مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal
journal@fezzanu.edu.ly

تقييم وتعزيز كفاءة الأداء المروري للتقاطعات الحضرية باستخدام برنامج SIDRA: دراسة حالة مدينة براك الشاطئ

*منصور بن مسكين[1]، محي الدين الزيداني[2]

[1]قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن – كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ

[2]قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ

الملخص:

تشكل التقاطعات المرورية العنصر الأساسي في شبكات الطرق الحضرية والريفية على حد سواء؛ فهي النقاط التي يتقاطع فيها طريقان أو أكثر، ويحدث فيها التفاعل بين حركة المرور من اتجاهات مختلفة. من خلال هذه التقاطعات، يتم توجيه حركة المرور وتنظيمها باستخدام إشارات ضوئية، أو دوارات أو مفترقات طرق مختلفة. لذلك، يعتبر تصميم وتحليل أداء التقاطعات جزءًا أساسيًا من إدارة المرور لضمان تدفق مروري سلس وآمن. لذلك، يهدف هذا البحث إلى تقييم وتحسين الأداء التشغيلي لثلاثة تقاطعات رئيسية في مدينة براك الشاطئ، نظرًا لما تعانيه هذه المواقع من ازدحام مروري حاد، وارتفاع مستويات التأخير، وانخفاض مستوى الخدمة، مما ينعكس سلبًا على كفاءة شبكة النقل داخل المدينة. اعتمدت الدراسة على جمع بيانات ميدانية دقيقة حول حجم الحركة المرورية والخصائص الهندسية للتقاطعات، ثم تحليلها باستخدام برنامج SIDRA Intersection، الذي أتاح إجراء تقييم شامل لمؤشرات الأداء، مثل درجة التشبع، ومتوسط التأخير، وطول الطوابير، ومستوى الخدمة. أظهرت النتائج الأولية أن معظم التقاطعات المدروسة تعمل عند أو فوق طاقتها الاستيعابية، مع مستويات خدمة متدنية تصل إلى F، خاصة خلال فترات الذروة. من أبرز التحسينات التي حققت نتائج إيجابية، توسعة الأذرع وإضافة مسارات جديدة، كما في تقاطع المدينة الديمة براك، الذي تحسّن مستوي الخدمة من E إلى A. في تقاطع المدينة القديمة، أظهرت التجربة أن استخدام الإشارات المرورية لم يكن فعالًا، بل زاد التأخير وانتقل متوسط التأخير من 108.2 ثانية الي 854.2 ثانية ودرجة تشبع من 1.838 الي 2.247 بمستوي خدمة F، بينما أدى إلغاء حركة الدوران وتوسعة المسارات وفصل حركة المرور لليمين إلى رفع مستوى الخدمة من E إلى A بمتوسط تأخير انخفض الي 5.6 ثانية ودرجة تشبع 0.915. أما تقاطع جامع الصحابة، فقد شهد تحسنًا ملحوظًا في الانسيابية والسلامة بعد تحويله إلى دوار رباعي، وارتفع مستوي الخدمة من E إلى A بمتوسط تأخير من 82.8 ثانية الي 9.2 ثانية ودرجة تشبع من 1.825 الي 0.826، بينما استفاد تقاطع العافية من إضافة إشارة ضوئية وتنظيم الأولويات، ما رفع مستوى الخدمة من E إلى C بمتوسط تأخير من 30.8 ثانية الي 24 ثانية و درجة تشبع من 1.293 الي 0.833. تشير النتائج إلى أهمية تبني حلول هندسية خفيفة وفعّالة قبل اللجوء إلى الأنظمة المرورية المعقدة، ودمج اعتبارات السلامة والبنية التحتية ضمن خطط التحسين. وتوصي الدراسة بضرورة استخدام أدوات تحليل متقدمة مثل برنامج SIDRA Intersection في تقييم أداء التقاطعات الحضرية، وإجراء دراسات مستقبلية لحركة

*المؤلف الرئيسي: عناوين البريد الإلكتروني man.binmiskeen@wau.edu.ly تاريخ استلام البحث 20 يناير 2026 استلام رد المحكمين 2 مارس 2026 تم قبوله 20 مارس 2026 تاريخ النشر 5 أبريل 2026

السير بناءً على النمو المتوقع، مع اعتماد نظام مراقبة مرورية ذكي لضمان استدامة الحلول وتحقيق أعلى كفاءة تشغيلية لشبكة الطرق.

الكلمات المفتاحية: الازدحام المروري، التقاطعات المرورية، برنامج سيدرا، جزيرة الدوران، مستوي الخدمة،

Evaluating and Enhancing Traffic Performance Efficiency of Urban Intersections Using SIDRA: A Case Study of Barak Al-Shati City

*Manssour Bin Miskeen[1] and Muhi ALdeen Al-Zaydani[2]

[1]Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Engineering, Wadi Al-Shatti University, Libya

[2]Department of Civil Engineering, College of Engineering, Wadi Al-Shatti University, Libya

ABSTRACT

Traffic intersections are a fundamental component of both urban and rural road networks. They are the points where two or more roads intersect, and where traffic from different directions interacts. Through these intersections, traffic is directed and regulated using traffic lights, roundabouts, or various crossroads. Therefore, designing and analyzing intersection performance is an essential part of traffic management to ensure smooth and safe traffic flow. This research aims to evaluate and improve the operational performance of three major intersections in Brak Al Shati City. These locations suffer from severe traffic congestion, high levels of delay, and low levels of service, which negatively impact the efficiency of the city's transportation network. The study relied on collecting accurate field data on traffic volume and the geometric characteristics of the intersections, then analyzing them using the SIDRA Intersection software, which enabled a comprehensive assessment of performance indicators such as saturation, average delay, queue length, and level of service. Initial results showed that most of the studied intersections operate at or above their capacity, with service levels as low as F, especially during peak periods. Among the most notable improvements that achieved positive results were the expansion of the arms and the addition of new lanes, as at the Dima Brak Interchange, which improved the service level from E to A. At the Old City Interchange, experience showed that the use of traffic signals was ineffective, and instead increased delays, with the average delay increasing from 108.2 seconds to 854.2 seconds, and the saturation level from 1.838 to 2.247 at a service level of F. Meanwhile, the elimination of turns, lane expansion, and right-side separation of traffic raised the service level from E to A, with the average delay decreasing to 5.6 seconds and a saturation level of 0.915. The Al-Sahaba Mosque intersection witnessed a significant improvement in flow and safety after being converted into a four-way roundabout. The service level increased from E to A, with an average delay of 82.8 seconds to 9.2 seconds and a saturation score of 1.825 to 0.826. Meanwhile, the Al-Afiya intersection benefited from the addition of a traffic light and prioritization, raising the service level from E to C, with an average delay of 30.8 seconds to 24 seconds and a saturation score of 1.293 to 0.833. The results highlight the importance of adopting lean and effective engineering solutions before resorting to complex traffic systems, and integrating safety and infrastructure considerations into improvement plans. The study recommends the use of advanced analytical tools such as the SIDRA Intersection program to evaluate the performance of urban intersections, conducting future traffic studies based on expected growth, and

adopting an intelligent traffic monitoring system to ensure the sustainability of solutions and achieve the highest operational efficiency for the road network.
Keywords: Roundabout; Service level; Traffic congestion; Traffic intersections; SIDRA intersection

المقدمة

تُعد التقاطعات المرورية من أهم العناصر في البنية التحتية لشبكات الطرق، حيث تعتبر نقاط التقاء رئيسية تؤثر بشكل مباشر على انسيابية الحركة المرورية، وراحة مستخدمي الطريق، وسلامة المرور. ومع ازدياد أعداد المركبات في المدن الليبية، ومن بينها مدينة براك الشاطئ، أصبحت الحاجة إلى تحسين أداء هذه التقاطعات أمراً ملحاً، وذلك للحد من الازدحام المروري، وتقليل الحوادث وتعزيز كفاءة النقل الحضري.

وعلى الرغم من أن تضاعف أعداد المركبات يُعدّ من الأسباب الرئيسة للازدحام، فإن التقاطعات، كونها نقاط التقاء لتدفقات مرورية مختلفة، تظل من أبرز مسببات الاختناقات [1]. ويُعتبر تحسين أداء التقاطعات أمرًا ضروريًا للحفاظ على سلامة وكفاءة النظام المروري، إذ إن تراجع مستوى الخدمة يرتبط بازدياد احتمال وقوع الحوادث، وارتفاع معدلات استهلاك الوقود والانبعاثات والضوضاء [4,3,2]. وتُعدّ ظروف التشغيل في التقاطعات من العوامل الرئيسة التي تؤثر في كفاءة وراحة مستخدمي الطرق [5,4]. ويُشكل الازدحام في هذه المواقع مصدرًا رئيسًا للتأخير، لاسيما عند تزايد الحجوم المرورية، وهو ما يؤدي إلى نتائج سلبية على الجوانب الاقتصادية والبيئية [5, 1].

وفي هذا السياق، تُعدّ التقاطعات غير المنظمة بالإشارات من النقاط الحرجة في الشبكة المرورية، بسبب ما تخلقه من تباين في أولوية المرور، الأمر الذي يزيد من احتمالات التصادم ويؤثر سلبًا على كفاءة التشغيل [1]. وتعتمد كفاءة هذه التقاطعات بدرجة كبيرة على حجم المرور، ما يحفّز مهندسي النقل إلى دراستها بعمق والعمل على تحسين قدرتها الاستيعابية، خاصة في البيئات الحضرية [7,6].

وقد أظهرت العديد من الدراسات أن مشكلات الإدارة المرورية، وسوء تنظيم مواقف السيارات، تُعد من العوامل المؤثرة في ارتفاع معدلات التأخير عند التقاطعات [9,8]. وأشار Akçelik [10] إلى أن السعة التشغيلية للتقاطع، سواء كان تقاطعًا تقليديًا أو دوارًا، تُعدّ العامل الأساس في تحديد مستوى أدائه. ووفقًا لإدارة الطرق الفيدرالية الأمريكية FHWA [11]، فإن أهم مؤشرات الأداء تشمل: مستوى التأخير، طول الطوابير، ومستوى التشبع، ويُضاف إلى ذلك مؤشر مستوى الخدمة LOSكمقياس شامل لتقييم الأداء [14,13,12].

ويُعرّف مستوى الخدمة بأنه متوسط إجمالي التأخير لجميع الحركات المرورية في التقاطع [15]. وتُقاس قيمته باستخدام مجموعة من المعايير تشمل السرعة، مدة الرحلة، عدد التوقفات، والانقطاعات، إلى جانب مستوى الراحة والانزعاج الذي يشعر به السائق [19,18,17,16]. ويُعدّ كل من مستوى الخدمة وزمن التأخير من المؤشرات المحورية لتقييم أداء التقاطعات التي تشهد ازدحامًا متوسطًا [20]. كما أشار Joni and Hikmatt [3] ، إلى أهمية مؤشرات إضافية مثل طول الطوابير، عدد مرات التوقف، والزمن الضائع.

وتختلف طرق التقييم بحسب نوع المنشأة المرورية، وتُحدد مؤشرات الأداء بناءً على خصائص التشغيل مثل حجم المرور، نمط التحكم، وخصائص الطريق [14]. ويُعتمد في التقاطعات غير المُنظمة بالإشارات على متوسط التأخير المتولد عن كل حركة مرورية لتحديد مستوى الخدمة [19]. ونتيجة لارتفاع التأخير، تظهر سلوكيات مرورية غير آمنة من بعض السائقين، ما يزيد من احتمالات الحوادث[24,23] .

وفي ضوء هذه التحديات، فإن سوء تخطيط الطرق وتصميمها يسهم في زيادة التأخيرات، سواء في ساعات الذروة أو خارجها، ويُعد من العوامل التي تُفاقم مشكلات الازدحام [25]. وقد أصبح من الممكن حاليًا الاستفادة من تقنيات المحاكاة الحديثة، التي تتيح لمهندسي المرور واختصاصي النقل تقييم السيناريوهات التشغيلية المختلفة، واقتراح البدائل المثلى بناءً على تحليلات دقيقة [26] .ويُحسب زمن التأخير عند التقاطعات بمقارنة الوقت المستغرق فعليًا بمرور المركبة مع الزمن الذي كانت ستستغرقه في ظروف حركة طبيعية [27]، بينما يتم تقدير مستوى الخدمة استنادًا إلى متوسط إجمالي التأخير للحركات المرورية [28].

على الصعيد المحلي، لا تزال هذه المشاكل مستمرة، وقد تتفاقم في المستقبل بسبب النمو السريع في عدد المركبات المملوكة في منطقة وادي الشاطئ. يؤثر التصميم الهندسي دون المستوى وسوء تخطيط الطرق لمعظم التقاطعات داخل الشبكة المختارة بشكل كبير على تدفق حركة المرور والازدحام المروري. لذلك، من الضروري تقييم وتحسين أداء المرور لضمان سير حركة مرورية مناسب، وإعطاء رؤية واضحة للمخططين ومهندسي المرور المشاركين في تصميم وتشغيل حركة المرور. بالتحديد تعاني مدينة براك الشاطئ، شأنها شأن العديد من المدن الليبية، من مشكلات مرورية متزايدة ناتجة عن النمو العمراني والزيادة في عدد المركبات دون تطوير كافٍ في البنية التحتية المرورية. وتتركز هذه المشكلات غالبًا في التقاطعات المرورية التي أصبحت تعاني من تأخيرات ملحوظة واختناقات مرورية خلال فترات الذروة، مما يؤدي إلى تقليل كفاءة التنقل وزيادة معدلات الحوادث والانبعاثات البيئية.

