ورودی دوخطه (در نظر گرفته‌شده)



شکل ۱۲. میدان مربعی با ترکیبی از ورودی‌های شعاعی و مماسی [Tollazzi, 2015]

۳-۳- میدان بزرگ

میدان‌ها قبلاً با این فرض طراحی می‌شدند که حرکات ضربدری وسایل‌نقلیه در مسیرهای گردشی انجام شود. همچنین مفروضات اولیهٔ طراحی میدان‌ها این بود که میدان‌های بزرگ‌تر نسبت به میدان‌های مشابه اما کوچک‌تر، ترافیک بیشتری را حمل و وجود اضلاع طولانی‌تر در بخش‌های با حرکات ضربدری، ظرفیت را بهبود می‌بخشد. در گذشته و پیش از تغییر در قانون حق تقدم (و حتی برای مدتی پس از آن) میدان‌های بزرگ به‌منظور جلوگیری از قفل شدن تقاطع در ساعات اوج ترافیک ترجیح داده می‌شدند [Brown, 1995]. میدان‌های بزرگ جدید در حال حاضر ساخته نمی‌شوند و نیز میدان‌های بزرگ موجود در حال بازسازی به انواع مناسب‌تر از نظر ایمنی ترافیک هستند. این به معنای شعاع ورودی کوچک‌تر، کاهش تعداد خطوط در ورودی و خروجی و در امتداد جاده گردشی، یا ارائه علائم راهنمایی و رانندگی در چنین میدان‌هایی است (شکل ۱۳).

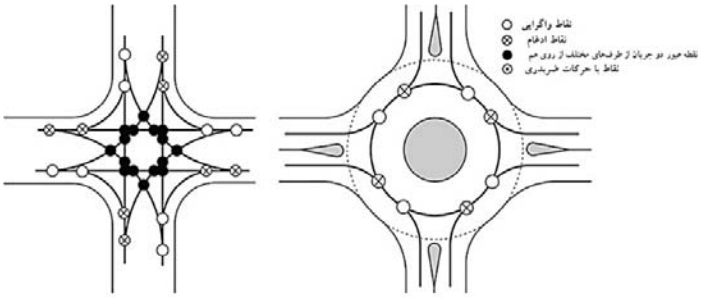
شکل ۱۳. میدان بزرگ با علائم راهنمایی و رانندگی. برلین- آلمان [Tollazzi, 2015]

۳-٤- میدان‌های دوخطه و چندخطه

دلیل اصلی ساخت میدان‌های دو و چندخطه، پیش‌بینی دو برابر شدن ظرفیت‌های این میدان‌ها بود. در نتیجه، میدان‌ها در گذشته به دو شکل اجرا می‌شدند: با دو خط در ورودی/خروجی و یک‌خط در امتداد مسیر گردشی، یا با دو خط در ورودی/خروجی و دو خط در امتداد مسیر گردشی. که هدف آن‌ها دو برابر کردن ظرفیت‌ها بود. در اوایل دهۀ هفتاد قرن گذشته، تعداد زیادی از این میدان‌ها در بریتانیا و بعدها در سایر کشورهای اروپایی نیز ساخته شد (شکل ۱٤).

شکل ۱٤. میدان چندخطه. لیوبلیانا- اسلوونی [Tollazzi, 2015]

پس از مدتی، مشاهده شد که واقعیت با تمام مفروضات فنی و محاسبات عددی مربوط به چنین نوع میدان، در تضاد بود. مزیت اصلی میدان‌های یک‌خطه در مقایسه با تقاطع‌های استاندارد حذف نقاط تداخل در درجه اول در هنگام عبور دو جریان از طرف‌های مختلف از روی هم و در درجه دوم در حرکات ضربدری و در درجه سوم حذف نقاط تداخل هنگام ادغام و واگرایی جریان است. از نظر تئوری، تقاطع کلاسیک با چهار مسیر دارای ۳۲ نقطه تداخل (۱٦ نقطه عبور دو جریان از طرف‌های مختلف از روی هم، ۸ نقطه ادغام و ۸ نقطه واگرا) است، در حالی که میدان یک‌خطه با چهار مسیر تنها ۸ نقطه تداخل دارد (٤ نقطه ادغام و ٤ نقطه واگرایی) (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. نقاط تداخل در یک تقاطع استاندارد با چهار مسیر و یک میدان با چهار مسیر [Tollazzi, 2015]

۳-۵- میدان کوچک

اطلاعات مربوط به مکان و زمان احداث اولین میدان‌کوچک در جهان متناقض است. با این حال، باور عمومی بر این است که دایره‌های ترافیکی که توسط انو در دهۀ اول قرن بیستم در آمریکا، اولین میدان‌های کوچک واقعی بودند [Brown, 1995]. آخرین استاندارد مربوط به طرح هندسی میدان‌های کوچک در سال ۲۰۰۷ منتشر شد [Department for Transport, 2007]. یک میدان‌کوچک معمولی در بریتانیا باید یک جزیرۀ مرکز و یک راه دایره‌ای سفید با قطر بین ۱ تا ٤ متر با امکان عبور داشته باشد. وسیله‌نقلیه‌ای که در میدان کوچک حرکت می‌کند باید در سمت چپ دایره سفید رنگ بماند، مگر اینکه اندازۀ وسیله‌نقلیه یا طراحی

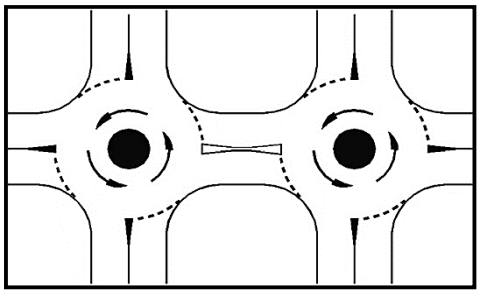
میدان‌کوچک این امر را غیر عملی کند. اگرچه این استاندارد به طور اسمی برای راه‌های اصلی پر رفت و آمد در نظر گرفته شده است، اما تعداد بسیار کمی میدان‌کوچک در چنین راه‌هایی وجود دارد. این میدان‌ها به عنوان یک اقدام اصلاحی برای یک اتصال با حق تقدم ضعیف به جای یک نوع اتصال دارای حق تقدم خود به خود دیده می‌شوند [Kennedy, 2008]. جزایر جداکننده ممکن است با استفاده از جدول محدود شوند و یا ممکن است با خط‌کشی ایجاد شوند (فقط رنگ شده). در هر حال استفاده از آنها باید کنترل شود (شکل ١٦) به نحوی که وسایل‌نقلیه از سمت اشتباه دایره سفید نتوانند به سادگی استفاده کنند. انحراف در دایره سفید ضروری نیست، اما یک جابجایی جانبی حداقل ۰/۸ متر در ورودی، معمولاً در خروج از خط، تمرین خوبی در نظر گرفته می‌شود.

