

## Analyzing the Performance of Signalized Intersections Using the Method of the Highway Capacity Manual

Takwa Adel Alhoudairi<sup>1,\*</sup>, Ahmed Mohamed Alhoudairi<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering and Environmental, Faculty of Engineering, Sebha University, Sebha, Libya

### ARTICLE HISTORY

Conference date:  
23 November 2024  
Online 22 February 2025

### KEYWORDS

Highway Capacity Manual;  
Road intersections;  
Traffic performance;  
Traffic signals.

### ABSTRACT

Intersections are considered one of the most important components of road networks, and contribute directly to reducing travel distances between regions, but high traffic flow rates at intersections cause increased delay times and the possibility of traffic accidents, so traffic is controlled using one of the known means; priority signs - stop signs - traffic lights. This research paper focuses on intersections controlled by traffic lights. Intersections organized by traffic lights are the most widely used to control traffic in cities, and the analysis and design of the traffic light system depends on several factors. The operational performance of intersections is affected by road characteristics, traffic type, and surrounding conditions. The paper aims to analyze the traffic performance of intersections organized by traffic lights according to the analytical method followed by Highway Capacity Manual (HCM) then verify the results by applying them to a number of existing intersections; to provide a file that facilitates the process of analyzing any type of intersections equipped with traffic lights and with traffic lanes that are not completely separated. The method is to study the steps of analyzing intersections equipped with traffic lights approved by the American code HCM, and apply them to Microsoft Excel 2010 using the same equations and on the same worksheets specified in the code. This work results in providing an integrated system ready for direct use to analyze any type of intersections equipped with traffic lights on roads with non-fully separated lanes. It can be said that the program saves time, and makes it easier for the engineer in charge of projects to analyze the intersections he works on, which are similar to the intersections studied in this research, and thus obtain quick and accurate results.

### تحليل أداء التقاطعات المزودة بإشارات مرورية باستخدام نموذج دليل ساعات الطرق

تقوى عادل الحضبري<sup>1\*</sup>، أحمد محمد الحضبري<sup>1</sup>

### الكلمات المفتاحية

الأداء المروري  
الإشارات الضوئية  
تقاطعات الطرق  
دليل ساعات الطرق

### الملخص

تعتبر التقاطعات من أهم مكونات شبكات الطرق، وتساهم بشكل مباشر في تحقيق تقليل مسافات الرحلة بين المناطق، غير أن ارتفاع معدلات تدفق المرور عند التقاطعات يتسبب في زيادة أزمات التأخير واحتمال وقوع الحوادث المرورية، لذلك يتم ضبط المرور والتحكم فيه باستخدام إحدى الوسائل المعروفة؛ علامات إعطاء الأسبقية - علامات قف - إشارات ضوئية، يتركز الاهتمام في هذه الورقة البحثية على التقاطعات المضبوطة بإشارات ضوئية. إن التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية هي الأكثر استخداماً لضبط حركة المرور في المدن، ويعتمد تحليل وتصميم نظام الإشارة الضوئية على عدة عوامل ويتأثر الأداء التشغيلي للتقاطعات بخصائص الطريق ونوع المرور والظروف المحيطة. تهدف الورقة إلى تحليل الأداء المروري للتقاطعات المنظمة بإشارات مرورية وفق الطريقة التحليلية المتبعة من قبل Highway Capacity Manual HCM (HCM). ومن ثم التحقق من النتائج بتطبيقها على عدد من التقاطعات الموجودة؛ لتوفير ملف يسهل عملية تحليل أي نوع من التقاطعات المزودة بإشارات مرورية وذات الحارات المرورية غير المفصولة كلياً. تكمن الطريقة في دراسة خطوات تحليل التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية المعتمدة من الكود الأمريكي HCM، وتطبيقها على برنامج إكسيل Microsoft Excel 2010 باستخدام نفس المعادلات وعلى نفس ورقات العمل المحددة في الكود. ينتج عن هذا العمل توفير منظومة متكاملة جاهزة للاستخدام المباشر لتحليل أي نوع من التقاطعات المزودة بإشارات مرورية ضوئية على الطرق ذات الحارات غير المفصولة بالكامل. هذا ويمكن القول إن البرنامج يوفر الوقت والجهد، ويسهل على المهندس القائم على المشاريع تحليل التقاطعات التي يعمل عليها، والمساهمة للتقاطعات المدروسة في هذا البحث، وبالتالي الحصول على نتائج سريعة ودقيقة.