لذلك، تتمثل مشكلة الدراسة في وجود زخم مروري هائل في أوقات الذروة صباحًا ومساءً وكذلك في مواسم الأعياد، مما يؤدي إلى ظهور مشاكل يجب محاولة معالجتها أو الحد منها لتوفير مدى التدفق الكامل للطريق من أجل تقديم الخدمة في تخطيط النقل بشكل خاص والتخطيط الحضري لمدينة براك بشكل عام. كما تواجه مدينة براك الشاطئ تحديات مرورية متزايدة تتمثل في ارتفاع معدلات الحوادث، والازدحام المروري في التقاطعات نتيجة التزايد في عدد المركبات. تسبب هذا النمو في تجاوز القدرة الاستيعابية للتقاطعات، مما أدي إلى اختناقات مرورية وزيادة زمن التأخير، بالإضافة إلى انخفاض مستوى الخدمة. وتبرز الحاجة إلى إجراء تقييم علمي شامل لتحديد المشكلات ووضع حلول مستدامة.

أهم التقاطعات بمدينة براك التي تواجه تحديات مرورية: تقاطع مسجد الصحابة، وتقاطع المدينة القديمة براك، وتقاطع العافية من التقاطعات المهمة بمدينة براك التي تربط العديد من الطرق الداخلية بالمدينة، وهي تقاطعات رباعية توجد بها العديد من الاختناقات المرورية، ونظراً لأهمية هذه التقاطعات ولأجل سلامة مستخدميه يتطلب الأمر تسهيل حركة المرور من خلالها، وتحسين مستوى الخدمة بتقليل معدل التأخير لذا تم استخدام برنامج SIDRA في هذه الدراسة لتحقيق الهدف الأساسي: وهو تقييم أداء الوضع الحالي، وتحديد مستوى الخدمة لهذه التقاطعات باستخدام البرنامج، والعمل على تحسين أدائها، وإيجاد الحلول المناسبة طبقاً للبيانات الحقلية؛ وذلك عن طريق المحاكاة التي يتيحها لنا برنامج SIDRA التي تساعد على اختيار الحل الأمثل والمناسب لتقاطعات طور الدراسة.

تكمن أهمية هذه الدراسة في كونها تقدم حلاً عمليًا وواقعيًا يعتمد على أدوات علمية دقيقة لتقييم وتحسين أداء التقاطعات، بدلاً من الحلول التقليدية التي غالبًا ما تكون غير فعالة أو مكلفة. ومن خلال تطبيق نتائج هذه الدراسة، يمكن لجهات التخطيط المحلية: تحسين البنية التحتية بشكل موجه ومدروس، تقليل الفاقد الزمني والوقود الناتج عن الازدحام، تعزيز السلامة المرورية، دعم اتخاذ القرار المستند إلى بيانات حقيقية. لذلك تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء التقاطعات الرئيسية في مدينة براك الشاطئ من خلال استخدام أحد أشهر برامج المحاكاة والتحليل المروري، وهو برنامج SIDRA Intersection، الذي يُستخدم على نطاق واسع في تحليل وتصميم التقاطعات على مستوى العالم.

الدراسات السابقة

شهد تحليل الأداء التشغيلي للتقاطعات المرورية تطورًا ملحوظًا منذ أوائل القرن العشرين، بالتزامن مع إدخال أول إشارة ضوئية مرورية عام 1912 على يد الشرطي ليستر (Lester) في مدينة سولت ليك بولاية يوتا الأمريكية. وقد شكّل هذا الابتكار نقطة تحول رئيسية دفعت بمجال هندسة المرور نحو الاهتمام المتزايد بدراسة وتحليل أنماط الحركة المرورية وإدارة التقاطعات، خاصة في الدول الصناعية المتقدمة. ومع التقدم في تقنيات التحكم المروري، برزت الحاجة إلى أدوات تحليلية دقيقة تدعم عمليات اتخاذ القرار المتعلقة بتصميم وتشغيل التقاطعات.

وقد أُنتجت عدة برمجيات متخصصة في هذا السياق، من أبرزهاTRANSYT ، وSOAP، وSIDRA، والتي ساهمت بشكل كبير في تطوير نماذج المحاكاة وتحليل الأداء. ويُعد برنامج SIDRA من أكثر البرمجيات استخدامًا واعتمادًا في الدراسات التطبيقية الحديثة، حيث يوفر مجموعة من مؤشرات الأداء التشغيلية، مثل متوسط التأخير، ونسبة التشبع، وطول الطوابير، ومستوى الخدمة .(LOS) ويُستخدم هذا البرنامج على نطاق واسع كأداة علمية دقيقة لدعم تخطيط وتصميم أنظمة المرور، خصوصًا في البيئات الحضرية ذات الكثافة المرورية العالية والتقاطعات المعقدة.

تشهد العديد من المدن حول العالم حالات ازدحام مروري مزمنة، تؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة تتمثل في إهدار الوقت والموارد المالية، حيث تُقدّر هذه الخسائر بمليارات الساعات والدولارات سنويًا. وللتخفيف من هذه التداعيات السلبية، تبرز الحاجة إلى تطوير حلول فعالة ومستدامة لمعالجة الازدحام المروري وتقليل فترات التأخير الزمنية (فؤاد شكري وآخرون، 2009) [27]. وتشير الدراسات إلى أن استهلاك الوقود في المركبات قد يرتفع بنسبة تصل إلى 30% في ظل الظروف المرورية المزدحمة مما يُفاقم من الأثر البيئي والاقتصادي للازدحام [28] .

في هذا السياق، يُعدّ التأخير الديناميكي للمركبات عند التقاطعات من أبرز التحديات في نظم النقل الحديثة، إذ إن النماذج التقليدية التي تعتمد على توازن الشبكة الثابتة تعجز عن تمثيل الخصائص الديناميكية المعقدة للازدحام وتبلغ شدة الازدحام ذروتها خلال الفترات المرورية الحرجة، لا سيما عند مداخل التقاطعات الرئيسية، حيث تتكوّن طوابير طويلة تؤثر بشكل كبير على انسيابية حركة المرور. وتزداد هذه الآثار السلبية في التقاطعات الدائرية (الدوارات)، نظرًا للطبيعة المستمرة لتدفق المركبات فيها [29] .

ولتقليل حدة هذه المشكلة، أُوصي بالتحكم الفعّال في حركة المرور عند الدوارات، خاصة من خلال تدخل الجهات المختصة مثل الشرطة، بهدف تحسين الانسيابية، وتوفير فرص أفضل لعبور المركبات، والحد من تراكم الطوابير [30]. وقد دُعمت هذه التوصيات بسلسلة من الدراسات الدولية التي سعت إلى إيجاد استراتيجيات علمية وتقنية للحد من الازدحام المروري، وتحسين كفاءة النظام المروري ككل.

ي دراسة أُجريت بواسطة سيسيوبيك [31] ، تم تقييم الأداء التشغيلي للدوارات الواقعة عند تقاطعات رباعية الأضلاع، وذلك تحت أنماط مختلفة من أنظمة التحكم، شملت: التحكم بالإذعان(Yield Control) ، والتحكم بالتوقف (Stop Control) ثنائي ورباعي الاتجاه، بالإضافة إلى التحكم بالإشارات الضوئية. وقد نُفّذ هذا التقييم باستخدام برنامج SIDRA، ضمن مجموعة من السيناريوهات المرورية التي تنوعت في كثافتها، وتوزيع نسب الانعطاف، وعدد مسارات الاقتراب، وأبعادها العرضية.

أظهرت نتائج التحليل أن الدوارات تُعد من أفضل البدائل التصميمية للتقاطعات المزوّدة بمسارين، التي تتعرض لأحجام عالية من حركة المرور المستقيمة أو اليسارية. كما بيّنت الدراسة أن أداء الدوارات قابل للمقارنة بل ويتفوق في بعض الحالات على أداء التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية ذات مسار واحد تحت ظروف مرورية كثيفة. علاوة على ذلك، وُجد أن سعة الدوارات تتجاوز سعة التقاطعات الضوئية المكوّنة من مسارين أو ثلاثة، بغض النظر عن نسبة حركة المرور المتجهة يسارًا.

أجريت دراسة ميدانية في مدينة كربلاء بالعراق [32]، لتقييم الأداء التشغيلي لتقاطع الحسينية الثلاثي باستخدام برنامج SIDRA Intersection. وقد أظهرت النتائج أن التقاطع يعاني من مستويات تأخير مرتفعة ومستوى خدمة متدنٍ بلغ F، ما يعكس اختناقات مرورية حادة في الموقع. واستجابةً لهذه النتائج، اقترح الباحثان مجموعة من التحسينات الهندسية، تضمنت: إعادة تصميم تقاطع طريق كربلاء–المسيب، إعادة تنسيق الإشارات الضوئية (زمن الدورة) وفقًا لأحجام المرور الفعلية، واستخدام جسر علوي (Overpass) في طريق فرع الحسينية لتقليل تعارض الحركة، بالإضافة إلى زيادة السعة الاستيعابية لطريق الاقتراب من خلال إضافة مسارات جديدة. وقد أشارت نتائج التقييم إلى أن هذا السيناريو يمثل الحل الأمثل من حيث مستوى الخدمة والتكلفة.

وفي السياق ذاته، قامت دراسة أخرى بالعراق [33] في مدينة بغداد بتحليل أسباب التأخير المروري في عدد من التقاطعات الحضرية، باستخدام برنامج SIDRA. وكشفت الدراسة عن أن أبرز مسببات الازدحام تتمثل في ضعف تنظيم الحركة المرورية، وسوء استخدام المواقف، حيث تؤدي هذه العوامل إلى اختناقات مرورية متكررة. وبناءً على التحليل، أوصى الباحثان بضرورة تحسين إدارة الحركة وتنظيم المواقف، وتنسيق الإشارات الضوئية كخطوات أساسية لمعالجة مشكلة التأخير، وتعزيز كفاءة التقاطعات الحضرية.

في الأردن [34]، تمت دراسة باستخدام برنامج SIDRA لتحليل الأداء التشغيلي لعدد من التقاطعات الرئيسية في مدينة إربد. وأظهرت نتائج الدراسة وجود طوابير انتظار طويلة وتأخيرات كبيرة خلال ساعات الذروة، مما استدعى توصية الباحثين بضرورة إعادة تصميم الإشارات الضوئية وإضافة مسارات التفاف لتحسين انسيابية الحركة المرورية وتقليل الازدحام.

على صعيد آخر، أجرت دراسة بماليزية وهي دولة ذات كثافة مرورية عالية، حيث تم تحليل تقاطع رباعي الأرجل غير محكوم. كشفت الدراسة أن غياب نظم التحكم المروري أدى إلى حدوث اختناقات مرورية حادة، وأوصى الباحثان بتحويل هذا التقاطع إلى دوار، مما أسفر عن تحسن ملحوظ في الأداء التشغيلي وتقليل الازدحام المروري[35].

في عام 2012، أُجريت دراسة في مدينة غزة بهدف تقييم وتحسين الأداء المروري لعدد من التقاطعات الرئيسية باستخدام برنامج SIDRA. أظهرت نتائج الدراسة أن العديد من هذه التقاطعات تعاني من مستويات خدمة منخفضة، مما استدعى التوصية بإعادة برمجة الإشارات الضوئية وتوسيع بعض المسارات بهدف تقليل زمن التأخير وتحسين انسيابية الحركة المرورية [36].

أما في دراسة أجراها فؤاد شكري وآخرون عام 2010 [37]، فقد تم التركيز على تأثير تصميم الدوارات والتقاطعات على زمن الرحلة، حيث اعتُبر كل من الدوار والتقاطع عوامل رئيسية مؤثرة بشكل كبير على زمن التنقل. هدفت الدراسة إلى مقارنة تصميم الدوارات والتقاطعات لتحديد أيهما يوفر أدنى مستوى خدمة، وذلك لتزويد المهندسين بمعلومات قيمة تساعد في تصميم الطرق التي تقلل زمن الرحلة. وقد تم جمع البيانات من خلال تقنية التصوير بالفيديو، وتم إجراء التحليل الحسابي باستخدام برنامج SIDRA لتصميم وتحليل كلا النوعين من التقاطعات. تم اختيار تقاطعين رئيسيين للدراسة، حيث تم تحليل أدائهما، ثم استبدالهما بالدوار وتحليل الأداء من جديد. أظهرت النتائج أن استبدال التقاطعات بالدوارات كان أكثر

فعالية، حيث حسّن من حالة الطرق في منطقة الدراسة. ففي الحالة الأولى، ارتفع مستوى الخدمة من F إلى C بعد استبدال التقاطع بالدوار، وفي الحالة الثانية تحسن مستوى الخدمة من F إلىB .