شکل ١٦. جزیره جداکننده محدود شده با جدول، کمبریج- انگلیس [Tollazzi, 2015]

امروزه از این نوع میدان در بسیاری از کشورهای اروپایی نیز مکرراً استفاده می‌شود. ثابت شده است که تجربهٔ بسیار خوبی در رابطه با استفاده از این میدان‌ها در آلمان، فرانسه، اتریش، سوئیس، اسلوونی و کرواسی بدست آمده است. با این‌حال، در این کشورها با تغییر شرایط اجرایی مانند ارائه علائم راهنمایی و رانندگی متفاوت و طرح‌بندی جزایر مرکزی، طرح اولیه میدان‌کوچک اندکی تغییر کرده است. از این رو در ادامه تجربیات برخی دیگر از کشورهای اروپایی ارائه می‌شود. اما در ابتدا، لازم است به این واقعیت اشاره شود که در حال حاضر هر کشوری که میدان‌های کوچک را ایجاد می‌کند، دستورالعمل‌های خاص خود را برای طراحی میدان‌های کوچک اتخاذ کرده، به‌طوری که قوانین هر کشور با کشور دیگر ممکن است کاملاً متفاوت باشد.

٦-۳ میدان‌کوچک دوبل با خط اتصال مرکزی کوتاه

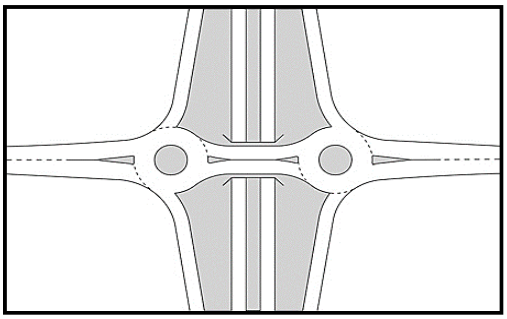
در ابتدا از جزایر کوچک در میدان‌های بزرگ استفاده می‌شد، اما همهٔ آن‌ها دارای انحراف کافی نبودند. جزایر کوچک در تقاطع‌های شهری و در مناطق کوچک به عنوان جایگزینی برای تقاطع‌های دارای حق تقدم موفق عمل کردند. بسیاری از طرح‌های تخصصی دیگر نیز در آن زمان توسعه یافتند. جزیره‌های دوگانه و یا چندگانه در میدان‌ها و تقاطع‌های حلقوی نیز در برخی مکان‌ها دارای مزایایی هستند. یکی از آن‌ها میدان دوتایی با یک راه ارتباطی مرکزی کوتاه (با جزایر جداکننده مشترک) است که به آن میدان با فاصله نزدیک نیز می‌گویند که هنوز در برخی کشورها به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرد [Brown, 1995]. این راه‌حل ممکن است به عنوان یک میدان‌کوچک دوبل (شکل ۱۷) یا به طور متناوب و به عنوان یک میدان استاندارد دوخطه ساخته شود. هر دو راهکار به تعیین ابعاد استاندارد برای این دو نوع میدان نیاز دارند. بر این اساس، ابعاد این میدان‌ها با ابعاد انواع میدان منفرد یکسان است. چنین نوع میدانی اغلب در یک تقاطع H شکل موجود (یعنی دو تقاطع T یا + با فاصله کوتاه) قرار دارد.



شکل ۱۷. طرح میدان‌کوچک دوتایی با راه ارتباطی مرکزی کوتاه [Tollazzi, 2015]

۳-۷- میدان دمبلی- اشکی- استخوانی

در چند دهۀ گذشته، تقاطع‌های شکل‌گرفته از تلاقی رمپ‌ها، به‌عنوان «تبادل لوزوی استاندارد» شناخته شدند. اما در حدود ۳۰ سال پیش، راه‌حل جدیدی به نام میدان دمبلی ترویج پیدا کرد (دلیل این نامگذاری شباهت عکس‌های هوایی آن میدان به دمبل بود) (شکل ۱۸).



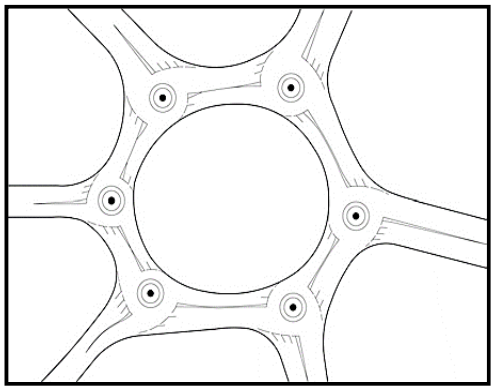
شکل ۱۸. طرح میدان دمبلی [Tollazzi, 2015]

میدان دمبلی در واقع ترکیبی از لوزی و میدان بوده، که به هر دوی آن‌ها بسیار شبیه است. چراکه یکی از آن‌ها مستقیماً در ادامه دیگری بوجود آمده است. به طور خلاصه یک میدان دمبلی، مزایایی مانند ظرفیت میدان‌های (معمولاً) یک‌خطه با فضای اشغالی کم و تک اتصاله بودن یک تبادل لوزوی استاندارد را ترکیب می‌کند. این نوع میدان در کشورهای مختلف اروپایی (شکل ۱۹) و کشورهای دیگر بسیار رایج است. عیب اصلی این نوع میدان ظرفیت کمتر آن نسبت به میدان‌های دیگر است. بطوری که دو میدان با کارایی کمتری نسبت به یک میدان کار می‌کنند. عیب دوم این است که ساخت این نوع میدان در جایی که میدان بزرگی قبل از میدان جدید ساخته‌شده دشوار است.

شکل ۱۹. میدان دمبلی در بزرگراهی در هلند [Tollazzi, 2015]

۳-۸- میدان جادویی

تقاطع حلقوی (یا میدان زنجیره‌ای یا میدان جادویی)، فقط در انگلستان به کار گرفته شده و حتی در آنجا نیز فقط چند نمونه وجود دارد. به طور کلی، این نوع میدان (شکل ۲۰) در تقاطع بیش از چهار راه استفاده می‌شود و از یک راه دو طرفه در اطراف جزیره مرکزی با چند میدان کوچک تشکیل شده است. ویژگی اصلی این نوع میدان این است که حرکت ترافیک می‌تواند در اطراف میدان اصلی و یا در جهت عقربه‌های ساعت (در انگلستان) از طریق خطوط خارجی و یا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت با استفاده از خطوط داخلی در کنار جزیرۀ مرکزی انجام شود. قطر محاطی دایره حدود ٦۰ متر است. در هر میدان کوچک، جریان معمول در جهت عقربه‌های ساعت (در بریتانیا) اعمال می‌شود.