فتعتبر التقاطعات هي أهم منطقة في شبكات الطرق والمرور لأن زيادة زمن تأخير حركة المرور والحوادث غالباً ما تكون بسبب التقاطعات والتي بدورها تعرقل حركة المرور أو تكون نقطة حوادث بسبب سوء التصميم أو أن طاقتها الاستيعابية تكون أقل مما يمكنها من تحمل الجريان المروري الحالي [1]

### المقدمة

يشكل نمو حركة المرور على الشبكة الطرقية في المدن مصدر قلق كبير من وجهة نظر مهندسي المرور، ويشكل الازدحام على التقاطعات الجانب الأكثر أهمية؛ لأن أداء التقاطعات يؤثر على أداء وإنتاجية شبكة الطرق بأكملها،

عليه، كما أمكن تقييم القدرة التشغيلية للتقاطع والتأكد من مدى فاعليته في الوفاء بمتطلبات حركة المرور المستخدم له.

دراسة Alhodairi [8] وآخرون بعنوان حركة المرور في خمس تقاطعات على شارع جمال عبد الناصر بمدينة سبها، تناولت بالدراسة والتحليل حركة المرور في خمس من التقاطعات الواقعة على شارع جمال عبد الناصر نظراً لأهميتها كنقاط تربط العديد من الأنشطة الاقتصادية واستعمالات الأراضي المهمة في المدينة. تم في هذه الدراسة تحليل الخصائص الهندسية، خصائص تدفق المرور، ونمط التركيب المروري في جميع التقاطعات المذكورة. وقد أشارت نتائج الدراسة والتحليل إلى ضرورة الاهتمام بهذه التقاطعات في الجوانب الهندسية والتنظيمية بما يساعدها على القيام بدورها في تحقيق انسياب سلس لحركة المرور.

دراسة محمد [9] بعنوان استخدام تطبيقات الحاسوب والمحاكاة في التقييم المروري للتقاطعات بمدينة بني وليد، في هذه الدراسة تم تقييم حركة المرور في بعض التقاطعات بمدينة بني وليد بالاستعانة ببرنامج (Synchro8) الذي يعمل وفق دليل ساعات الطرق السريعة (HCM) في محاولة لتقديم طريقة سهلة والاستفادة منها في وضع الاستراتيجيات والحلول للحد من المشاكل المرورية ومحاولة التقليل من الازدحام والحوادث المرورية. وقد بينت الدراسة أن عملية المحاكاة هي أفضل الطرق لتقييم البدائل المقترحة لحل المختنقات في التقاطعات، والجدوى من تطبيقها قبل البدء في تنفيذها.

دراسة Leon [10] بعنوان Applying MATHCAD to the highway capacity manual، تهدف هذه الدراسة إلى تطوير أداة لفهم المنطق الأساسي لإجراءات دليل ساعة الطرق السريعة (HCM) في تحليل وتصميم التقاطعات المضبوطة وغير المضبوطة بإشارات مرور [3]. تسمح المستندات الديناميكية المطورة ببرنامج Mathcad للمستخدم بإدخال البيانات المطلوبة واستكشاف حساسية الإجراءات بسهولة وبالتالي الحصول على نتائج دقيقة.

اتفقت الدراسات السابقة على أهمية منهجية (HCM) في دراسة وتقييم التقاطعات المزودة بإشارات مرورية وما توفره من تسلسل إيجابي لمراحل التقييم، بينما اختلفت في أسلوب التناول وطريقة عرض النتائج، وهذا طبيعي بحكم أولويات كل طريقة والمعطيات المكانية المتاحة. ولعله من المفيد القول بأن بعض المعايير التي استخدمت في المنهجية المذكورة قد تحتاج المزيد من البحث والتمحيص بغية إيجاد معايير محلية أكثر ملاءمة.