في دراسة (2023) [38]، تم تقييم أداء تقاطع رئيسي في مدينة عمّان باستخدام برنامج SIDRA Intersection الإصدار 5.1. أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى الخدمة للتقاطع كان في فئة(F) ، مع متوسط تأخير يتجاوز 285.8 ثانية لكل مركبة، مما يشير إلى حالة اختناق مروري شديدة. وقد اقترح الباحثون سيناريو تحسيني يتضمن تحويل التقاطع إلى نظام هجين يجمع بين نفق مزدوج وساحة دوّار(Tunnel Plus Roundabout) ، حيث أسفر هذا التعديل عن خفض متوسط التأخير إلى 13.3 ثانية وتحسين مستوى الخدمة إلى فئة(B) ، مما يدل على فعالية الحل الهجين في الجمع بين التوسعة والتصميم الهندسي لتحسين تدفق الحركة المرورية.

أما في دراسة أخرى أجرتها هاجر شبّر (2024) [39] ، فقد تم تقييم أداء الجريان المروري في التقاطعات الحالية وتحسينها من خلال اعتماد إشارات مرورية منسقة تربط بين عدة تقاطعات. استُخدمت في الدراسة برامج محاكاة مجهرية لمحاكاة تدفق الحركة بشكل دقيق يعكس الواقع، بالإضافة إلى تحليل البيانات الحقلية باستخدام برامج إحصائية متخصصة، شملت مراحل التحليل والتشغيل والتصميم والتحسين. تم

جمع البيانات ميدانيًا عبر التصوير الفوتوغرافي، ومركبة متحركة، بالإضافة إلى مسوحات ميدانية استمرت لمدة سبعة أشهر. أظهرت النتائج أن ساعة الذروة تقع بين الساعة 2:30 و3:30 ظهرًا، مع تقييم مستوى خدمة منخفض في كل من تقاطع السلام وتقاطع السهلاني، حيث بلغت نسبة حجم التدفق إلى السعة (v/c) قيمة 1.485، مما يدل على تجاوز السعة التصميمية. جرى تحويل تقاطع السهلاني، المعروف بـ"قلكة الألماني"، إلى تقاطع مزود بإشارة مرورية باستخدام معادلة وبستر لتحديد طول دورة الإشارة التي بلغت 200 ثانية، مع تحقيق معدل (v/c) بنسبة 0.781، وتم توزيع الإشارات الضوئية حسب حجم حركة المرور لكل ممر دون الاعتماد على أوقات دورة ثابتة. كما تم حساب مسافات التباطؤ والتسارع باستخدام مخطط الزمان–المكان (Time–Space Diagram) وتقدير التأخير لكل ممر في التقاطعين. بعد ذلك، تم تصميم أطوار الحركة لكل إشارة مع حساب تدفقات التشبع، وقيم أوقات الإشارات الحمراء والصفراء، إلى جانب تنسيق الوقت الأخضر باستخدام معادلة جرينشيلد (Greenshild) لمسارين رئيسيين للحركة. وأخيرًا، تمت محاكاة التصميم باستخدام برنامجي SIDRA وVISSIM، حيث أظهرت النتائج أن طول دورة الإشارة المنسقة بين التقاطعين تراوح بين 180 و200 ثانية، وهو ما يتوافق مع التصميم اليدوي، مع تحقيق معدل (v/c) يبلغ 0.795 ومستوى خدمة مقبول، مما يعكس تحسنًا واضحًا في أداء التقاطعات المدروسة.

هدى فتلاوي (2019) أجرت دراسة لتقييم الأداء المروري في منطقة مختارة ضمن شبكة الطرق بمدينة كربلاء، العراق، حيث تم تحليل أداء التقاطعات والشوارع الحضرية في المنطقة المدروسة. هدفت الدراسة إلى تحديد الحاجة لتركيب إشارات ضوئية في التقاطعات المختلفة، بالإضافة إلى حساب أطوال دورات الإشارات التي تحقق أقل زمن تأخير ممكن. كما تضمنت الدراسة تقديم مقترحات تحسين متنوعة، تتراوح بين تحسينات هندسية بسيطة إلى إعادة تصميم نوع التقاطع بالكامل. شملت منطقة الدراسة أربعة تقاطعات ودوار واحد مرتبط بالشوارع الحضرية المحيطة. تم تقييم الأداء التشغيلي للتقاطعات ذات الإشارات الضوئية، وتقاطع بدون إشارات، والدوار باستخدام برنامجي VISSIM و SIDRA INTERSECTION على التوالي. أظهرت النتائج أن معظم التقاطعات وقطاعات الشوارع تعمل بمستوى خدمة منخفض .(LOS F) وأشارت الدراسة إلى أن تقاطعات مثل سيد جودة، مركز شرطة حي الحسين، وسيف سعد تفي بالشروط اللازمة لتركيب إشارات ضوئية. تم اقتراح عدة تحسينات مثل توسيع الأرصفة عند فلكة السفينة، وتحويل التقاطع الثاني إلى دوار، وتوسيع الأرصفة

في التقاطعات الثالثة والرابعة والخامسة. عقب تنفيذ هذه التحسينات، تم تقييم التأخير على الشوارع الحضرية، وأسفرت النتائج عن تحسن ملحوظ في مستوى الخدمة ليصبح مقبولاً [40].

عصام حسين (2015) [41]، تناول مشكلة الازدحام المروري في مدينة غزة، التي تتركز بشكل خاص عند التقاطعات الرئيسية. أشار إلى أن من أهم أسباب المشكلة هو نقص الأسس العلمية في اختيار نوع التحكم والتصميم الهندسي لهذه التقاطعات، حيث يتم الاعتماد غالباً على التجربة والخطأ بدلاً من استخدام البرامج التحليلية الحديثة. هدفت الدراسة إلى تحليل الأداء المروري لـ 35 تقاطعاً رئيسياً في المدينة ودراسة البدائل المتاحة لتحسين الأداء. اعتمدت الدراسة على جمع بيانات ميدانية شاملة تتضمن المعلومات الهندسية والمرورية، ثم استخدام برنامج SIDRA لتحليل الوضع الحالي ودراسة البدائل. أظهرت النتائج أن أكثر المناطق ازدحاماً تقع في وسط المدينة، حيث سجل تقاطع عمر المختار مع الجلاء أعلى حجم حركة مرور، بينما كان تقاطع الرشيد مع الشارع الثالث الأقل ازدحاماً. كشفت الدراسة أن نحو 60% من التقاطعات تعتمد على أنظمة تحكم غير مثلى، حيث أوصت بتحويل 11 تقاطعاً إلى نظام تحكم بالأولوية، و14 تقاطعاً إلى دوارات، و10 تقاطعات إلى إشارات ضوئية.

في ليبيا [42]، أُجريت دراسة في مدينة بني وليد عام 2016 باستخدام برنامج Synchro 8 لتحليل أداء عدد من التقاطعات المرورية. أظهرت النتائج ارتفاع أوقات التأخير وكثافة الطوابير خلال ساعات الذروة، مما استوجب تقديم حلول هندسية وتحكمية. في أحد التقاطعات، تم اقتراح ثلاثة حلول: إنشاء جزيرة دوران وسط التقاطع، التي أظهرت مستوى خدمة (LOS F)، واستخدام إشارة مرور مسبقة التوقيت التي أظهرت نفس مستوى الخدمة، وأخيراً إلغاء أحد حركات الانعطاف، مما حسّن مستوى الخدمة إلى.(LOS C)

في ليبيا أيضاً، دراسة أجراها العارف وآخرون [43]، تم اختيار تقاطع يحتوي على جزيرة دوران في مدينة صرمان لتقييم أدائه التشغيلي الحالي باستخدام برنامج .Synchro 08 شملت الدراسة جمع وتحليل البيانات المرورية والهندسية الخاصة بالتقاطع القائم، حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن مستوى الخدمة (LOS) للتقاطع كان في أدنى مستوياته، إذ بلغ المستوى F، مع أقصى نسبة حجم إلى سعة (V/C) تصل إلى 1.71، مما يعكس حالة تشغيلية سيئة للغاية. ومن خلال تحليل البدائل المقترحة لتحسين الأداء، تبين أن الخيار الأمثل هو إزالة جزيرة الدوران، وإعادة تصميم التقاطع بإضافة حارات مرورية إضافية، وتنظيم الحركة باستخدام إشارة ضوئية. وقد أسفرت نتائج هذا الحل عن تحسن ملحوظ في الأداء، حيث ارتفع مستوى الخدمة إلىC ، مع تقليل متوسط زمن التأخير إلى 30 ثانية لكل مركبة، وانخفاض نسبة حجم إلى سعة إلى 1.02، مما يعكس تحسيناً كبيراً في انسيابية الحركة المرورية بالتقاطع.

على المستوى المحلي، تناولت العديد من الدراسات السابقة مشكلات الطرق والمرور في منطقة الدراسة، مع وجود تفاوتات واضحة بين نتائج ومناهج هذه الدراسات [44–47]. ومع ذلك، تكشف المراجعة الأدبية عن نقص ملحوظ في البحوث التي تتناول تحليل وتحسين أداء التقاطعات بشكل منهجي وعلمي متعمق، باستثناء دراسة قام بها الزيداني وبن مسكين (2025) [48]، حيث قاموا بدراسة بمدينة براك الشاطئ في الجنوب الليبي بهدف تقييم وتحسين الأداء التشغيلي للتقاطع الرئيسي المعروف بجزيرة الدوران. جاء ذلك استجابةً للازدحام المروري الشديد وارتفاع مستويات التأخير، بالإضافة إلى تدني مستوى الخدمة، مما أثر سلبًا على كفاءة شبكة النقل في المدينة. استندت الدراسة إلى جمع بيانات ميدانية دقيقة حول حجم الحركة المرورية والخصائص الهندسية للتقاطع، ثم تم تحليلها باستخدام برنامجSIDRA Intersection ، الذي مكّن من تقييم شامل لمؤشرات الأداء مثل درجة التشبع، ومتوسط التأخير، وطول الطابور، ومستوى الخدمة. أشارت النتائج إلى أن تقاطع جزيرة براك يعمل عند طاقته الاستيعابية أو يتجاوزها، مع مستويات خدمة منخفضة تصل إلىF ، خصوصًا خلال

ساعات الذروة. وأظهرت التدخلات الهندسية المقترحة التي شملت توسعة الأذرع وإضافة مسارات جديدة داخل الدوار، تحسنًا ملحوظًا في مستوى الخدمة من F إلىB ، حيث انخفض متوسط التأخير من 200.6 ثانية إلى 14.5 ثانية، وانخفضت درجة التشبع من 1.225 إلى 0.955 بعد التوسعة. تؤكد هذه النتائج على أهمية تبني حلول هندسية بسيطة وفعّالة قبل اللجوء إلى الأنظمة المرورية المعقدة، مع دمج اعتبارات السلامة والبنية التحتية ضمن خطط التحسين.

منهجية البحث وجمع البيانات

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتحسين أداء التقاطعات المرورية باستخدام برنامج المحاكاة(SIDRA) ، وذلك بهدف اقتراح حلول فعالة لمشكلة الازدحام المروري في مناطق الدراسة. لتحقيق ذلك، تم التركيز على معالجة المشكلات الأساسية التي تبرز أهمية هذه الدراسة. بدأت الدراسة بجمع بيانات ميدانية شاملة، شملت حجم حركة المرور، التأخير، طول الطوابير، وقت السفر، بالإضافة إلى البيانات الهندسية المتعلقة بالتقاطعات. بعد استكمال جمع البيانات، تم حساب وتحليل هذه البيانات ضمن نظام الحالة الأساسية، ثم تم استخدام برنامج SIDRA لمحاكاة وتحليل الأداء الحالي للتقاطعات. يتناول هذا الجزء المنهجية المتبعة في إجراء الدراسة، حيث يصف منطقة الدراسة بالتفصيل، ويشرح الأساليب المستخدمة لجمع البيانات وتنقيحها ومعالجتها. كما يوضح البيانات المدخلة الرئيسية المطلوبة لبرنامج المحاكاة. لتحقيق أهداف الدراسة، تم تقسيم البحث إلى ثلاث مراحل رئيسية: المرحلة الأولى تركزت على جمع البيانات الميدانية من منطقة الدراسة، تلتها المرحلة الثانية التي اشتملت على تقييم وتحليل الأداء الحالي للتقاطعات باستخدام برنامجSIDRA ، وفي المرحلة الثالثة تم اقتراح الحلول المناسبة لتحسين أداء التقاطعات وتقليل الازدحام المروري في المنطقة.

وصف منطقة الدراسة:

تتكون منطقة الدراسة من ثلاث تقاطعات مع شوارع حضرية مختلفة. وقد أدى وجود المباني الحكومية، بالإضافة إلى العدد الكبير من المحلات التجارية، إلى زيادة حركة المرور، وبالتالي زيادة الازدحام المروري، كما هو موضح في الشكل (1).