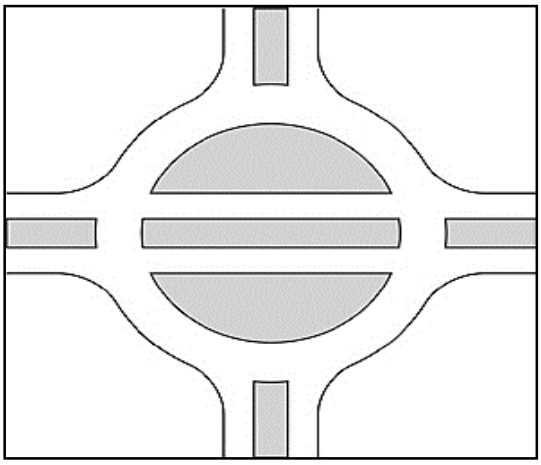


شکل ۲۰. طرح میدان جادویی طرح رانندگی در سمت چپ [Tollazzi, 2015]

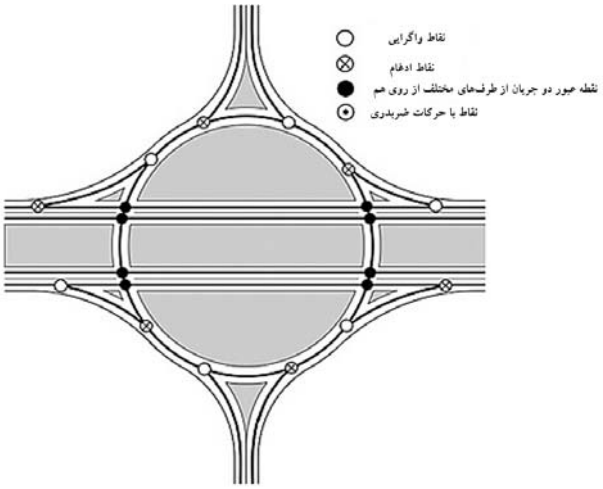
۳-۹- میدان با جزیرۀ انتقالی

جزیره مرکزی یک میدان از همان ابتدای توسعه میدان‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی بود. چرا که این اَشکال تمایل به افزایش سرعت وارد شدن و نزدیک شدن به میدان و همچنین تمایل کاهش سرعت در گردش را داشتند. با افزایش سرعت عمومی و حجم ترافیک، در نهایت قفل‌شدگی مکرر رخ می‌دهد [Brown, 1995]. یک میدان با یک جزیرۀ مرکزی انتقالی معمولاً "میدان همبرگر" نامیده می‌شود (این نام به دلیل تصویر هوایی گرفته‌شده از میدان است: چراکه دو نیمه جزیره مرکزی شبیه نان هستند و شکاف جزیره بین دو راه نشان‌دهندۀ گوشت است). اما عبارات میدان شکاف‌دار نیز در حال استفاده است (شکل ۲۱). میدان همبرگر نوعی میدان با یک بخش مستقیم جهت ارتباط راه‌های اصلی است. این میدان دارای یک جزیره مرکزی است که به دو نیمه جزیره مرکزی تقسیم شده است. عرض جزیره جداکنندۀ میانی برابر با طول یک وسیله‌نقلیه سنگین یا یک اتوبوس (یا بیشتر، اما نه کمتر) است. قطر محاطی دایره در میدان همبرگر حدود ٦۰ متر یا بیشتر است.

در بریتانیا و ایرلند این نوع میدان هنوز هم استفاده دارد و در اسپانیا و پرتغال نیز بسیار رایج است. این نوع میدان همبرگر هم‌سطح، اغلب به دلیل تعداد زیاد نقاط تداخل (شکل ۲۲) و روشنایی همیشگی، با علائم راهنمایی و رانندگی کنترل می‌شود.



شکل ۲۱. طرح میدان همبرگری [Tollazzi, 2015]



شکل ۲۲. نقاط تداخل در یک میدان همبرگر همسطح [Tollazzi, 2015]

۳-۱۰- میدان با راه جدا شده در سمت راست

میدان‌های استاندارد یک یا دو خطه (همچنین برخی دیگر از انواع میدان‌ها) گاهی اوقات شامل خطوط مجزا برای گردش به راست هستند (به این خطوط، خطوط گریز یا خط‌های گردش به راست جداشده یا در برخی از کشورهای اروپایی خط میان‌بر یا خطوط جریان آزاد یا خطوط کانالیزه کردن گردش گفته می‌شود). این نوع از میدان در واقع شامل یک خط گردش به راست مجزا است (شکل ۲۳) که در مجاورت میدان قرار دارد و امکان عبور از مسیری دیگر به جای میدان برای حرکات گردش به راست را فراهم و ترافیک را آرام می‌کند.

شکل ۲۳. میدان با چهار خط گردش به راست مجزا از نوع خط شتاب. شهر واراژدین-کرواسی [Tollazzi, 2015]

۳-۱۱- میدان دارای چراغ راهنمایی

دایره‌ها و میدان‌های مربعی چراغ‌دار از میدان‌های مربعی اولیه و قدیمی شهر با چهار یا چند راه متقاطع سرچشمه می‌گیرند. امروزه این دایره‌های ترافیکی قدیمی و میدان‌های مربعی در شهرها تقریباً همیشه با چراغ راهنمایی کنترل می‌شوند. زیرا عمدتاً در مراکز شهر قرار دارند (معمولاً در منطقه‌ای با ترافیک زیاد قرار دارند). چراغ راهنمایی در ابتدا بر روی دایره‌ها و میدان‌های ترافیکی به عنوان چراغ‌های نیمه‌وقت در حال کار در دوره‌های اوج نصب می‌شدند و البته این کاربرد هنوز هم رایج است. اولین آزمایش استفاده از چراغ راهنمایی در یک دایره ترافیکی در بریتانیا و در سال ۱۹۵۹ بود [Brown, 1995]. میدان‌های دارای چراغ راهنمایی کمی متفاوت از دایره‌های ترافیکی چراغ‌دار هستند. میدان‌های دارای چراغ راهنمایی از انگلستان سرچشمه می‌گیرند و به اوایل دهه هفتاد قرن گذشته بازمی‌گردند. اما گسترش سریع آن‌ها از سال ۱۹۹۱ آغاز شد. از سال ۱۹۹۱ به بعد، استفاده از چراغ راهنمایی به یک روش رایج برای کنترل ترافیک در میدان‌ها تبدیل شد و اکنون در ایالات متحده آمریکا، استرالیا، سوئد، ایرلند، هلند، آلمان، بلژیک، دانمارک، ترکیه،

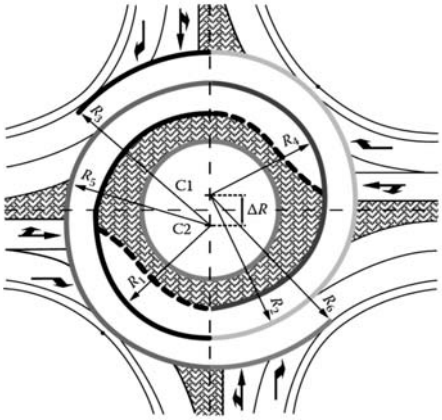
لهستان و اسلوونی نیز این نوع میدان شناخته شده است.