### المواد وطرق العمل

تكمّن منهجية البحث في دراسة خطوات تحليل التقاطعات المزودة بإشارات مرورية بالطريقة المعتمدة في دليل ساعة الطرق السريعة HCM [6] وتطبيقها في ورقات إكسل (Microsoft Excel Sheets) مصممة لتحكي ورقات العمل الواردة في الدليل وهي 6 ورقات، ثم يتم تجريب البرنامج على بيانات التقاطع المبين في المثال الوارد في الدليل ثم يتم تطبيقه على بيانات تقاطع مأخوذ من البيئة المحيطة، حيث يتم إدخال البيانات في ورقة الإدخال (الأولى) لتظهر النتائج في باقي ورقات العمل المربوطة بها. يبين الشكل (1) المنهجية العامة لتحليل التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية وفقاً للدليل HCM

إن الحد من التصادمات وضمان حركة المرور بطريقة منظمة على التقاطعات يتطلب إدخال إشارات ضوئية ذات أزمينة ثابتة أو مرتبطة بالحركة، يتأثر أداء التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية بالزيادة الحاصلة في الحجم المرورية. يعد تقييم الأداء للتقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية أحد أهم المهام التي يجب القيام بها من أجل تحسين شبكات الطرق في المدن وإدارتها وتنمية قدرتها الاستيعابية في تصريف المرور عليها [2]. وتتأثر الخصائص الوظيفية للتقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية بمقاييس المركبة وتكوينها والحركات التي تقوم بها، والتصميم الهندسي للتقاطع وخصائص الإشارة [3].

يتم تحليل أداء التقاطعات المزودة بإشارات مرورية من خلال استخدام المعايير التي تميز جوانب الخدمة المقدمة لمستخدمي الطريق، وتشمل مقاييس الأداء كل من نسبة الغزارة على السعة  $V/C$  وغزارة الإشباع وأزمينة التأخير، ويوفر دليل ساعة الطرق السريعة (HCM) [4] طريقة لتحليل هذا النوع من التقاطعات [5].

نظراً لدقة عملية التحليل وصعوبة تكرارها بسهولة وسرعة لعدد كبير من التقاطعات والحاجة الكبيرة في بعض الأحيان لتحليل أعداد كبيرة من التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية لدراستها وتوفير طرق سريعة لعلاج مشكلاتها إن وجدت؛ فإنه تم في هذا البحث اقتراح منظومة تحليلية سريعة لهذا النوع من التقاطعات.

تهدف هذه الورقة إلى توفير ملف تحليلي للتقاطعات المزودة بإشارات ضوئية باستخدام برنامج ميكروسوفت إكسيل واعتماداً على الطريقة التحليلية المعتمدة في (HCM). وهي تعتبر مهمة لمهندسي المرور حيث تمكنهم من استخدام ملف إكسيل واحد جاهز لتحليل عدد كبير من التقاطعات المزودة بإشارات مرورية توفيراً للجهد والوقت ولضمان الحصول على نتائج صحيحة عند إدخال المدخلات.

الدراسات السابقة

توجد العديد من الدراسات حول موضوع التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية بشكل عام ومن الدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الورقة البحثية والتي تم الاستعانة بها -إضافة إلى دليل ساعات الطرق والمراجع العلمية الأخرى:

• دراسة عمر فضيل وآخرون [6]، بعنوان تصميم الموجات الخضراء على شارع جمال عبد الناصر بمدينة سبها، حيث تم في هذه الدراسة حصر المرور في عدد خمس تقاطعات على طول الشارع ومن ثم تصميم الإشارات الضوئية على أساس مستقل ومن بعد ذلك إجراء عملية التنسيق بين هذه الإشارات لضمان سريان مستقر على طول الشارع. لم يتم في هذه الدراسة أخذ حركة المشاة في الاعتبار. وقد أوصت الدراسة بضرورة استكمال الجوانب التي لم يتم مراعاتها مثل حركة المشاة وأزمينة التأخير.