الشكل (1) يوضح التقاطعات المرورية بمنطقة الدراسة

تم تطبيق هذه الدراسة على ثلاث تقاطعات رئيسية واقعة على الطريق العام لمدينة براك الشاطئ كما موضح في الشكل (1)، التي تبعد حوالي 80 كيلومترًا عن مدينة سبها و120 كيلومترًا عن إدري الشاطئ. وقد تم اختيار هذه التقاطعات بناءً

على مجموعة من المعايير تشمل مستوى الازدحام المروري، والأهمية الاستراتيجية ضمن شبكة الطرق، إضافة إلى عدد الحوادث المرورية المسجلة وفقاً لبيانات قسم المرور بالمدينة. وتتمثل التقاطعات المدروسة في الآتي:

- تقاطع المدينة القديمة: تقاطع رباعي الأرجل، يشكل فيه طريق سبها – إدري الساقين الرئيسيين؛ وهو طريق ذو اتجاهين مع حارتين في كل اتجاه بعرض 7 أمتار لكل جانب، بينما تمثل الساقان الآخران طريقًا فرعية تربط بين المدينة القديمة وسوق السوادين، وهي طريق ذات اتجاهين وحارة واحدة لكل اتجاه.
- تقاطع الجامع الكبير: تقاطع رباعي الأرجل، يشكل طريق سبها – إدري الساقين الأساسيتين وهو طريق ذو اتجاهين مع حارتين في كل اتجاه بعرض 7 أمتار لكل جانب، أما الساقان المتبقيتان فتمثلان طريقًا فرعية يربط بين شارع البلدية والجامع الكبير، ويتكون من اتجاهين وحارة واحدة لكل اتجاه.
- تقاطع العافية: تقاطع ثلاثي الأرجل، يشكل طريق سبها – إدري الساقين الرئيسيين منه، وهو طريق ذو اتجاهين مع حارتين في كل اتجاه بعرض 7 أمتار لكل جانب، أما الساق الثالثة فهي طريق فرعية إلى محطة العافية وتتكون من اتجاهين بحارة واحدة لكل اتجاه.

برنامج SIDRA Intersection:

يُعد برنامج SIDRA Intersection من الأدوات المتقدمة في مجال هندسة المرور وتحليل التقاطعات، حيث يوفر نماذج دقيقة لمحاكاة حركة المركبات عند التقاطعات المختلفة (إشارات ضوئية، تقاطعات بدون إشارات، دوارات). ويعتمد على معايير HCM (دليل السعة المرورية) لتحديد مستوى الخدمة والقدرة والتأخيرات الزمنية.

من خلال واجهته البسيطة ومخرجاته المفصلة، يمكن لـ SIDRA تقديم تقييم شامل لأي تقاطع، واقتراح سيناريوهات متعددة للتحسين بناءً على بيانات دقيقة.

ويُعد برنامج SIDRA، وهو اختصار لـ Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid، أحد الأدوات التي طورتها الهيئة الأسترالية لأبحاث الطرق .[25] (ARRB) ويُصنف SIDRA كأحد برامج التحليل الدقيق الشائعة الاستخدام في مجال هندسة المرور لتحليل تقاطعات منفردة على مستوى المسار الواحد، ويقوم بتقديم نتائج تحليلية تشمل التأخير، طول الدورة الأمثل، مستوى التشبع، مستوى الخدمة، استهلاك الوقود، الانبعاثات، والتكلفة التشغيلية [30,29]. وقد أشار العديد من الباحثين، من بينهم [31]، إلى أن SIDRA يُعد من أفضل أدوات التنبؤ بزمن التأخير الواقعي في التقاطعات.

مفهوم مستوى الخدمة (LOS) في برنامج SIDRA Intersection

يوفّر مستوى الخدمة تصنيفًا نوعيًا للظروف التشغيلية المرورية التي يختبرها مستخدمو الطريق. ويُعرّف "دليل سعة الطرق السريعة (Highway Capacity Manual) "فئات مستويات الخدمة للطرق السريعة متعددة المسارات [66,49] كما يلي:

- مستوى الخدمة A

يمثّل ظروف التدفق الحر (أي أن حركة المرور تسير بانسيابية تامة). لا يتأثر المستخدمون بشكل يُذكر بوجود المركبات الأخرى في تيار المرور، الحرية في اختيار السرعات المطلوبة والمناورة داخل التيار المروري تكون عالية جدًا، ويكون مستوى الراحة والسهولة المقدمة للسائقين ممتازًا.

- مستوى الخدمة B

تُتاح سرعات قريبة من سرعات التدفق الحر، لكن يبدأ السائقون بملاحظة وجود مركبات أخرى في تيار المرور. لا تزال حرية اختيار السرعات المطلوبة غير متأثرة نسبيًا، لكن هناك انخفاض طفيف في حرية المناورة مقارنةً بمستوى A.

- مستوى الخدمة C

تظل السرعات قريبة من التدفق الحر، لكن حرية المناورة تصبح مقيّدة بشكل ملحوظ (يتطلب تغيير المسارات انتباهاً كبيراً من السائقين). ينخفض مستوى الراحة والسهولة بشكل كبير في هذا المستوى، وفي حال حدوث عوائق مثل حادث سير أو تعطل مركبة، فإن ذلك يؤدي إلى تشكل طوابير وتأخيرات كبيرة. بالمقابل، يكون تأثير مثل هذه العوائق طفيفًا في المستويين A و B.

- مستوى الخدمة D

يبدأ الانخفاض في السرعة مع ازدياد حجم المرور، تقل حرية المناورة ويشعر السائقون بانخفاض في الراحة الجسدية والنفسية، يمكن للحوادث أن تُنتج طوابير طويلة بسبب الكثافة العالية في هذا المستوى، ما يترك مجالاً ضيقًا لاستيعاب أي اضطراب في التدفق.

- مستوي الخدمة E

يمثل هذا المستوى ظروف التشغيل عند أو بالقرب من السعة القصوى للطريق حتى الاضطرابات الطفيفة في تيار المرور (مثل دخول مركبات من منحدر أو تغيير المسارات) يمكن أن تتسبب في تأخيرات، حيث يجب على المركبات الأخرى الإفساح لها. عمومًا، تكون القدرة على المناورة محدودة للغاية ويعاني السائقون من انزعاج كبير بدنيًا ونفسيًا.

- مستوى الخدمة F

يعكس هذا المستوى انهيارًا في تدفق المركبات، تتشكل الطوابير بسرعة في النقاط التي يتجاوز فيها معدل وصول المركبات مؤقتًا معدل الخروج، كما تحدده سعة الطريق. في هذه الحالة، تسير المركبات بسرعات منخفضة وغالبًا ما يُطلب منها التوقف التام، عادةً بطريقة دورية، ويُعد تشكّل وتبدد الطوابير بشكل دوري سمة أساسية لهذا المستوى.

ويتم تصنيف مستوي الخدمة LOS في برنامج SIDRA Intersection بناء على متوسط التأخير لكل مركبة كما موضح في الجدول (1)

الجدول (1) يوضح تصنيف مستوى الخدمة (LOS) وفقا لمتوسط التأخير لكل مركبة في برنامج SIDRA Intersection

مستوى الخدمة (LOS)	متوسط التأخير (ثانية/مركبة)	الوصف
A	0 – 10	أداء ممتاز، تأخير غير محسوس تقريبًا.
B	> 10 – 20	تأخير خفيف، تدفق مروري جيد.
C	> 20 – 35	تأخير معتدل، تدفق مستقر لكن أقل راحة.
D	> 35 – 55	تأخير ملحوظ، غالبًا في أوقات الذروة، لكن ما زال مقبولًا.
E	> 55 – 80	تأخير كبير، يُشير إلى تقاطع قريب من طاقته الاستيعابية.
F	> 80	تأخير شديد، فشل مروري، غالبًا ما يشير إلى تشبع وتكدس عالي.

(Source: SIDRA Solutions, SIDRA INTERSECTION v5: User Guide, Sydney, Australia, 2023)

عرض وتوظيف نتائج برنامج SIDRA Intersection

بعد إدخال البيانات وتشغيل البرنامج، يتم عرض النتائج في شكل جداول مفصلة لكل مدخل وحركة، ورسوم بيانية وخرائط لونية توضح مناطق الازدحام ومستويات الخدمة (LOS)، إضافةً إلى تقارير شاملة قابلة للتصدير، تُستخدم هذه المخرجات في اقتراح التحسينات الهندسية، ومقارنة البدائل التصميمية قبل وبعد التنفيذ، والتخطيط المستقبلي وفق معدلات النمو المروري.

منهجية جمع البيانات:

لبلوغ أهداف الدراسة، كان من الضروري اتباع إجراء مُصمم لجمع البيانات المطلوبة. يمكن تلخيص هذا الإجراء في أربع خطوات:

1. تحديد حدود منطقة الدراسة.
2. تحديد فترة الذروة لكل تقاطع في شبكة المرور.
3. تحديد معلومات الإدخال الخاصة بالبرامج المختارة.
4. فحص البيانات المجمعة وترميزها وإعدادها لاستخدامها في البرامج المختارة.

هدفت مرحلة جمع البيانات إلى جمع جميع البيانات اللازمة لتوضيح حالة حركة المرور في منطقة الدراسة. بعد دراسة دقيقة، تم اختيار أنواع البيانات المراد جمعها لتشمل:

- السمات الهندسية (مثل: عرض المسار لكل مدخل، عدد المسارات لكل مدخل، نصف قطر الدخول، وما إلى ذلك).
- بيانات حركة المرور، والتي شملت: حجم حركة المركبات في فترة الذروة، وتصنيف المركبات (سيارات ركاب، حافلات، شاحنات).
- معلومات التحكم في حركة المرور، مثل: نوع إشارة التحكم المستخدمة في التقاطع، ونوعها، وطول دورة الإشارة، ومعلومات المراحل، والعلامات واللافتات الموجودة.
- بيانات استخدام الأراضي والتغيرات المتوقعة في استخدامات الأراضي.
- بيانات السرعة، ممثلة بسرعة التدفق الحر عند كل وصلة داخلية في الشبكة.

معدات جمع البيانات

جُمعت البيانات الميدانية في المواقع المختارة باستخدام نوعان من المعدات، وهي كاميرا الفيديو، وجهاز قياس المسافات. تُعد كاميرا الفيديو إحدى طرق جمع بيانات حركة المرور. ومع ذلك، تكمن إحدى الصعوبات التي تواجه هذه الطريقة في إيجاد نقطة مراقبة مناسبة ذات رؤية جيدة لجمع البيانات وبالتالي، تُشكل هذه المشكلة العامل الرئيسي المؤثر على نوعية البيانات المُجمعة في الموقع، لذلك تم استخدام طائرة دورن مزودة بكمرة عالية الدقة.

وقت جمع البيانات

جُمعت البيانات خلال ساعات الذروة الصباحية والمسائية. مع ذلك، لم تُجمع عند تأثر حركة المرور الاعتيادية بحادث. جُمعت البيانات خلال أيام الأسبوع مساءً، في ساعات الذروة وخارجها. ويُعتبر هذا مناسبًا نظرًا لتسجيل أحجام مرور واسعة، حيث أجري البحث الميداني لمدة أربعة أسابيع، بدءًا من أوائل يناير 2025، حتى أواخر فبراير 2025.

استخراج البيانات

تم تشغيل أشرطة الفيديو من موقع الدراسة في البداية لاسترجاع البيانات ذات الصلة. تم فصل البيانات المستخدمة في هذه الدراسة بين ساعات الذروة وساعات الركود. لكل مسار، تم تسجيل تصنيف المركبات والوقت الذي قطعته على مسافة

محددة لإكمال دورة. ثم تكررت العملية حتى تم الوصول إلى العدد الإجمالي للمركبات المستخدمة في بيانات العينة. تتطلب هذه العملية دقة عالية للحصول على بيانات دقيقة من كل مركبة.

معالجة البيانات وتحليلها

حُفظت البيانات المُستخرجة عن حركة المركبات في جدول بيانات Excel. حُلّلت البيانات لإجمالي حجم حركة المرور في ساعات الذروة، ثم حُوّلت إلى وحدة النسبة المئوية للسيارات (PCU) [39]، للحصول على حجم حركة المرور لكل مسار أو وصلة، كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2) يوضح معاملات PCU لأنواع المركبات المختلفة.

نوع المركبة	معامل PCU
سيارة	1.00
شاحنات ثقيلة	2.50–2.00
باص	3.00–2.50

(Source: Shubber and Hassan, 2024)

الحصر المروري لجميع التقاطعات المدروسة

لقد تم جمع البيانات والحصر المروري للتقاطعات الثلاثة المدروسة بالترتيب وهي (وتقاطع المدينة القديمة – وتقاطع جامع الصحابة – وتقاطع العافية) كما موضح في الجداول من جدول (3) الي (5).

الجدول (3) يوضح الحصر المروري لتقاطع المدينة القديمة طور الدراسة

الاتجاه	يمين	مستقيم	يسار	دوران	المجموع
شرق → غرب	30	1173	162	38	1403
غرب → شرق	321	1083	32	33	1469
جنوب → شمال	315	16	151	–	482
شمال → جنوب	43	20	27	–	90

ملاحظة / نسبة المركبات الثقيلة (HV%) = 2.1% من إجمالي الحصر المروري لكل الاتجاهات.

الجدول (4) يوضح الحصر المروري لتقاطع جامع الصحابة طور الدراسة

الاتجاه	يمين	مستقيم	يسار	دوران	المجموع
شرق → غرب	30	1116	205	34	1385
غرب → شرق	351	1012	50	35	1448
جنوب → شمال	239	17	144	–	400
شمال → جنوب	49	28	34	–	111

ملاحظة / نسبة المركبات الثقيلة (HV%) = 2.5% من إجمالي الحصر المروري لكل الاتجاهات.