۳-۱۲- میدان توربو

میدان توربو در هلند در سال ۲۰۰۹ مطرح شد. شکل هندسی این نوع میدان در شکل ۲٤ نشان داده شده است. در این نوع میدان، تعداد تداخلات نسبت به طرح‌های مرسوم کمتر است. جدول ۱، جزئیات تعداد نقاط تداخلی در میدان توربو، میدان دوخطهٔ مرسوم و تقاطع بدون چراغ با ۳ و ٤ ورودی را نشان می‌دهد. میدان توربو یک دایرهٔ معمولی ندارد. در رابطهٔ ۱، جزئیات شعاع در میدان توربو مشخص شده است [M.Wolhunter, K, 2015].

جدول ۱. مقایسهٔ تعداد نقاط تداخلی [M.Wolhunter, K, 2015]

تعداد خطوط	تعداد نقاط تداخلی		
	تقاطع بدون چراغ	میدان دوخطهٔ مرسوم	میدان توربو
۳	۹	۱٦	۷
٤	۳۲	۲۲	۱۰



شکل ۲٤. جزئیات طرح هندسی میدان توربو [M.Wolhunter, K, 2015]

$$R_2 = R_1 + \Delta R$$
$$R_3 = R_2 + \Delta R$$
$$R_4 = R_3 + \Delta R \qquad (۱)$$
$$R_5 = R_4 + \Delta R$$

در شکل ۲۵، نمونهٔ واقعی یک میدان توربوی اجراشده را ملاحظه می‌کنید.

شکل ۲۵. نمونهٔ طرح میدان توربوی اجراشده [NCHRP Report 672, 2010]

۳-۱۳- میدان مونتاژی

یک میدان مونتاژی (موقتی) یک راه حل طراحی موقتی است که معمولاً در یک تقاطع سه یا چهار شاخه موجود قرار گرفته است. این نوع میدان با استفاده از عناصر، تابلوها، خطکشی و تجهیزات مرتبط با ایمنی ترافیک برای بهبود ظرفیت و ایمنی ساخته می‌شود (شکل ۲٦). ساخت یک میدان مونتاژی همراه با جابجایی جداول تقاطع موجود، حفاری آسفالت، یا هر گونه اقدام پیچیده نیازمند بودجه و عملیات ساخت نیست.

شکل ۲٦. یک میدان مونتاژی در ماریبور اسلوونی [Tollazzi, 2015]

کشورهای گوناگون از شرایط و موقعیت‌های مختلفی برای استفاده از میدان مونتاژی بهره می‌برند. این شرایط عبارتند از:

-شرایط ترافیکی به طو موقت تغییر کرده است. بطور مثال یک تغییر موقتی در جریان ترافیک در مسیر اصلی یا فرعی در فصل تابستان همزمان با ورود توریست یا در زمان همایش‌ها و رخدادها.

-جریان ترافیک سنگین موقتی وجود داشته باشد. بطور مثال بحث ساخت و ساز در خود تقاطع، ساخت یک شاخه چهارم در یک میدان سه شاخه یا ...)

-به عنوان بخشی از فرایند اثبات اینکه میدان می‌تواند به عنوان راهکار دائمی در یک تقاطع باشد.

-در زمان ساخت یک میدان به عنوان راهکار دائمی (برای محافظت از کارگران ساخت در زمان ساخت جزیرهٔ مرکزی).

-به عنوان روشی برای آرامسازی ترافیک در تقاطع‌های موجود که دارای چراغ راهنمایی نیستند (اگر سرعت در مسیر اصلی بالا بوده یا وسایل‌نقلیه در مسیر فرعی در زمان ادغام یا واگرایی با جریان اصلی مشکل دارند).

-با هدف تسهیل عاجل شرایط بد ایمنی (اگر در حال حاضر بودجه لازم برای ساخت طرح دائمی وجود ندارد).

٤- مباحث جدید در بحث میدان

در این بخش ابتدا در رابطه با نرم‌افزارهای مورد استفاده جهت تحلیل و طراحی میدان صحبت خواهد شد. سپس موضوعات تحقیقاتی جدید مطرح در ارتباط با میدان ارائه می‌شود.

٤-۱- معرفی نرم‌افزارهای طراحی و ارزیابی میدان

در طراحی یک میدان، مهندس ترافیک باید هنگام انتخاب مسیر مناسب، میان طرح‌های پیچیده و پر هزینه با ظرفیت کافی و طرح‌های کم‌هزینه با ظرفیت پایین و شامل هزینه‌های تأخیر، تعادل برقرار کند. زیرا طرح ایده‌آل در واقع طرحی است که تمامی هزینه‌های احداث و بهره‌برداری میدان از جمله هزینه‌های مصرف سوخت و تأخیر را به حداقل برساند. در این بخش نرم‌افزارهای معروف در ارتباط با بحث تحلیل و طراحی میدان معرفی و ارزیابی می‌شود.

٤-۱-۱- نرم‌افزار ARCADY

ARCADY یک نرم‌افزار استرالیایی برای پیش‌بینی ظرفیت‌ها، طول صف، تأخیرها و ریسک تصادف در میدان‌ها و مخفف ارزیابی ظرفیت و تأخیر میدان است. آزمایشگاه تحقیقات راه و حمل و نقل بریتانیا یکی از مراکزی است که برنامه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای در زمینه طراحی میدان انجام داده و یکی از یافته‌های اصلی این مرکز یک برنامه کامپیوتری به نام ARCADY به عنوان یک نرم‌افزار تحلیل میدان است. ARCADY یک ابزار مفید با کاربرد آسان است که به مهندسان ترافیک پر مشغله در طراحی میدان‌های جدید و ارزیابی اثرات بازسازی طرح‌های موجود، کمک می‌دهد. میدان‌ها با استفاده از روابط ظرفیت معتبر و لحاظ کردن جزییات هندسی کلیدی نظیر عرض ورودی میدان، عرض محل نزدیک شدن به میدان، طول خط دارای تغییر عرض تدریجی، زاویه تداخل، قطر دایره محاطی و شعاع ورودی، مدل‌سازی می‌شوند. این نرم‌افزار، برنامه‌ای برای تخمین عملکرد یک طرح خاص از میدان است. به طوری که مهندس ترافیک برای استفاده از آن نیاز دارد که در ابتدا یک طرح اولیه تهیه و سپس به کمک آن ورودی‌های هندسی مورد نیاز برنامه را استخراج و یا حدس نسبتاً دقیقی در رابطه با پارامترهای مورد نیاز ارائه و در صورت مناسب بودن این حدسیات، تلاش کند تا طرحی معقول را با آن‌ها تطبیق دهد [Norouzi, 2009].