• دراسة Alhodairi وآخرون [7] بعنوان دراسة بعض خصائص المرور في تقاطع الجزيرة بمدينة براك، تناولت بالدراسة والتحليل تقاطع الجزيرة بمدينة براك بوادي الشاطئ جنوب ليبيا الذي يعد محور الحركة الأساسي في منطقة وسط المدينة، والرابط بين جميع المدن والقرى الواقعة بوادي الشاطئ. حيث بالاستناد إلى النماذج الرياضية المبينة في دليل ساعة الطرق السريعة [4] تم حساب ساعة التقاطع وأزمينة التأخير

4. تحديد قيمة غزارة الاشباع المعدلة (S): تحديد قيمة غزارة الاشباع لكل حارة من مجموعة الحارات بافتراض أن الزمن الأخضر مستمر على طول فترة دورة الإشارة.
5. تحديد نسبة المركبات الواصلة أثناء الزمن الأخضر (P): زمن التأخير وحجم الرتل يتبعان بشكل كبير نسبة المركبات الواصلة أثناء الزمن الأخضر والعلامة الحمراء للإشارة الضوئية.
6. تحديد مدة طور الإشارة: تعتمد مدة طور الإشارة على نوع التحكم في التقاطع المدروس، إذا كان التقاطع يعمل بنظام التحكم الثابت يتم تجاوز هذه الخطوة.
7. تحديد السعة ونسبة حجم المرور إلى السعة: وهي تشمل نسبة الحجم إلى السعة لمجموعة الحارات ( $v/c$ )، نسبة الحجم إلى السعة للتقاطع، سعة مجموعة الحارات ( $C_{L,p}$ )، الانعطاف المسموح نحو اليسار من الحارة المفردة ( $C_{L,e}$ ) أو من الحارة المشتركة ( $C_{S,l}$ ).
8. تحديد متوسط زمن التأخير لكل مركبة (d): وهو يعبر عن الزمن الضائع أثناء توقف المركبات عند مدخل التقاطع، والزمن الضائع عند تقدم المركبات ضمن الرتل، والزمن الذي تحتاجه المركبات خلال حركة التسارع للوصول إلى السرعة المطلوبة.
9. إيجاد مستوى الخدمة (LOS): يتم إيجاد مستوى الخدمة لكل مجموعة حارات، ولكل مدخل من مداخل التقاطع، وللتقاطع ككل.

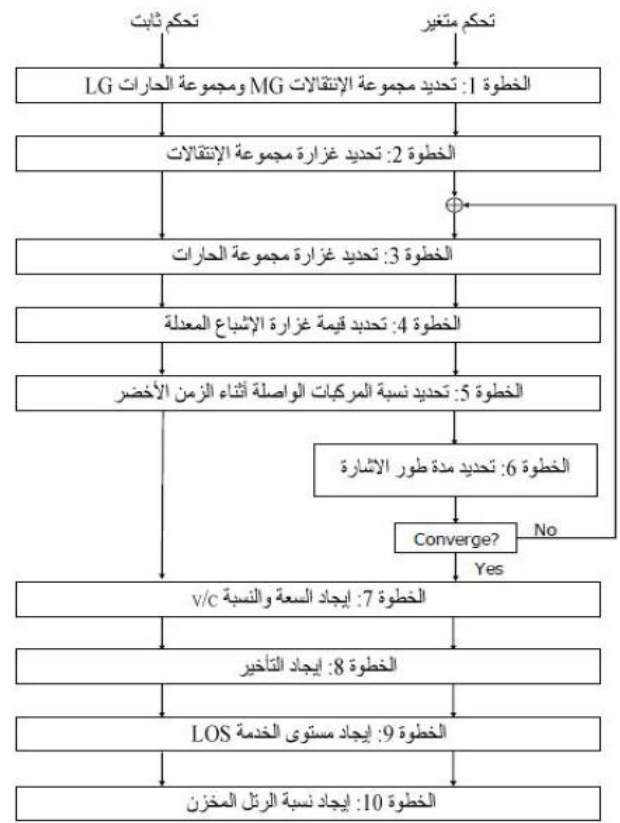
#### التحليل باستخدام برنامج إكسيل

تم استخدام برنامج إكسيل (Microsoft Excel 2010) لتحليل التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية في 6 ورقات عمل رئيسية؛ حيث أن الورقة الأولى مخصصة لمدخلات التحليل (معلومات التقاطع) والتي يفترض الحصول عليها قبل البدء في التحليل، وباقي الأوراق لنتائج التحليل والمعلومات التفصيلية. يتم ربط خلايا الورقة الأولى بباقي الأوراق باستخدام دوال إكسيل ومعادلات التحليل اللازمة لتظهر نتائج التحليل تلقائياً في جميع الأوراق عند إدخال البيانات في الورقة الأولى.