الجدول (5) يوضح الحصر المروري لتقاطع العافية طور الدراسة

الاتجاه	يمين	مستقيم	يسار	دوران	المجموع
شرق → غرب	198	1056	–	21	1275
غرب → شرق	–	991	217	28	1236
شمال → جنوب	282	–	177	–	459

ملاحظة / نسبة المركبات الثقيلة (HV%) = 2.3% من إجمالي الحصر المروري لكل الاتجاهات.

النتائج والمناقشات:

يناقش هذا الجزء نتائج دراسة تقييم وتحسين التقاطعات المرورية الرئيسية بمدينة براك الشاطئ باستخدام برنامج SIDRA، استنادًا إلى المدخلات والمخرجات. تتألف البيانات المجمعة من معلمات حركة المرور وبيانات المخرجات من البرنامج. ولأغراض المعايرة، تم أخذ نتائج المحاكاة، وتأخير التحكم، وطول الطابور، وأوقات الرحلات في الموقع وفقًا للخطة. علاوة على ذلك، جُمعت التفاصيل الهندسية، والمسافة بين عقدتين في مواقع الدراسة لتوصيف الشبكة. تُعرض تفاصيل البيانات المجمعة في الموقع ومخرجات SIDRA في الملاحق.

أولاً: نتائج تقاطع المدينة القديمة:

يُعد تقاطع المدينة القديمة من أهم التقاطعات في مدينة براك الشاطئ، إذ يقع في وسط المدينة على الشارع الرئيسي، ويشهد كثافة مرورية عالية نظرًا لقربه من تقاطعين آخرين لا تفصله عنهما سوى مسافات قصيرة (80 و100 متر تقريبًا). هذا التداخل في الحركة ساهم في زيادة الازدحام واختناقات السير. تم تقييم أداء هذا التقاطع باستخدام برنامج SIDRA Intersection، الذي أظهر ضعف مستوى الخدمة وارتفاع التأخير ودرجة التشبع. وبناءً على ذلك، جرى اختبار عدة سيناريوهات للتحسين شملت: إدخال إشارات مرورية، إضافة مسارات، وفصل الحركات، بهدف الوصول إلى حلول فعّالة لتحسين كفاءة التشغيل المروري في التقاطع باقتراح مقترحين للتحسين كما موضح في الجدول (6) و(7).

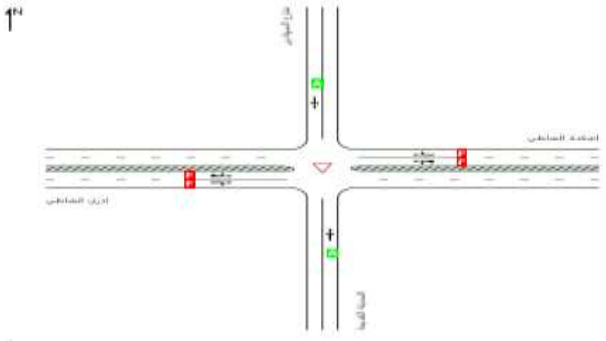
1. المقترح الأول لتقاطع المدينة القديمة (إضافة إشارة مرور)

كانت نتائج تقييم تقاطع المدينة القديمة قبل وبعد التحسين للمقترح الأول كما موضح في الجدول رقم (6).

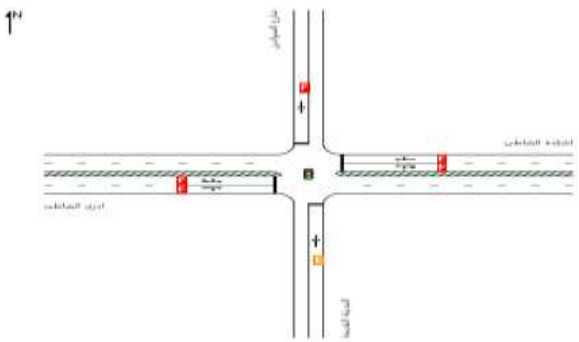
الجدول (6) يوضح نتائج تقييم تقاطع المدينة القديمة قبل وبعد التحسين للمقترح الأول

الحالة	درجة التشبع (DoS)	متوسط التأخير (ثانية/مركبة)	طول الطابور (متر)	مستوى الخدمة (LOS)
الوضع الحالي	1.838	108.2	1698	F
إضافة إشارة مرورية للتقاطع	2.247	854.2	2342.5	F

وكما موضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة قبل وبعد التحسين للمقترح الأول في الاشكال التالية (2،3)



الشكل (2) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة الحالى



الشكل (3) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة بعد تحسين المقترح الاول

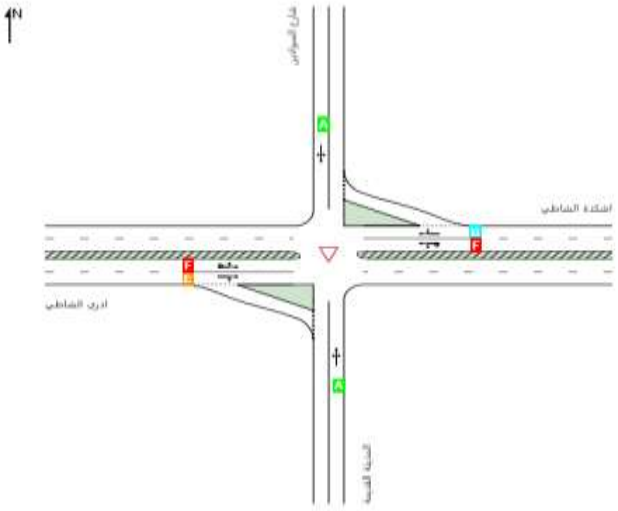
2.المقترح الثاني لتقاطع المدينة القديمة (تحسينات هندسية تدريجية)

كانت نتائج تقييم تقاطع المدينة القديمة قبل وبعد التحسين للمقترح الثاني كما موضح في الجدول رقم (7)

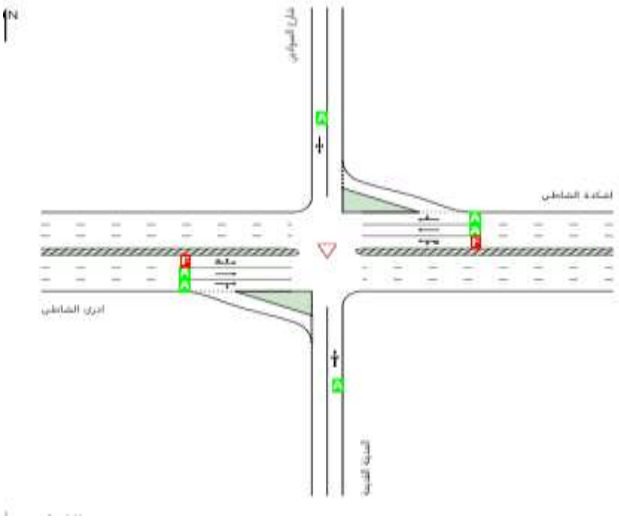
الجدول (7) يوضح نتائج تقييم تقاطع المدينة القديمة قبل وبعد التحسين للمقترح الثاني

الرقم	الحالة	درجة التشبع (DoS)	متوسط التأخير (ث/مركبة)	طول الطابور (متر)	مستوى الخدمة (LOS)
التقاطع الحالي	الوضع الحالي	1.838	108.2	1698	F
1-التحسين رقم1	فصل مسار الدخول لليمين	1.052	48.8	1514	E
2-التحسين رقم2	إضافة مسار جديد للتقاطع	1.967	57.8	499.8	D
3-التحسين رقم3	إلغاء حركة الدوران	0.915	5.6	48.1	A

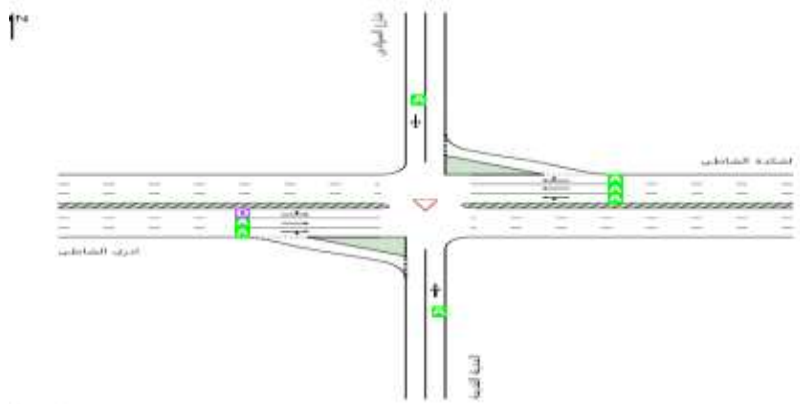
وكما موضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة بعد التحسين للمقترح الثاني في الاشكال التالية (4 – 6).



الشكل (4) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة للتحسين 1 المقترح الثاني



الشكل (5) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة للتحسين2 المقترح الثاني



الشكل (7) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع المدينة القديمة للتحسين 3 المقترح الثاني

مناقشة نتائج تقاطع المدينة القديمة

1–المقترح الأول لتقاطع المدينة القديمة (إضافة إشارة ضوئية)

رغم أن المقترح الأول تمثل في إضافة إشارة ضوئية لتنظيم حركة المرور داخل تقاطع المدينة القديمة، إلا أن نتائج التقييم أظهرت تدهورًا واضحًا في الأداء، حيث ارتفعت درجة التشبع من 1.838 إلى 2.247، مما يعكس زيادة كبيرة في الضغط المروري تفوق القدرة الاستيعابية للتقاطع، كما تضاعف متوسط التأخير ليصل من 108.2ثانية إلى 854.2 ثانية لكل مركبة، وازداد طول الطابور من 1698 متر إلى 2342.5 متر، في حين استمر مستوى الخدمة عند (F)، مما يدل على فشل هذا الخيار في تحسين الأداء. ويُعزى هذا التدهور بالأساس إلى الموقع الجغرافي للتقاطع، إذ يقع على مسافة قريبة جدًا من تقاطعين آخرين (80 متر و100 متر)، الأمر الذي يجعل استخدام الإشارات غير فعّال نظرًا لتداخل توقيتات الانتظار وغياب المساحات الكافية لتخزين المركبات، مما يؤدي إلى ازدحام متتالي وانهيار في الشبكة المرورية المحلية

2–المقترح الثاني لتقاطع المدينة القديمة (تحسينات هندسية تدريجية)

- التحسين رقم 1: أظهر تحسنًا نسبيًا في مؤشري الأداء، حيث انخفضت درجة التشبع إلى 1.052 ومتوسط التأخير إلى 48.8 ثانية، لكن استمرار مستوى الخدمة عند (E) وطول الطابور الكبير البالغ 1514 مترًا يشيران إلى أن هذا التحسين كان جزئيًا فقط، إذ لم يعالج مشكلة التداخل بين الحركات المرورية وخاصة الدوران داخل التقاطع.
- التحسين رقم 2: ساهم في تقليل طول الطابور إلى 499.8 متر وتحسين مستوى الخدمة إلى (D)، إلا أن ارتفاع درجة التشبع إلى 1.967 ومتوسط التأخير إلى 57.8 ثانية يعكسان استمرار مشكلة تراكم المركبات في مسار الدوران الذي لم تتم معالجته كما في باقي المسارات مما حدّ من فاعلية هذا التوسيع.
- التحسين رقم 3: حقق أفضل النتائج التشغيلية، حيث انخفضت درجة التشبع إلى 0.915 ومتوسط التأخير إلى 5.6 ثانية، وتراجع طول الطابور إلى 48.1 متر، وارتفع مستوى الخدمة إلى (A)، مما يدل على أن إلغاء الدوران كان إجراءً فعالًا أسهم في تقليل التداخلات وتحسين انسيابية الحركة بشكل كبير داخل التقاطع. يمكن اعتبار هذا التحسين هو الأفضل والأكثر فعالية من حيث الكفاءة التشغيلية.