٤-۱-۲- نرم‌افزار RODEL

بری کرون درسال ۱۹۸۸ یک برنامهٔ تجربی برای تأخیر در میدان با نام RODEL براساس داده‌های میدانی و ارتباط میان مشخصات هندسی و معیارهای عملکردی شامل تأخیر و ظرفیت توسعه داد [Kinzel and Trueblood, 2004]. این نرم‌افزار با توجه ویژه به مشخصاتی که بر بهینه‌سازی طراحی میدان اثر دارد توسعه یافت. RODEL یک نرم‌افزار تحلیل میدان در سطح ماکروسکوپیک است که به فهم آثار عملیاتی طرح‌های هندسی متنوع و آثار آنها بر عملکرد میدان براساس راهنمای ظرفیت راه‌ها کمک می‌کند. این نرم‌افزار به تحلیل دقیق ظرفیت و تأخیر در میدان می‌پردازد. RODEL موجب ارائهٔ راهکارهای طراحی بهینه می‌شود. این نرم‌افزار به ویژه برای میدان‌های با جریان سنگین و اهداف دارای قید مناسب است. مهم‌ترین ایراد این نرم‌افزار این است که قادر به لحاظ نمودن تقاطع‌های پیچیده در بین میدان‌های تحلیل شده و نیز هر گونه تقاطع مجاور میدان نیست. این نرم‌افزار ظرفیت رویکرد میدان را به این ٦ پارامتر هندسی علاوه بر جریان تداخلی مرتبط می‌سازد [Kinzel and Trueblood, 2004].

-عرض رویکرد در ورودی میدان
-عرض رویکرد قبل از میدان
-شعاع ورودی
-زاویهٔ ورودی
-قطر دایرهٔ محاطی
-طول موثر بخش دارای تغییر عرض در ورودی میدان

٤-۱-۳- نرم‌افزار SIDRA

این نرم‌افزار مخفف راهنمای طراحی و تحقیقاتی تقاطعات دارای چراغ راهنمایی و بدون چراغ راهنمایی است. هدف این نرم‌افزار استرالیایی تحلیل ظرفیت و عملکرد میدان است. SIDRA یک نرم‌افزار تحلیلی است و توسعه‌ای بر تئوری صف و مبحث سنتی پذیرش فاصلهٔ بین دو خودرو است [Sisiopiku, 2001].

٤-۱-٤- نرم‌افزار TORUS

TORUS نرم‌افزار مبتنی بر CAD برای طراحی میدان‌های مدرن است. این نرم‌افزار ابزاری مطمئن برای طراحی هندسی خلاقانهٔ میدان با استفاده از حرکات مسیر جارو شدهٔ وسیله نقلیه است. این روش موجب کاهش تعداد دفعات سعی و خطا در فرایند طراحی شده در حالی که امکان کنترل سرعت، خودروی طرح و فاصلهٔ دید را هم فراهم می‌کند. با استفاده از طراحی برمبنای مسیر جارو شده، طراحان قادر خواهند بود تا طرح هندسی نوار کامیون، بخش‌های بیرونی میدان، جزایر جداکننده ورودی و لبه‌های بیرونی مسیر را تعریف کنند. با این نرم‌افزار هر میدان را می‌توان به شکل منحصر به فردی جهت رعایت محدودیت‌های محل و ملزومات خودرو در تعداد نامحدودی

پروژه طراحی نمود. امکان ایجاد جزییات طراحی به شکل بصری در این نرم‌افزار وجود دارد. می‌توان میدان‌های یک خطه یا چندخطه را براساس خودروی طرح با سرعت طراحی نمود. امکان تعیین دایرهٔ محاطی، قطر دایرهٔ جزیرهٔ مرکزی، نوار کامیون و جزییات مسیرهای ورودی وجود دارد. با تغییر در هر یک از اجزای طراحی یا پارامترهای هندسی به شکل خودکار سایر مقادیر طراحی در کل طرح میدان تغییر خواهد کرد [Transoft-Solutions, 2023]. امکان طراحی میدان‌های تورپو و هر نوع میدان دیگر براساس کنترل مسیر سریع‌ترین وسیله نقلیه وجود دارد. در نسخه‌های جدید نرم‌افزار امکان ایجاد فایل Autodesk، AutoCaAD و Civil3D به همراه جزییات مسیر افقی، مسیر قائم وجود دارد. نرم‌افزار TORUS امکان هماهنگی با SIDRA INTERSECTION را جهت تحلیل ظرفیت دارد. اطلاعات کلیدی در رابطه با ظرفیت از SIDRA قابل ورود و هماهنگی با TORUS بوده و امکان تغییر طرح هندسی جهت تطبیق با شرایط دارد. همچنین اطلاعات تحلیلی دیگر نظیر مصرف سوخت، هزینه‌ها، آلاینده‌ها، تأخیر، ظرفیت، سرعت، حجم و صف در قالب CAD با رنگ‌ها و شکل خطوط مختلف قابل نمایش است.

٤-١-٥- نرم‌افزار VISSIM

این نرم‌افزار توسط شرکت PTV به‌عنوان مشاور بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک و تولیدکنندهٔ تخصصی سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل، نرم‌افزارهای مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک، سامانه‌ها و نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کالا در سال ۱۹۷۹ در کارلسروهٔ آلمان ساخته شد. این نرم‌افزار، یکی از رایج‌ترین شبیه‌سازهای میکروسکوپیک و مزوسکوپیک چند مد تسهیلات حمل‌ونقل و تسهیلات عبور عابرپیاده در سطح جهانی است. خروجی‌های متنوعی مانند جریان، چگالی، سرعت، زمان سفر، تأخیر، طول صف، مسافت سفر، میزان آلودگی و ... با این نرم‌افزار به دست می‌آیند [VISSIM User Manual, 2023]. همچنین با این نرم‌افزار می‌توان خروجی‌های متنوعی مانند شاخص‌های آماری، نمودارها، جدول‌ها، انیمیشن‌های دوبعدی و سه‌بعدی را به دست آورد [PTV VISSIM, 2023]. با استفاده از این نرم‌افزار امکان مدلسازی میدان و گرفتن خروجی‌های عملکردی متنوع جهت مقایسهٔ سناریوهای مختلف وجود دارد.

٤-١-٦- نرم‌افزار AIMSUN

این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۱، در دانشگاه کاتالونیای بارسلونای اسپانیا به‌وسیلهٔ اساتید این دانشگاه توسعه داده شد. این نرم‌افزار در ابتدا Getram نام داشت؛ ولی با گسترش و انشعاب آن به‌وسیلهٔ شرکت TSS در سرتاسر دنیا به نام AIMSUN شناخته می‌شود. در حال حاضر، AIMSUN توسط شرکت زیمنس آلمان خریداری شده است. مدل پس از اجرا، در دو بخش اصلی خروجی‌های آماری و گرافیکی ارائه می‌دهد. در واقع خروجی‌های آماری، شاخص‌های ترافیکی مورد نظر را برای ارزیابی سناریوی طراحی‌شده به دست می‌دهند. خروجی‌های گرافیکی نیز می‌توانند برای کارشناس، یک دید کلی دربارهٔ طرح مورد نظر ایجاد کنند [Aimsun, 2023]. این نرم‌افزار مجموعه‌ای کامل در خصوص مدلسازی میکروسکوپیک، ماکروسکوپیک و مزوسکوپیک با قوی‌ترین سطح یکپارچگی است و همچنین، یک پایگاه اطلاعاتی و پشتیبانی قوی دارد. با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN امکان مدلسازی میدان و تحلیل آن وجود دارد. خروجی نرم‌افزار شاخص‌های ترافیکی متنوعی است که امکان مقایسه سناریوهای مختلف را فراهم می‌سازد.