تم استخدام أوامر مختلفة تتنوع بين الجمع والطرح والضرب والقسمة والجدور التربيعية والأسس وكذلك دوال مثل الدالة If و min و max وغيرها وفق الاحتياج للتحليل.

#### ورقات العمل المستخدمة وفق الترتيب هي:

1. Input Worksheet وهي ورقة المدخلات من البيانات الرئيسية ومتضمنة الحقائق والافتراضات للتحليل.
2. Volume Adjustment and Saturation Flow Rate Worksheet. وهي ورقة توضح النتائج التحليلية للحجم ونسبة تدفق التشبع.
3. Capacity and LOS Worksheet. وهي ورقة توضح نتائج السعة ومستوى الخدمة للتقاطع.
4. SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY MULTILANE APPROACH. وهي ورقة تحليل تكميلية للالتفاف نحو اليسار المسموح به في الطريق متعدد المسارات.
5. SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY SINGLE-LANE APPROACH. وهي ورقة تحليل تكميلية للالتفاف نحو اليسار المسموح به في الطريق ذو المسار الواحد.



الشكل 1: منهجية HCM في تحليل التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية

1. تحديد مجموعة الانتقالات (MG) ومجموعة الحارات (LG)، وهو وصف لأسلوب عمل التقاطع المرتبط بحارات الانعطاف. يبين الشكل (2) الأشكال القياسية لمجموعات الانتقالات ومجموعات الحارات.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:

الشكل 2: الأشكال القياسية لمجموعات الانتقالات ومجموعات الحارات

2. تحديد غزارة مجموعة الانتقالات: تحديد غزارة كل مجموعة من مجموعات الانتقالات. ويجب طرح قيمة غزارة الانعطاف نحو اليمين أثناء الزمن الأحمر سواء أكانت من حارة مخصصة للانعطاف نحو اليمين أم من حارة مشتركة.
3. تحديد غزارة مجموعة الحارات: في هذه المرحلة نقوم بتحديد غزارة كل مجموعة من مجموعات الحارات، في حال عدم وجود حارة مشتركة في مدخل التقاطع أو أن المدخل يتألف من حارة واحدة فقط فإن مجموعة الحارات مطابقة لمجموعة الانتقالات وبالتالي فإن قيمة غزارة مجموعة الحارات تساوي قيمة غزارة مجموعة الانتقالات.

اكسيل، كما في الشكل (4)، تظهر لدينا نتائج التحليل في باقي ورقات العمل بالبرنامج، كما هي مبينة في الشكل (5) والشكل (6) والشكل (7) والشكل (8) والشكل (9). وعند مقارنة هذه النتائج بالنتائج الموجودة في دليل ساعات الطرق HCM نجد أن متطابقة كبير وقد يكون الفرق ناتج عن تقريب الأعداد في المثال. وهذا يعطينا مؤشر بأن البرنامج المقترح في هذه الورقة يعمل بشكل جيد وأنه أصبح جاهزاً للتطبيق في تحليل التقاطعات المشابهة.

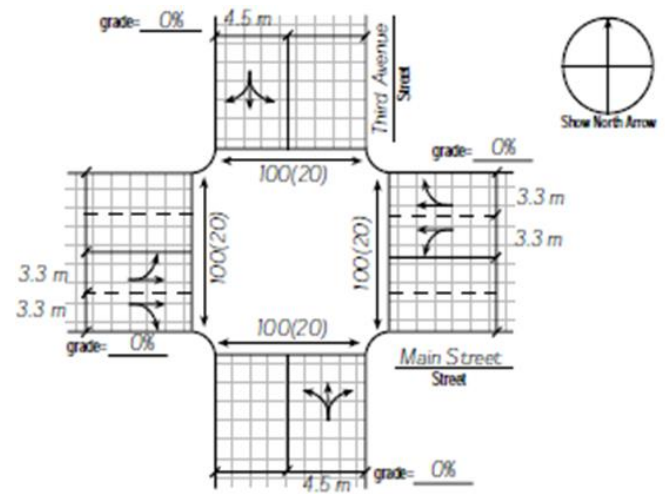
6. SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PEDESTRIAN-BICYCLE EFFECTS ON PERMITTED LEFT TURNS AND RIGHT TURNS.