في ضوء نتائج تحليل تقاطع المدينة القديمة، يتّضح أن المقترح الثاني (التحسينات الهندسية مثل إضافة مسار جديد، إلغاء الدوران، وفصل الدخول لليمين) أثبت فعالية واضحة مقارنة بالمقترح الأول (تركيب إشارة ضوئية). فقد أظهرت دراسة أُجريت على تقاطع حضري مزدحم في مدينة إربد – الأردن [50]، أن إلغاء الدوران نحو اليسار ساهم في خفض درجة التشبع من 1.54 إلى 0.91، كما أن فصل مسار الدخول لليمين أدى إلى تقليل متوسط التأخير بنسبة 49%، من 65.2 إلى 21.6 ثانية، وتحسين مستوى الخدمة من E إلى C وهو ما يتقاطع مع النتائج التي تحققت في تقاطعنا بعد تنفيذ تحسينات مماثلة، حيث انخفضت درجة التشبع إلى 0.915، ومتوسط التأخير إلى 5.6 ثانية، مع مستوى خدمة A. وفي دراسة مماثلة في مدينة كربلاء – العراق [51]، تم تنفيذ تحسينين هندسيين رئيسيين تمثّلا في إضافة مسار جديد بالكامل في الاتجاه الرئيسي مع إلغاء حركة الدوران لليسار، وأسفرت هذه التعديلات عن نتائج واضحة، شملت انخفاض متوسط التأخير من 76.3 إلى 18.4 ثانية، وتحسن مستوى الخدمة من F إلى C، إلى جانب انخفاض طول الطابور من 1875 إلى 524 مترًا، ودرجة التشبع من 1.67 إلى 0.88، وهي نتائج تنسجم مع ما تحقق في تقاطع المدينة القديمة بعد فتح مسار جديد وإلغاء الدوران، حيث سُجّل تحسن كبير في مؤشرات الأداء المروري. كما دعمت نتائج دراسة أُجريت في كاتماندو – نيبال فعالية الحلول التشغيلية منخفضة التكلفة، حيث أدى فصل حركة الدوران وإعادة تنظيم المسارات دون توسعة عرضية إلى خفض درجة التشبع من 1.52 إلى 1.09 بنسبة تقارب 28%، وتحسن مستوى الخدمة من F إلى D،

مما يدل على أهمية الإجراءات البسيطة ذات الأثر الكبير، وهو ما انعكس أيضًا في نتائج المقترح الثاني لدينا [52]. وعلى النقيض، فقد أثبتت دراسة في مدينة البصرة – العراق، أن تركيب إشارات مرورية في تقاطع غير منظم أدى إلى زيادة متوسط التأخير إلى أكثر من 110 ثانية وتراجع مستوى الخدمة إلى F بسبب عدم توافق الإشارة مع حجم الحركة المرورية الفعلي وقرب التقاطعات المجاورة، وعدم توفر مساحة كافية للتخزين والانتظار وهو ما يتوافق مع نتائجنا التي أظهرت ضعف أداء المقترح الأول (إشارة المرور) في تقاطع المدينة القديمة بسبب محدودية المسافات البينية بين التقاطعات المجاورة وزيادة الطوابير وتأخير الحركة [53]. وفي السياق ذاته، أظهرت دراسة أُجريت في مدينة بني وليد – ليبيا [42]، تمت الدراسة باستخدام برنامج Synchro 8 أن إضافة إشارة مرورية في أحد التقاطعات الرئيسية لم تُحقق الأداء المروري المطلوب، إذ تم تحسين السعة المرورية لبعض الاتجاهات فقط، بينما ظلت حركات الاستدارة لليسار تعاني من اختناقات شديدة، دون تحسين فعلي في انسيابية الحركة، مما أدى إلى بقاء مستوى الخدمة عند تصنيف ضعيف (E أو F).

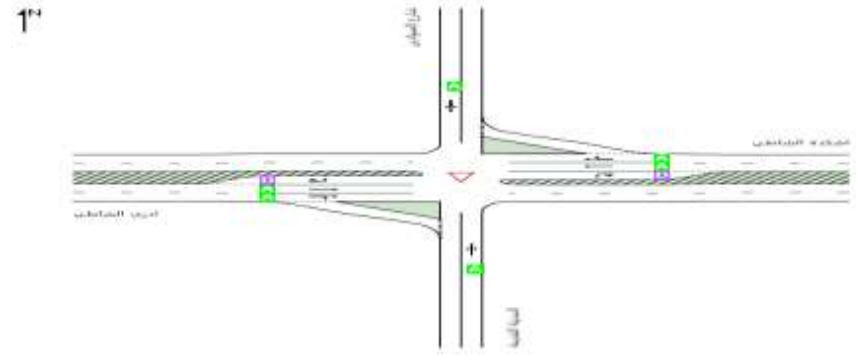
الحل البديل أو المقترح الثالث لتحسين تقاطع المدينة القديمة

في حال تعذر تنفيذ الحل الكامل بفتح مسار جديد بسبب القيود المالية أو المساحية، تم اقتراح حل بديل يتمثل في فصل حركة الدوران لليسار والدخول إلى اليمين باستخدام مسارات قصيرة مخصصة، دون توسعة كاملة للطريق. هذا النوع من التحسين يُعد أكثر واقعية في بعض الحالات، ويسهم في تقليل نقاط التعارض وتحسين انسيابية الحركة بتكلفة منخفضة نسبيًا كما موضحة نتائج هدا الحل البديل في الجدول رقم (8) ومستوي الخدمة والشكل النهائي للتقاطع في الشكل (8).

وقد أظهرت دراسة في كاتماندو – نيبال أن فصل الدوران لليسار في مسار خاص أدى إلى خفض درجة التشبع من 1.52 إلى 1.09، وتحسين مستوى الخدمة من F إلىD ، دون الحاجة إلى إلغاء الحركات أو توسعة كبيرة للبنية التحتية، مما يثبت فعالية هذا النوع من المعالجات التشغيلية البسيطة في تحسين أداء التقاطعات [52].

جدول يوضح (8) يوضح نتائج تقييم تقاطع المدينة القديمة قبل وبعد تحسين الحل البديل او المقترح الثالث

الرقم	الحالة	درجة التشبع (DoS)	متوسط التأخير (ث/مركبة)	طول الطابور (متر)	مستوى الخدمة (LOS)
التقاطع الحالي	الوضع الحالي	1.838	108.2	1698	F
1–التحسين الأول	فصل مسار للدخول يمين	1.052	48.8	1514	E
2–التحسين الثاني	فصل مسار للدوران والدخول يسار	1.032	9.6	103.4	C



الشكل (8) يوضح الشكل النهائي ومستوي الخدمة (LOS) بتقاطع المدينة القديمة بعد التحسين للحل البديل

كما تظهر المقارنة في النتائج والكفاءة العامة وتكلفة التنفيذ لتقاطع المدينة القديمة بين تحسين المقترح الثاني والحل البديل للتحسين كما موضح في الجدول (9)

الجدول (9) يوضح مقارنة عامة بين تحسينات المقترح الثاني وتحسين الحل البديل لتقاطع المدينة القديمة

المقارنة	تحسين المقترح الثاني	تحسين الحل البديل
درجة التشبع(v/c)	0.915	1.032
متوسط التأخير (ثانية)	5.6	9.6
مستوى الخدمة(LOS)	A	C
تكلفة التنفيذ	مرتفعة	منخفضة
التنفيذ الميداني	يحتاج توسعة وقطع طرق	ممكن في إطار الدوار الحالي
المرونة في التعديل	أقل	أعلى
الكفاءة العامة	أعلى قليلاً	جيدة جدًا

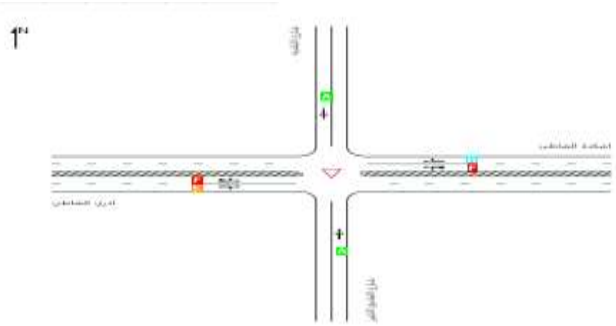
ثانياً: نتائج تقاطع جامع الصحابة

يُعد تقاطع جامع الصحابة من التقاطعات الرباعية المهمة الواقعة على الطريق الرئيسي في مدينة براك الشاطئ، حيث يُشكّل نقطة التقاء محورية بين عدد من الأذرع الحيوية، أبرزها ذراع إدري الذي يشهد حركة مرورية نشطة نسبيًا. يُصنّف التقاطع من حيث الأداء المروري على أنه متوسط الازدحام، إلا أنه يُعاني من تكرار الحوادث المرورية الخفيفة، وهو ما يعكس غياب التنظيم الكافي لحركة المركبات عند التقاطع. كما أن عدم وجود إشارات مرورية ضوئية أو تنظيم هندسي واضح زاد من احتمال وقوع التصادمات، خصوصًا عند حركات الانعطاف والدخول يسارً. وبالتالي تم تقييم التقاطع باستخدام SIDRA Intersection واجراء عليه التحسين وكانت النتائج كما موضح في الجدول (10).

الجدول رقم (10) يوضح نتائج تقييم تقاطع جامع الصحابة قبل وبعد التحسين.

الحالة	درجة التشبع(DoS)	متوسط التأخير (ثانية/مركبة)	طول الطابور (متر)	مستوى الخدمة(LOS)
الوضع الحالي	1.825	82.8	1440.3	E
إضافة دوار للتقاطع	0.826	9.2	54.3	A

وكما موضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع جامع الصحابة قبل وبعد التحسين في الاشكال (9، 10).



الشكل (9) وضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع جامع الصحابة الحالي

الشكل (10) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع جامع الصحابة بعد التحسين

مناقشة نتائج تقاطع جامع الصحابة

أظهر التقييم الأولي لتقاطع جامع الصحابة، وهو تقاطع رباعي غير محكوم بإشارة ضوئية ويقع على طريق رئيسي، أن التقاطع يعاني من تشبع مروري مرتفع، حيث بلغت درجة التشبع 1.825، وبلغ متوسط التأخير 82.8 ثانية لكل مركبة، مع مستوى خدمةE ، ما يعكس أداءً غير مرضٍ، خاصة عند الحركات اليسارية في ذراع إدري. كما سُجلت نسبة جيدة من الحوادث الخفيفة نتيجة تداخل الحركات وضعف التنظيم. ولمعالجة هذه المشكلات، تم اقتراح تحويل التقاطع إلى دوار دائري يتلاءم مع المساحة المتوفرة، ما أدى إلى تحسّن كبير في الأداء، إذ انخفضت درجة التشبع إلى 0.826، ومتوسط التأخير إلى 9.2 ثانية فقط، وارتفع مستوى الخدمة إلىA ، مما يعكس انسيابية عالية وتقليلا واضحا لمناطق التعارض، لا يقتصر تأثير هذا التحسين على الجوانب الكمية فقط، بل يشمل أيضاً الجوانب النوعية، مثل تحسين السلامة المرورية من خلال تقليل نقاط التصادم المحتملة، والحد من الحوادث الخفيفة التي كانت تتكرر في التقاطع نتيجة العشوائية وضعف التنظيم السابق. وبهذا، يُعتبر إدخال الدوار حلاً عملياً ومناسباً لمثل هذه المواقع، خصوصاً في المدن المتوسطة ذات الكثافة المرورية المعتدلة.

أثبتت نتائج الدراسات السابقة فاعلية تحويل التقاطعات التقليدية إلى دوارات في تحسين الأداء المروري والسلامة، وهو ما يتماشى مع ما تحقق في تقاطع جامع الصحابة. ففي دراسة أُجريت بمدينة إربد – الأردن، تم تحويل تقاطع رباعي غير محكوم إلى دوار متوسط الحجم، ما أدى إلى انخفاض متوسط التأخير من 78.6ثانية إلى 11.4 ثانية، وتحسُّن مستوى الخدمة من F إلىB ، مع انخفاض معدل الحوادث بنسبة تجاوزت 40% خلال فترة المتابعة [54]. كما دعمت دراسة أُجريت في مدينة كاتماندو – نيبال [52] نتائج مماثلة، حيث أظهر تحويل أحد التقاطعات المزدحمة إلى دوار صغير انخفاضًا في درجة التشبع بنسبة 28%، وتحسينًا في مستوى الخدمة من F إلىD ، نتيجة لفصل الحركات وتقليل نقاط التعارض. وفي دراسة أخرى بمدينة البصرة – العراق [53]، أُجري تحليل مقارن بين تقاطع محكوم بإشارة وآخر تم تحويله إلى دوار، حيث تبين أن الدوار حقق متوسط تأخير لا يتجاوز 12.8 ثانية،مقابل أكثر من 100 ثانيةفي التقاطع بالإشارة، ما يدل على الأثر الإيجابي للدوارات في بيئات ذات كثافة مرورية متوسطة. تُظهر هذه النتائج تشابهًا واضحًا مع ما تحقق في تقاطع جامع الصحابة، حيث أدى التحويل إلى دوار إلى خفض متوسط التأخير من 82.8 إلى 9.2 ثانية، وتحسين مستوى الخدمة من E إلىA ، مع معالجة نقاط التشبع والخطر المروري، مما يبرهن على جدوى هذا النوع من التحسينات في بيئات مشابهة من حيث الكثافة المرورية والمساحة المتاحة. وايضا دراسة في ولاية كيرالا – الهند [55]، أوضحت أن تحويل تقاطع مزدحم إلى دوار أدى إلى انخفاض متوسط التأخير من 79 إلى 11.4 ثانية، وتحسن مستوى الخدمة من Fإلى B . كما أظهرت دراسة في مدينة الطائف – السعودية، أن إدخال دوار في تقاطع غير منظم ساهم في تقليل الحوادث بنسبة 45%، وخفض زمن التأخير بنسبة تجاوزت 60%. وفي دراسة أجريت في مدينة ساكرامنتو ولاية كالفورنيا – الولايات المتحدة [11]، تم تحويل تقاطع تقليدي إلى دوار، ما أدى إلى انخفاض في عدد الحوادث الإجمالية بنسبة 35 %والحوادث الخطيرة بنسبة 76.% [56].