٤-٢- افق‌های تحقیقاتی در رابطه با میدان

امروزه، میدان‌های مدرن در همهٔ کشورهای اروپایی و همچنین چندین کشور دیگر در سراسر جهان وجود داشته و تعداد آن‌ها نیز بسیار زیاد است. به‌طوری که می‌توان گفت میدان‌های مدرن امروز پدیده‌ای جهانی هستند. اکنون سطح خوبی از درک الزامات ظرفیت و ایمنی در میدان‌ها وجود دارد. عناصر اصلی پیش‌بینی شده برای طراحی هندسی میدان با تحقیق در فرمول‌های تجربی، شبیه‌سازی‌های خرد و برخی مطالعات موردی (پروژه‌های آزمایشی) در دنیای واقعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پیش‌بینی چگونگی توسعهٔ میدان در آینده دشوار است اما می‌توان بیان کرد که **[Tollazzi, 2015]**.

-توسعهٔ انواع جدید میدان‌ها در آینده نیز ادامه خواهد یافت.

-تعداد میدان‌ها در آینده افزایش خواهد یافت.

-در اروپا نمونه‌های بیشتری از انواع میدان‌های جدید اجرا خواهد شد.

-بیشترین رشد مربوط به تعداد میدان‌های مدرن و همچنین انواع میدان‌های جدید را در ایالات متحده، کانادا، ژاپن و در برخی دیگر از کشورها می‌توان انتظار داشت. می‌توان حدس زد که در آیندهٔ نزدیک، بیشتر میدان‌ها از نوع یک‌خطه (کوچک و متوسط) و از نوع میدان‌های مدرن اجرا شوند. زیرا میدان‌های یک‌خطه ملاک خوبی برای آرامش ترافیک در مناطق شهری هستند و میدان‌های مدرن، به‌عنوان راه‌حلی برای موقعیت‌های ترافیکی خاص در نظر گرفته می‌شوند. در پایان با بررسی مقالات چاپ شده در سال‌های اخیر در مجلات معتبر علمی دنیا در ارتباط با بحث میدان می‌توان گفت که تحقیقات در حال انجام در این زمینه در حال حاضر در موارد زیر بیشتر متمرکز است:

-ایمنی و راحتی دوچرخه‌سواران در میدان [Campisi and et al, 2020; Poudel and Singleton, 2022; ;Poudel and Singleton, 2021; Pulvirenti and et al, 2021; Singleton and Poudel, 2023]

-تأثیر خودروهای خودران و متصل بر عملکرد میدان [Anagnostopoulos and Kehagia, 2020; Guerrieri, 2023; Hang and et al, 2022; Long and et al, 2023; Martin-Gasulla and Elefteriadou, 2021]

-ارزیابی ایمنی میدان [Al-Marafi, Somasundaraswaran and Ayers, 2020; Cafiso, La Cava and Montella, 2019; Ghanim and et al, 2020; Polders and et al, 2015; Zubaidi, Anderson and Hernandez, 2020]

-ارزیابی ظرفیت و عملکرد میدان [An, Yue and Stazic, 2017; Chen and Lee, 2016; Nikitin, Patskan and Savina, 2017; Pratelli and Brocchini, 2022; Song and et al, 2022]

-ارزیابی عملکرد میدان‌های توربو [Balado and et al, 2019; Campisi and et al, 2020; Dabiri, Aghayan and Hadadi, 2021; Giuffrè, Granà and Marino, 2012; Fernandes and et al, 2016]

-ایمنی عابران پیاده در میدان [Elvik, 2017; Gruden, Ištoka Otković and Šraml, 2021]

-آلودگی هوا و صوتی در میدان [Fernandes and et al, 2015; Garceau, 2018; Gardziejczyk and Motylewicz, 2016; Lakouari and et al, 2020]

-طرح‌های نوآورانهٔ میدان جهت بهبود عملکرد [Guerrieri and et al, 2015]

-استفاده از چراغ راهنمایی در میدان جهت بهبود عملکرد و ایمنی [Muley and et al, 2022; Tracz and Chodur, 2012]

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله به مرور جایگاه میدان، تاریخچهٔ آن و انواع میدان در دنیا می‌پردازد. همچنین یک بررسی در خصوص جدیدترین مباحث مطرح در ارتباط با میدان صورت می‌گیرد. براساس نتایج مرورهای انجام شده نتایج زیر حاصل شده است.

-می‌توان حدس زد که در آیندهٔ نزدیک، بیشتر میدان‌ها از نوع یک‌خطه (کوچک و متوسط) و از نوع میدان‌های مدرن اجرا شوند. زیرا میدان‌های یک‌خطه ملاک خوبی برای آرامش ترافیک در مناطق شهری هستند و میدان‌های مدرن، به‌عنوان راه‌حلی برای موقعیت‌های ترافیکی خاص در نظر گرفته می‌شوند.

-از آنجا که تأثیر اولیهٔ طراحی میدان‌های مدرن بر ظرفیت و ایمنی ترافیک در حال حاضر شناخته شده است، اکنون فرصتی مناسب برای درک بهتر تأثیر عوامل ثانویه طراحی میدان‌های مدرن است. درک این عوامل می‌تواند دید واضح‌تری را در برخی از زمینه‌ها در ارتباط با مفاهیم متضاد و دارای ابهام از عملکرد میدان، ارائه دهد.

-زمینه‌های نیازمند مطالعه و بررسی بیشتر در بحث میدان جهت انجام موارد تحقیقاتی عبارتند از: انواع میدان‌های جدید، ظرفیت انواع میدان‌های جدید، میدان‌های کنترل شده با چراغ، اثرات میدان بر محیط زیست، مقررات مربوط به دوچرخه‌سواران در میدان، رانندگان و عابران‌پیاده مسن در میدان، عابران‌پیاده نابینا در میدان.

-اخیراً، چندین کشور با استفاده از روش کاهش تعداد نقاط تداخل، در حال رفع مشکل ایمنی ترافیک در میدان‌های دوخطه استاندارد به شکل میدان توربو هستند.

-همهٔ انواع میدان‌های جدید دارای مزایا و معایب مخصوص به خود هستند. این موضوع قابل پیش‌بینی بوده زیرا میدان‌ها برای حل برخی مشکلات خاص در نظر گرفته‌شده‌اند. همچنین در آینده‌ای نزدیک می‌توان انتظار تحولات بیشتری را در رابطه با این میدان‌ها با هدف حل مشکلات خاص داشت.