وهي ورقة تحليل تكميلية لتأثيرات دراجات المشاة على الالتفاف لليمين واليسار المسموح به.

النتائج

1. تطبيق برنامج التحليل على مثال دليل ساعات الطرق HCM:

أ. بيانات التقاطع الرئيسية: يوضح الشكل (3) مثال لتقاطع يتكون من الطريق الرئيسي EB/WB والطريق الفرعي NB/SB، وهو يقع في منطقة الأعمال المركزية CBD بمنطقة حضرية صغيرة. يتضمن الشكل أيضاً أبعاد التقاطع وفروعه الأربعة، واتجاهات الحركة ونسبة الميول الطولية [4].



الشكل 3: شكل تقاطع المثال الأول في دليل ساعات الطرق

الحقائق المرتبطة بالتقاطع:

EB and WB HV = 5 percent	Third Avenue has two lanes, one in each direction
NB and SB HV = 8 percent	Main Street has four lanes, two in each direction
PHF = 0.90	No parking at intersection
Two-phase signal	Pedestrian volume = 100 p/h, all approaches
NB-SB green = 36 s	Bicycle volume = 20 bicycles/h, all approaches
EB-WB green = 26 s	Movement lost time = 4 s
Yellow = 4 s	Level terrain

الافتراضات:

- عرض ممر المشاة = 3 م لكل الطرق.
- معدل تدفق التشبع الأساسي = 1900 وحدة/الساعة/الممر.
- معامل الشاحنات ET=2.
- نفرض عدم وجود حافلات.
- طول دورة الإشارة 70 ثانية.

ب. تحليل تقاطع المثال باستخدام برنامج اكسيل: بعد إدخال البيانات الرئيسية متضمنة الحقائق والافتراضات في ورقة العمل الأولى في برنامج

Signalized Intersections Input Worksheet											
<b>General Information</b>			<b>Site Information</b>								
Analyst:			Intersection:								
Agency or Company:			Area Type:								
Date Performed:			Jurisdiction:								
Analysis Time Period:			Analysis Year:								
Project Description:	Example										
<b>Intersection Geometry</b>											
Number of lanes	EB	WB	NB	SB							
Width of each lane (ft)	11	11	15	15							
Number of shared Right-turn lanes	1	1	1	1							
Number of shared Left-turn lanes	1	1	1	1							
Number of exclusive Right-turn lanes	0	0	0	0							
Exclusive Right-turn lane width (ft)	0	0	0	0							
Number of exclusive Left-turn lanes	0	0	0	0							
Exclusive Left-turn lane width (ft)	0	0	0	0							
Grade (%)	0	0	0	0							
<b>Volume and Timing Input</b>											
Volume, V (veh/h)	EB	WB	NB	SB							
% heavy vehicles, %HV	5	5	5	5							
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.90							
Prestimed (1) or actuated (2)	1	1	1	1							
Start-up time, t (s)	0	0	0	0							
Extension of effective green time, e (s)	0	0	0	0							
Arrival Types, AT	0	0	0	0							
Approach pedestrian volume, Vped (p/h)	100	100	100	100							
Approach bicycle volume, Vbicy (bicycles/h)	20	20	20	20							
Parking, Yes(1) or No(2)	0	0	0	0							
Parking maneuvers, Nm (maneuvers/h)	0	0	0	0							
Bus stopping, Nb (buses/h)	0	0	0	0							
<b>Lane Group and Signal Phases</b>											
Group Number	EB	WB	NB	SB							
Phase Number	1	2	3	4							
<b>Signal Phasing Plan</b>											
Phase Number	1	2	3	4							
Timing	26	36	0	0							
Unit extension	0	0	0	0							
Cycle length	70										
Min. timing for pedestrians, Gp (s)	11.2	11.2	14.7	14.7							
<b>Additional Information</b>											
Base saturation flow rate (pc/h/ln)	1900	1900	1900	1900							
Passenger-car equivalent (pc/HV)	1.0	1.0	1.0	1.0							
<b>Lane Utilization Adjustment Factor</b>											
Lane utilization factor	0.95	0.95	1.0	1.0							
<b>Control Delay</b>											
Duration of analysis period (h)	1	1	1	1							
Upstream filtering metering adjustment factor (k)	1	1	1	1							