ثالثاً: نتائج تقاطع العافية

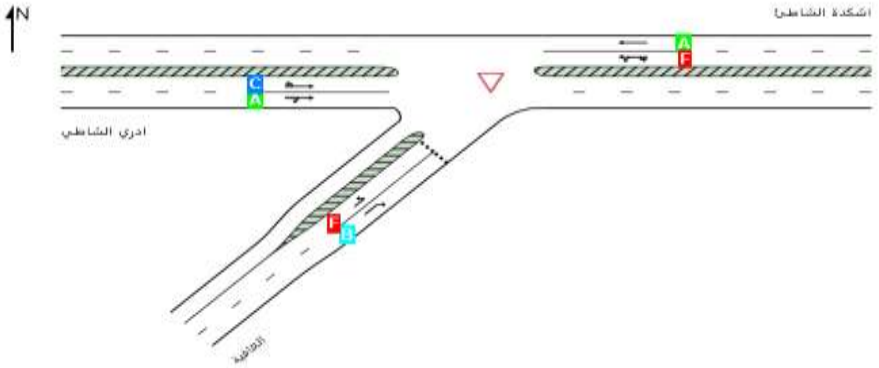
يُعد تقاطع العافية تقاطعًا ثلاثي الأذرع، يقع في الجزء الغربي من مدينة براك الشاطئ، ويُشكل مدخلًا مهمًا لمحلة العافية من الطريق الرئيسي. ويتميز هذا التقاطع بازدحام مروري متوسط في معظم الأوقات، يتزايد بشكل ملحوظ خلال ساعات الذروة، لا سيما بسبب حركة الانعطاف والدخول لليسار، مما يؤدي إلى تداخلات مرورية تؤثر على كفاءة التدفق المروري

وسلامة الحركة وبالتالي تم تقييم التقاطع باستخدام SIDRA Intersection واجراء عليه التحسين وكانت النتائج كما موضح في الجدول (11).

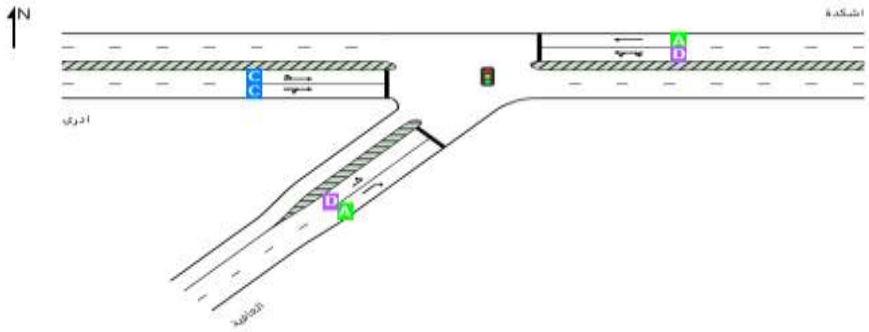
الجدول رقم (11) يوضح نتائج تقييم تقاطع العافية قبل و بعد التحسين

الحالة	درجة التشبع (DoS)	متوسط التأخير (ثانية/مركبة)	طول الطابور (متر)	مستوى الخدمة (LOS)
الوضع الحالي	1.293	30.8	303.5	E
إضافة إشارة مرور للتقاطع	0.833	24	222	c

وكما موضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع العافية قبل وبعد التحسين في الاشكال التالية من (11و12)



الشكل (11) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع العافية الحالي



الشكل (11) يوضح مستوي الخدمة (LOS) لتقاطع العافية بعد التحسين

مناقشة نتائج تقاطع العافية

تم تقييم تقاطع العافية كأحد التقاطعات الثلاثية الهامة في الجزء الغربي من مدينة براك الشاطئ، حيث أظهرت النتائج الأصلية وجود ازدحام مروري نسبي خلال فترات الذروة، تمثّل في درجة تشبع مرتفعة بلغت 1.293 ومتوسط تأخير قدره 30.8 ثانية الذي يعتبر في الحدود المقبولة، مع تصنيف مستوى الخدمة عند الدرجة .E ويعود هذا الازدحام بشكل رئيسي

إلى حركة الانعطاف لليسار التي تفتقر إلى تنظيم واضح، مما يؤدي إلى تداخلات مرورية وإبطاء في الحركة. بعد إدخال إشارة ضوئية للتقاطع بهدف تحسين حركة الانعطاف وترتيب الأولويات داخل التقاطع، أظهرت النتائج تحسنًا ملحوظًا، حيث انخفضت درجة التشبع إلى 0.833 وتراجع التأخير إلى 24 ثانية، وتحسن في مستوى الخدمة الي C بأداء أكثر استقرارًا وأمانًا. هذا التحسين يؤكد أن استخدام الإشارات الضوئية في مثل هذه التقاطعات يُسهم بفعالية في تقليل الازدحام وتحسين تنظيم الحركة دون الحاجة إلى توسعة مادية. في ضوء نتائج تحسين تقاطع العافية، يمكن الاستدلال بعدد من الدراسات السابقة التي أثبتت فعالية الإشارات الضوئية في تحسين أداء التقاطعات المزدحمة، خاصة تلك التي تعاني من تداخلات حادة في حركات الانعطاف. في دراسة بمدينة الدمام – السعودية [54]، تم تقييم تقاطع ثلاثي يعاني من اختناقات مرورية خلال أوقات الذروة، وتم إدخال إشارة ضوئية لتنظيم الحركة. أظهرت النتائج انخفاضًا في درجة التشبع من 1.42 إلى 0.79، وتحسنًا في متوسط التأخير من 38 إلى 22 ثانية، مع انتقال مستوى الخدمة من (E) إلى(C) . أما في مدينة إربد – الأردن، فقد أظهرت دراسة على تقاطع مزدحم أنه بعد تركيب إشارة ضوئية وتحسين توقيتاتها، انخفض متوسط التأخير بنسبة 40%، وتحسن مستوى الخدمة من (D) إلى(B) ، مما يشير إلى أثر إيجابي مباشر لتنظيم الإشارات [57].

الخلاصة:

كان الهدف من البحث هو تقييم وتعزيز كفاءة الأداء المروري للتقاطعات الحضرية بمدينة براك الشاطئ باستخدام برنامج SIDRA Intersection، الذي يُعد من الأدوات الفعالة في تحليل الأداء التشغيلي للتقاطعات الحضرية. تمثلت مشكلة الدراسة في الازدحام المروري، وارتفاع مستويات التأخير وانخفاض مستوى الخدمة في تلك التقاطعات، مما يؤثر سلبًا على كفاءة شبكة النقل داخل المدينة.

اعتمدت الدراسة على جمع البيانات الميدانية لحجم الحركة المرورية والخصائص الهندسية لكل تقاطع، حيث تم إدخال هذه البيانات إلى برنامج SIDRA لإجراء التقييم الأولي، ثم اقتراح عدد من السيناريوهات التحسينية لكل تقاطع، وإعادة التحليل لاختيار الحل الأمثل.

تم تقييم كل تقاطع من حيث درجة التشبع(Degree of Saturation) ، ومتوسط التأخير(Delay) ، ومستوى الخدمة (LOS)، وطول الطوابير .(Queue Length) وأظهرت النتائج أن معظم التقاطعات تعاني من اختناقات مرورية ملحوظة، خاصة خلال ساعات الذروة، حيث أظهرت بعض المواقع مستوى خدمة F، وهو أدنى مستوى ممكن للأداء المروري، ما يشير إلى حاجة ماسة إلى تحسينات مرورية فعّالة. وكانت أبرز نتائج التقييم والتحسينات لكل تقاطع كالآتي:

- تقاطع المدينة القديمة :كان يعاني من تداخلات مرورية وتأخيرات عالية، حيث سجلت درجة التشبع 1.838 ومتوسط التأخير 108.2ثانية/مركبة، وطول طابور 1698متر ومستوى خدمة F. في البداية تم ادخال إشارة مرورية للتقاطع و لكن إدى إلى زيادة متوسط التأخير ليصل 854.2 ثانية درجة تشبع 2.247 لكي يظل بنفس مستوي خدمة F بسبب قرب التقاطعات المجاورة، وبعد ذلك تم تطبيق توسعة الحارات بإضافة مسارات جديدة، والغاء حركة الدوران لتسهيل الحركة، وتخفيف الضغط لكي يصبح هذا الحل الأفضل مما أدى الي تحسن كبير في مؤشرات التشغيل؛ حيث انخفضت درجة التشبع إلى 0.915، ومتوسط التأخير إلى 5.6 ثانية، وطول طابور 48.1 متر وارتفع مستوى الخدمة إلى A.
- تقاطع جامع الصحابة :سجل مؤشرات تشغيلية ضعيفة جدًا، بدرجة تشبع 1.825ومتوسط تأخير 82.8 ثانية، وطول طابور بلغ 1440.3متر ومستوي خدمة E بالإضافة إلى الحوادث المرورية الخفيفة عليه .بعد تحسينه من خلال تحويله إلى دوار رباعي الأذرع، انخفضت درجة التشبع إلى 0.826، ومتوسط التأخير إلى 9.2 ثانية، وطول الطابور إلى 54.3 متراً، مع ارتفاع مستوى الخدمة إلى .A وتحسن ايضا في السلامة المرورية.

- تقاطع العافية :أظهر تداخلًا في الحركة وغياب تنظيم الأولوية، حيث بلغت درجة التشبع 1.293ومتوسط التأخير 30.8ثانية، وطول الطابور 303.5متر، مستوي خدمة E. بعد إضافة إشارة ضوئية وتنظيم أولويات المرور، انخفضت درجة التشبع إلى 0.833، ومتوسط التأخير إلى 24ثانية، وطول الطابور إلى 222مترًا، وبلغ مستوى الخدمة C.

تُبرز هذه النتائج فعالية التدخلات الهندسية والتنظيمية في تحسين الأداء التشغيلي للتقاطعات، مما يعزز من انسيابية الحركة المرورية ويقلل من زمن التأخير ويرفع من مستوى الخدمة. وقد أثبت برنامج SIDRA جدواه في دعم القرارات التخطيطية المتعلقة بإدارة المرور داخل المدن المتوسطة مثل براك الشاطئ.

التوصيات:

استنادًا إلى نتائج التحليل والمقارنات بين السيناريوهات المختلفة، يمكن تقديم التوصيات التالية:

1. عدم الاعتماد على الحلول التقليدية مثل الإشارات المرورية دون دراسة شاملة للموقع المحيط، خصوصًا في المناطق التي تحتوي على تقاطعات متقاربة، وعند اللجوء إلى الإشارات المرورية، يجب التأكد من تناسق الإشارات مع حجم الحركة، وتوفير مساحات كافية للتخزين.
2. أولوية تنفيذ الحلول الهندسية الخفيفة مثل توسعة الأذرع، المسارات الالتفافية، أو الحركات الحرة، والتي أثبتت فعاليتها في تحسين الأداء دون تعقيد مروري.
3. اعتماد برنامج SIDRA Intersection كأداة تحليلية في تقييم أداء التقاطعات الحضرية في المدن الليبية.
4. تطبيق نظام مراقبة مرورية ذكي لمراقبة أداء التقاطعات بشكل لحظي خلال الذروة.
5. إجراء دراسات تحليل حركة السير المستقبلية بناءً على النمو المتوقع في عدد المركبات والسكان، لضمان استدامة الحلول.
6. عند تصميم دوارات جديدة، يُنصح بمراعاة عدد الأذرع، عرض المداخل، وحارات الدوران لتحقيق أداء أفضل.
7. دمج تقييم السلامة المرورية ضمن معايير التحليل وليس فقط التركيز على مؤشرات التأخير والتشبع.
8. ضرورة تحسين البنية التحتية حول التقاطعات، مثل: إزالة العوائق البصرية وصيانة الأرصفة وممرات المشاة ووضع لوحات مرورية ارشادية واضحة.

الدراسات المستقبلية:

على الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت هندسة النقل والمرور في المنطقة [58–65]، إلا أن هذا المجال لا يزال بحاجة إلى مزيد من الاهتمام البحثي المتعمق. ومن ثمّ، توصي هذه الدراسة بإجراء أبحاث مستقبلية تركز على توسيع نطاق التحليل ليشمل عددًا من المحاور الجوهرية، بما يسهم في تعزيز فهم التحديات المرورية وتحسين كفاءة أنظمة النقل على المستويين الحضري والإقليمي، يمكن التوصية بإجراء دراسات مستقبلية تتوسع في المحاور التالية:

1. إجراء دراسات على تقاطعات إضافية في مدينة براك الشاطئ والمناطق المجاورة لتكوين تصور شامل عن واقع النقل.
2. دمج برنامج SIDRA مع أدوات أخرى مثل VISSIM أو Synchro للحصول على تحليل ديناميكي أكثر دقة.
3. استخدام برامج محاكاة مرورية متقدمة مثل VISSIM أو AIMSUN لتحليل سلوكيات السائقين بدقة أكبر.
4. إجراء دراسة جدوى شاملة تربط بين التكلفة الاقتصادية لكل تحسين والفوائد المرورية المترتبة عليه، مع تحليل الأثر الاقتصادي والبيئي لهذه التحسينات، خاصة فيما يتعلق بتقليل استهلاك الوقود والانبعاثات.
5. إنشاء قاعدة بيانات مرورية محلية تساعد في تحديث التحليلات المستقبلية بسهولة.
6. تحليل تأثير المدارس والأسواق على أداء التقاطعات في أوقات محددة من اليوم.
7. تقييم أثر تركيب أنظمة إشارات ذكية (ITS) في تحسين الأداء المروري [67] .