-شبیه‌سازی ترافیک به طور فزاینده‌ای برای ارزیابی عملکرد ترافیکی در طول انواع مختلف شبکه‌های راه مورد استفاده قرار می‌گیرد و چندین برنامهٔ شبیه‌سازی خرد اختصاصی برای مدل‌سازی شبکه‌های ترافیکی عمومی در حال حاضر در دسترس هستند. اما در حال حاضر برای میدان‌های جدید، داده‌های ارزیابی عملکردی در دسترس نیست. به عنوان مثال، تنها در هلند تعدادی توربو میدان ساخته شده و تعداد بسیار کمی از آن‌ها در محدوده ظرفیت/یا نزدیک به ظرفیت کار می‌کنند.

-میدان‌های کنترل شده با چراغ نیز به ویژه در دو دهه اخیر در حال توسعه بوده‌اند. استفاده از چراغ در میدان‌ها تکنیکی است که می‌تواند برای غلبه بر مشکلات مربوط به جریان ناهموار ترافیک در دوره‌های اوج استفاده شود. استفاده از کنترل تمام وقت یا کامل با چراغ در این میدان‌ها در اکثر شهرهای انگلستان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در استرالیا، رویه این بوده که چراغ‌ها را در مسیر ورودی میدان برای اندازه‌گیری جریان گردشی و به منظور کاهش تأخیر در شاخه‌های مخالف نصب کنند. این رویکرد به صورت پاره وقت عمل می‌کند و موجب تأخیر در

ورودی و فاصله بحرانی فعال می‌شود. تجربیات خوبی در مورد میدان‌های کنترل شده با چراغ نیز از لهستان و سوئد گزارش شده است. در لهستان، میدان‌های توربوی کنترل‌شده با چراغ نشان‌دهندهٔ نسل جدیدی از تقاطع‌ها بوده که مزایای زیادی مانند ظرفیت بالاتر، افزایش ایمنی و گذرگاه‌های عابرپیاده کوتاه‌تر را برای ترافیک شهری ارائه می‌دهند.

-معیارهای زیست‌محیطی به اندازه معیارهای ایمنی مهم هستند. حتی می‌توان گفت امروزه در برخی از کشورها این معیارها مهم‌ترین معیار به ویژه در مناطق شهری هستند. زیرا همیشه ابتدا بررسی می‌شود که کدام نوع تقاطع حداقل تأثیر منفی را بر محیط‌زیست و کیفیت زندگی دارد. انتشار آلاینده‌ها، خصوصاً در بافت شهری، با چندین پارامتر زیرساختی و شدت ترافیک و توپولوژی مرتبط است. میدان‌ها مزایای زیست محیطی زیادی را به کمک کاهش تأخیر وسایل‌نقلیه و همچنین کاهش تعداد و مدت زمان توقف وسایل‌نقلیه در مقایسه با تقاطع‌های چراغ‌دار یا کنترل شده ارائه می‌دهند. در میدان‌ها، حتی زمانی که حجم ترافیک سنگین است، وسایل‌نقلیه به جای توقف کامل، در صف‌های آهسته حرکت می‌کنند. این امر با کاهش تعداد چرخه‌های شتاب/کاهش سرعت و زمان صرف شده در هنگام توقف، به میزان قابل توجهی کیفیت هوا را افزایش و مصرف سوخت را کاهش می‌دهد.

٦-مراجع

-Aimsun [Internet]. (2023). Available from: http://www.aimsun.com

-Al-Marafi MN, Somasundaraswaran K, Ayers R. (2020). Developing crash modification factors for roundabouts using a cross-sectional method. *J Traffic Transp Eng (English Ed [Internet]*. 7(3):362–74. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756418302708

-Anagnostopoulos A, Kehagia F. (2020). CAVs and roundabouts: research on traffic impacts and design Elements. *Transp Res Procedia [Internet]*. 49:83–94. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520307298

-An HK, Yue WL, Stazic B. (2017). Estimation of vehicle queuing lengths at metering roundabouts. *J Traffic Transp Eng (English Ed [Internet]*. 4(6):545–54. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416302987

-Balado J, Díaz-Vilariño L, Arias P, Novo A. (2019). A safety analysis of roundabouts and turbo roundabouts based on Petri nets. *Traffic Inj Prev [Internet]*. 20(4):400–5. Available from:www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1538958822008189

-Brown, M. (1995). TRL State of the Art Review: The Design of Roundabouts. *London: HMSO.*

-Cafiso S, La Cava G, Montella A.(2019). Safety Index for Evaluation of Two-Lane Rural Highways. *Transp Res Rec J Transp Res Board [Internet]*. 2007 Jan 1 [cited 2021 Mar 6];2019(1):136–45. Available from: http://journals.sagepub.com. **doi/10.3141/2019-17**

-Campisi T, Tibljaš AD-, Tesoriere G, Canale A, Rencelj M, Šurdonja S. (2020). Cycling traffic at turbo roundabouts: some considerations related to cyclist mobility and safety. *Transp Res Procedia [Internet]*. 45:627–34. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520302106

-Chen X, Lee MS. (2016). A case study on multi-lane roundabouts under congestion: Comparing software capacity and delay estimates with field data. *J Traffic Transp Eng (English Ed [Internet]*. 3(2):154–65. Available from:www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416300563

-Dabiri AR, Aghayan I, Hadadi F.(2021). A comparative analysis of the performance of turbo roundabouts based on geometric characteristics and traffic scenarios. *Transp Lett [Internet]*. 13(9):674–85. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1942786722002259

-Department for Transport (2007). Design of mini-roundabouts. Design Manual for Roads and Bridges (DMRB). *London, UK.*

-Elvik R. (2017). Road safety effects of roundabouts: A meta-analysis. *Accid Anal Prev [Internet]*. 99:364–71. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457516304560