المراجع:

[1] K. R. Al-Sheikh, "Causes and Effects of Traffic Congestion in Iraqi Cities," *Tikrit University Journal for Engineering Sciences*, vol. 27, no. 4, pp. 87–95, 2020.

[2] World Health Organization (WHO), *Global Status Report on Road Safety 2018*, Geneva, Switzerland, 2019.

[3] M. M. Joni and R. H. Hikmatt, "Traffic Management and Public Health in Congested Intersections," *Baghdad Journal of Transportation Research*, vol. 5, no. 2, pp. 75–82, 2020.

[4] H. A. Al-Mousawi, *Noise Pollution and Emissions in Urban Traffic Systems*, University of Kufa, Iraq, 2021.

[5] A. A. Aziz and B. H. Kareem, "Environmental and Economic Impacts of Traffic Delay at Urban Intersections," *Diyala Journal of Engineering Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 34–42, 2021.

[6] T. J. Rashid, *Safety Evaluation of Unsignalized Intersections in Urban Areas*, MSc Thesis, University of Babylon, Iraq, 2016.

[7] Y. S. Kareem and A. K. Hussein, "Capacity Analysis of Intersections in Al-Najaf City," *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, vol. 13, no. 3, pp. 41–49, 2020.

[8] A. F. Al-Bayati, "Urban Intersection Performance Under Mixed Traffic Conditions," *Journal of Engineering and Sustainable Development*, vol. 22, no. 2, pp. 23–30, 2018.

[9] H. M. Hasan and N. T. Hussein, "Factors Affecting Intersection Delay in Baghdad City," *Iraqi Journal of Civil Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 58–66, 2020.

[10] R. Akçelik, *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*, Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia, 2011.

[11] Federal Highway Administration (FHWA), *Roundabouts: An Informational Guide – Second Edition*, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., USA, 2010.

[12] M. Mahmoud and S. Yassin, "Operational Performance of Signalized Intersections in Erbil City," *Kurdistan Journal of Applied Research*, vol. 1, no. 2, pp. 22–30, 2016.

[13] A. M. Farhan and Z. H. Omar, "Driver Comfort and Delay at Urban Intersections in Mosul City," *Journal of Civil Engineering Research*, vol. 9, no. 1, pp. 12–20, 2019.

[14] A. A. Al-Marafi, N. A. Rahman, and R. Abdullah, "Parking Issues and Their Impact on Intersection Delays: A Case Study in Karbala," *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 11–18, 2019.

[15] Transportation Research Board (TRB), *Highway Capacity Manual (HCM 6th Edition)*, Washington, D.C., USA, 2016.

[16] A. R. Hameed, *Measuring Level of Service at Unsignalized Intersections in Basrah*, MSc Thesis, University of Basrah, Iraq, 2019.

[17] L. M. Sharif and T. A. Ibrahim, "Effect of Intersection Control Types on LOS and Delay," *Erbil Journal of Engineering Research*, vol. 6, no. 1, pp. 49–57, 2021.

[18] F. M. Ali and H. N. Saleh, "Subjective Indicators in Evaluating Urban Intersection Performance," *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, vol. 25, no. 3, pp. 64–72, 2018.

[19] S. M. Younis, *Delay and LOS Analysis at Urban Mid-Level Congested Intersections in Kirkuk City*, MSc Thesis, University of Kirkuk, Iraq, 2017.

[20] D. M. Rahim and H. S. Alwan, "Driver Behavior and Risk Factors at Congested Intersections in Mosul," *Journal of Traffic Safety Studies*, vol. 2, no. 1, pp. 23–31, 2020.

[21] K. A. Taher, *Impact of Delay-Induced Driver Aggression on Intersection Safety*, MSc Thesis, University of Baghdad, Iraq, 2021.

[22] M. J. Al-Khafaji, "Impact of Poor Road Planning on Urban Travel Time in Karbala City," *Karbala University Scientific Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 92–101, 2018.
[23] A. M. Noor and Y. M. Ibrahim, "Application of Microsimulation Models for Urban Traffic Solutions," *Journal of Urban Transport Planning*, vol. 9, no. 4, pp. 17–26, 2021.
[24] A. A. Ibrahim, *Methods for Estimating Delay at Signalized and Unsignalized Intersections*, MSc Thesis, University of Baghdad, Iraq, 2019.
[25] K. H. Yaseen, "LOS Estimation Techniques for Mixed Traffic Intersections in Iraq," *Journal of Civil Engineering Trends*, vol. 3, no. 1, pp. 33–41, 2020.
[26] Australian Road Research Board (ARRB), *SIDRA INTERSECTION User Guide*, Melbourne, Australia, 2015.
[27] F. Shukri et al., Effective solutions to the problem of traffic congestion and reducing delay time, Cairo: Engineering Publishing House, 2009.
[28] I. Greenwood and C. Bennett, *The Effects of Traffic Congestion on Fuel Consumption*, Auckland, New Zealand: Transit New Zealand, 1996.
[29] H. Mahmassani, N. M. Rouphail, and C. Y. Hsu, "Dynamic vehicle delay at intersections: Limitations of static network equilibrium models," *Transportation Research Record*, TRB, Washington, D.C., 1985.
[30] H. Al-Madani, Traffic Management at Roundabouts and its Impact on Queue Lengths, Bahrain: University of Bahrain, College of Engineering, 2003.
[31] V. P. Sisiopiku, "Evaluation of roundabout performance under various traffic conditions using SIDRA," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1751, no. 1, pp. 91–98, 2001.
[32] R. H. Al-Rubaee and I. T. Hameed, "Operational performance evaluation of Al-Husseiniya three-leg intersection in Karbala City using SIDRA," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 45–56, 2023.
[33] H. Hasan and H. Hussei, "Analysis of delay causes in urban intersections in Baghdad using SIDRA," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 101–110, 2020.
[34] A. Al-Omari and M. Ta'amneh, "Traffic performance analysis of major intersections in Irbid city using SIDRA," 2018.
[35] F. Joni and R. Hikmatt, "Operational assessment of an uncontrolled four-leg intersection in a congested Malaysian city," 2019.
[36] Gaza City Traffic Study Team, "Traffic evaluation and improvement of major intersections in Gaza City using SIDRA," *Palestinian Journal of Transportation Studies*, 2012.
[37] F. Shukri et al., "Comparison of Roundabouts and Intersections on Travel Time and Level of Service," 2010.
[38] A. A. Yasin et al., "Evaluation and Improvement of Elba House Road Intersection in Amman – Jordan," 2023.
[39] H. I. Shubber and K. H. Hassan, Improving Traffic Performance at Selected Intersections in Najaf City, Master's Thesis, Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Kufa, 2024.
[40] H. M. Fattalawi, Traffic Performance Evaluation of a Selected Area of the Transportation Network in Karbala City, Master's Thesis, Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Karbala, 2019.

[41] E. H. Al-Masri, "Evaluation and Improvement of Traffic Performance of Most Major Intersections in Gaza City Using the Sidra Program," Journal of the Islamic University for Natural Studies, Vol. 23, No. 2, pp. 1–13, 2015.

[42] A. M. Elfituri, "Evaluation of traffic signal installation at a main intersection in Bani Walid city using Synchro 8," *Libyan Journal of Engineering Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 55–64, 2016.

[43] Hassan, I., Al-Rabib, A., & Aref, E. (2025). Evaluation of The Performance of a Roundabout intersection in Surman City by Using Synchro 08 Program. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, pp. 112–118. https://www.researchgate.net/publication/383228152

[44] Fadil, S., & Abuhamoud, N. (2025). Intelligent Traffic Signal Control Network for Optimizing Traffic Flow. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, pp. 62–66. https://www.researchgate.net/ publication/383228187

[45] Fadel, M., & Abuhamoud, N. (2025). Machine Learning-Based Traffic Flow Prediction for Enhanced Traffic Management. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, pp. 54–61. https://www.researchgate.net/publication/383228201

[46] Dabi, I., & Abuhamoud, N. (2025). AI-Powered Traffic Signal Control Systems for Enhanced Traffic Flow and Reduced Waiting Time. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, pp. 35–39.
https://www.researchgate.net/publication/383228213

[47] Miskeen, M. B., Fakron, M., Alhodairi, A., Al-Sayed, M., & Entahmad, A. R. (2024). Study of Traffic Movement on The Main Road Passing Through (Wadi Al-shatti University-Al-Salam Roundabout Gate) Using Manual Counting and Moving Vehicle Counting Technique. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, pp. 16–30. https://www.researchgate.net/publication/383228238

[48] Al-Zaydani, M. A., & Miskeen, M. (2025). Evaluating and Improving the Performance of the Main Traffic Intersection in Brack AlShatti City (Roundabout) Using SIDRA Intersection Software. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 3(2), 251-262. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_31

[49] SIDRA Solutions, *SIDRA INTERSECTION v5: User Guide*, Sydney, Australia, 2023. [Online]. Available: https://www.sidrasolutions.com

[50] A. Al-Smadi, M. Al-Omari, and F. Al-Momani, "Operational performance evaluation of a congested urban intersection in Irbid city," *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 287–302, 2019.

[51] A. A. Al-Sultani, H. A. Al-Mayah, and M. H. Hussein, "Evaluation and improvement of urban intersection performance using SIDRA: A case study in Karbala city," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 13, no. 3, pp. 45–57, 2022.

[52] S. Ghimire, B. Thapa, and K. K. Shrestha, "Traffic performance improvement of an urban intersection in Kathmandu using geometric and operational measures," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 6, no. 5, pp. 467–475, 2019.

[53] H. Jasim and M. Al-Azzawi, "Impact of traffic signal installation on intersection performance: A case study in Basra city," *Iraqi Journal of Civil Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 25–38, 2020.

[54] A. M. Al-Masaeid, M. A. Al-Omari, and S. A. Al-Mashaqbeh, "Operational performance of medium-size roundabouts in urban areas: Case study of Irbid, Jordan," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 144, no. 5, pp. 1–10, 2018.

[55] J. Joseph, R. Kurian, and S. Nair, "Impact assessment of roundabout conversion on urban intersection performance in Kerala, India," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 233–242, 2020.

[56] A. S. Alharbi, M. A. Alqahtani, and H. S. Alshahrani, "Safety and operational effects of roundabout implementation in Taif city, Saudi Arabia," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, no. 9, pp. 4815–4825, 2018.

[57] Al-Suleiman and Al-Bitar, "Effect of Traffic Signal Installation on a Congested Intersection in Irbid, Jordan," 2016.

[58] Borhan, M. N., Ibrahim, A. N. H., & Miskeen, M. A. A. (2019). Extending the theory of planned behaviour to predict the intention to take the new high-speed rail for intercity travel in Libya: Assessment of the influence of novelty seeking, trust and external influence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *130*, 373-384.

[59] Borhan, M. N., Ibrahim, A. N. H., Miskeen, M. A. A., Rahmat, R. A. O., & Alhodairi, A. M. (2017). Predicting car drivers' intention to use low cost airlines for intercity travel in Libya. *Journal of Air Transport Management*, *65*, 88-98.

[60] Miskeen, M. B., Fakroun, M., Dow, H., Ishteewi, A., Elbasir, O., & Abuham, A. (2019). Using Importance-Satisfaction Analysis (ISA) To Identify the Most Critical Criteria to Improve Service Quality of Public Bus Transport in Libya. *Journal of Pure & Applieed Sciences*, *4*.

[61] Miskeen, M. A. A. B., Alhodairi, A. M., & Rahmat, R. A. A. B. O. (2013). Modeling a multinomial logit model of intercity travel mode choice behavior for all trips in Libya. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, *7*(9), 636-645.

[62] Miskeen, M. A. A. B., & Rahmat, R. A. A. B. O. (2011, August). Development of disaggregate mode choice models of intercity travel in Libya. In *2011 6th IEEE Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference* (Vol. 2, pp. 197-201). IEEE.

[63] Salem, H., Miskeen, M., & Salem, Y. (2025). Enhanced Performance of Asphalt Mixtures by Adding Recycled Rubber from Damaged Car Tires. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, 1-11.

[64] Alfakhri, A., Miskeen, M. B., Litewsh, F., & Tawer, A. (2022). Study the Affecting Delay Factors on Road Construction Projects in Libya. *The International Journal of Engineering & Information Technology (IJEIT)*, *10*(1), 74-86.

[65] Miskeen, M. A. A., Alhodairi, A. M., Borhan, M. N., & Rahmat, R. A. A. O. (2015). Assessing the Service Quality of Air Transport for Domestic Flights in Libya. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, *74*(1).

[66] Alhoudairi, T., & Alhodairi, A. (2025). Analyzing the Performance of Signalized Intersections Using the Method of the Highway Capacity Manual. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 67-74. https://doi.org/10.63318/

[67] Omar, M., & Abuhamoud, N. (2025). Leveraging 5G Networks to Enhance Communication Between Vehicles and Traffic Infrastructure for Optimized Traffic Management. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied* Sciences, 47-53. https://doi.org/10.63318/