pii/S2046043023000370
-Guerrieri M, Corriere F, Lo Casto B, Rizzo G. (2015). A model for evaluating the environmental and functional benefits of 'innovative' roundabouts. *Transp Res Part D Transp Environ [Internet]*. 39:1–16. Available from:www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000723
-Hang P, Zhang Y, de Boer N, Lv C. (2022). Conflict resolution for connected automated vehicles at unsignalized roundabouts considering personalized driving behaviours. *Green Energy Intell Transp [Internet]*. 1(1):100003. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773153722000032
-Jacquemart, G. (1998). Synthesis of Highway Practice 264: Modern Roundabout Practice in the United States. *Washington, D.C: TRB, National Research Council*.
-Kennedy, J. V. (2008). The UK standards for roundabouts and mini roundabouts. *in National roundabout conference*, TRB, Kansas City, Missouri, USA.
-Kinzel CS, Trueblood MT. (2004). The Effects of Operational Parameters in the Simulation of Roundabouts. *In: ITE 2004 Annual Meeting and Exhibit*. Institution of Transportation Engineers (ITE).
-Lakouari N, Oubram O, Bassam A, Pomares Hernandez SE, Marzoug R, Ez-Zahraouy H. (2020) Modeling and simulation of CO2 emissions in roundabout intersection. *J Comput Sci [Internet]*. 2020;40:101072. Available from:www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877750319304843
-Long K, Gao Z, Jiang Z, Ma C, Hu J, Yang X. (2023). Optimization based trajectory planner for multilane roundabouts with connected automation. *J Intell Transp Syst [Internet]*. 27(3):411–22. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1547245022004169
-Martin-Gasulla M, Elefteriadou L. (2021). Traffic management with autonomous and connected vehicles at single-lane roundabouts. *Transp Res Part C Emerg Technol [Internet]*. 125:102964. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X21000024
-Muley D, Dias C, Umlai A-H, AlArdah H, Shah M, Murtaza M, et al. (2022). Assessment
-Fernandes P. Pereira SR, Bandeira JM, Vasconcelos L. Silva AB, Coelho MC.(2016). Driving around turbo-roundabouts vs. conventional roundabouts: Are there advantages regarding pollutant emissions? *Int J Sustain Transp [Internet]*. 10(9):847–60. Available from:www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1556831822004701
-Fernandes P, Salamati K, Rouphail NM, Coelho MC. (2015). Identification of emission hotspots in roundabouts corridors. *Transp Res Part D Transp Environ [Internet]*. 37:48–64. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000589
-Garceau TJ. (2018). Impacts of roundabouts on urban air quality: A case study of Keene, New Hampshire, USA. *J Transp Heal [Internet]*. 10:144–55. Available from: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214140517306059
-Gardziejczyk W, Motylewicz M. (2016). Noise level in the vicinity of signalized roundabouts. *Transp Res Part D Transp Environ [Internet]*. 46:128–44. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915300614
-Ghanim M, Kharbeche M, Hannun J, Hannun J, Shamiyeh K. (2020). Safety and Operational Performance of Signalized Roundabouts: A Case Study in Doha. *Procedia Comput Sci [Internet]*. 170:427–33. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920305226
-Giuffrè O, Granà A, Marino S. (2012) "Turbo-roundabouts vs Roundabouts Performance Level. *Procedia Soc Behav Sci [Internet]*. 53:590–600. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812043716
-Gruden C, Ištoka Otković I, Šraml M. (2021) "Pedestrian safety at roundabouts: Their crossing and glance behavior in the interaction with vehicular traffic. *Accid Anal Prev [Internet]*. 2021;159:106290. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457521003213
-Guerrieri M. (2023). A theoretical model for evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on the operational performance of turbo roundabouts. *Int J Transp Sci Technol [Internet]*. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/

Video analyses of behavioural and surrogate safety indicators. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav [Internet]*. 76:72–91. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847820305684

-Song Y, Hu X, Lu J, Zhou X. (2022). Analytical approximation and calibration of roundabout capacity: A merging state transition-based modeling approach. *Transp Res Part B Methodol [Internet]*. 163:232–57. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261522001199

-Singleton PA, Poudel N. (2023). Bicycling comfort at roundabouts: Effects of design and situational factors. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav [Internet]*. 94:227–42. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847823000414

-Sisiopiku V. (2001). Evaluation of Roundabout Performance Using SIDRA. *J Transp Eng*.

-Status Report (2001). Arlington, Virginia.

-Todd, K. (1991). A History of Roundabouts in Britain. *Transportation Quarterly*, 45.

-Tollazzi, T. (2015). Alternative Types of Roundabouts. Maribor: *Springer International Publishing Switzerland.*

-Tracz M, Chodur J. (2012). Performance and Safety Roundabouts with Traffic Signals. *Procedia - Soc Behav Sci [Internet]*. 53:788–99. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281204390X

-Transoft-Solutions. (2023). The Revlution for Roundabouts-TORUS [Internet]. Available from: https://www.transoftsolutions.com/emea/road-design/torus-roundabouts/

-VISSIM User Manual. (2023).

-Zubaidi HA, Anderson JC, Hernandez S. (2020). Understanding roundabout safety through the application of advanced econometric techniques. *Int J Transp Sci Technol [Internet]*. 9(4):309–21. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043020300186

of turn signal use at two-lane roundabouts in Doha city. *Procedia Comput Sci [Internet]*. 201:79–86. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922004252

-M.Wolhunter, K, (2015). Geometric design of roads handbook. *Taylor&Francis Group,* CRC Press.

-NCHRP Report 672 (2010). Washington, D.C. *Transportation Research Board.*

-Nikitin N, Patskan V, Savina I. (2017). Efficiency Analysis of Roundabout with Traffic Signals. *Transp Res Procedia [Internet]*. 20:443–9. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517300728

Norouzi, N. (2009). Sensitivity of Rodel Roundabout Delay Estimates to Input Parameters. *Ryerson University*.

-Polders E, Daniels S, Casters W, Brijs T. (2015) "Identifying Crash Patterns on Roundabouts. *Traffic Inj Prev [Internet]*. 16(2):202–7. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1538958821000357

-Poudel N, Singleton PA. (2021). Bicycle safety at roundabouts: a systematic literature review. *Transp Rev [Internet]*. 41(5):617–42. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144164722000733

-Poudel N, Singleton PA. (2022). Preferences for roundabout attributes among US bicyclists: A discrete choice experiment. *Transp Res Part A Policy Pract [Internet]*. 155:316–29. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856421003104

-Pratelli A, Brocchini L. (2022). Two-Geometry Roundabouts: Estimation of Capacity. *Transp Res Procedia [Internet]*. 64:232–9. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522006421

-PTV VISSIM [Internet], (2023). Available from: http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/home.

-Pulvirenti G, De Ceunynck T, Daniels S, Distefano N, Leonardi S. (2021). Safety of bicyclists in roundabouts with mixed traffic:

A Review of Different Types of Roundabouts and Their Role in Urban Roads

Sara Dehghani, B.S., Student, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Navid Nadimi, Associate Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT
In terms of road geometry, roundabouts are classified as intersections. Roundabouts are intersections of two or more roads that include a central island where vehicles turn counterclockwise. From a safety and efficiency standpoint, roundabouts can perform better than other intersections. This function, however, requires the use of a proper roundabout with an appropriate design. Around 120 years ago, some types of roundabouts were used in Europe before cars were used today. First, this paper reviews roundabouts from 1903 to the present. After that, a variety of roundabouts that are currently in use throughout the world are presented. Finally, future research directions and software related to roundabout analysis and design are discussed. The assessments indicate that multilane roundabouts with large diameters are unfavorable. However, worldwide turbo roundabouts are a good option to reduce conflicts in multilane roundabouts, and there are many studies on them. Other important roundabout research subjects include analyzing roundabout capacity, promoting pedestrian and cyclist safety, and using traffic signals.

Keywords: History, Capacity Analysis, Roundabout, Simulation Software, Review