الشكل 4: ورقة العمل الأولى لتقاطع المثال

Volume Adjustment and Saturation Flow Rate Worksheet											
<b>General Information</b>											
Project Description:	Example										
<b>Volume Adjustment</b>											
Volume, V (veh/h)	EB	WB	NB	SB							
Peak-hour factor, PHF	0.90	0.90	0.90	0.90							
Adjusted flow rate, v <sub>p</sub> /PHF (veh/h)	72.22	688.89	38.89	33.33							
Lane group	EB	WB	NB	SB							
Adjusted flow rate in lane group, v <sub>l</sub> (veh/h)	0.00	800.00	0.00	0.00							
Proportion of LT or RT (PLT or PRT)	0.09	0.00	0.05	0.04							
<b>Saturation Flow Rate</b>											
Base saturation flow, S <sub>0</sub> (pc/h/ln)	1900	1900	1900	1900							
Number of lanes, N	2	2	4	4							
Lane width adjustment factor, f <sub>w</sub>	0.97	0.97	0.97	0.97							
Heavy-vehicle adjustment factor, f <sub>HV</sub>	0.95	0.95	0.95	0.95							
Grade adjustment factor, f <sub>g</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00							
Parking adjustment factor, f <sub>p</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00							
Bus blockage adjustment factor, f <sub>bb</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00							
At-grade type adjustment factor, f <sub>a</sub>	0.90	0.90	0.90	0.90							
Lane utilization adjustment factor, f <sub>LU</sub>	0.95	0.95	0.95	0.95							
Left-turn adjustment factor, f <sub>LT</sub>	0.71	0.71	0.71	0.71							
Right-turn adjustment factor, f <sub>RT</sub>	0.99	0.99	0.99	0.99							
Left-turn ped/bike adjustment factor, f <sub>ltpb</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00							
Right-turn ped/bike adjustment factor, f <sub>rtpb</sub>	0.99	0.99	0.99	0.99							
Adjusted saturation flow, S <sub>a</sub> (veh/h)	2111.09	2111.09	2111.09	2111.09							
S <sub>a</sub> = S <sub>0</sub> * N * f <sub>w</sub> * f <sub>HV</sub> * f <sub>g</sub> * f <sub>p</sub> * f <sub>bb</sub> * f <sub>a</sub> * f <sub>LU</sub> * f <sub>LT</sub> * f <sub>RT</sub> * f <sub>ltpb</sub> * f <sub>rtpb</sub>	2111.09	2111.09	2111.09	2111.09							

الشكل 5: ورقة العمل الثانية لتقاطع المثال



SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY SINGLE-LANE APPROACH				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Example			
<b>Input</b>				
Cycle length, C (s)	70.00			
Total Actual green time for LT lane group, G (s)	0.00	0.00	36.00	36.00
Effective permitted green time for LT lane group, g(s)	0.00	0.00	36.00	36.00
Opposing effective green time, g0 (s)	0.00	0.00	36.00	36.00
Number of lanes in LT lane group, N	0.00	0.00	1.00	1.00
Adjusted LT flow rate, vLT (veh/h)	0.00	0.00	33.33	44.44
Proportion of LT volume in LT lane group, PLT	0.00	0.00	0.07	0.07
Proportion of LT volume in opposing flow, PLTO	0.00	0.00	0.07	0.07
Adjusted flow rate for opposing approach, v0 (veh/h)	0.00	0.00	666.67	466.67
Lost time for LT lane group, tL	0.00	0.00	4.00	4.00
<b>Computation</b>				
LT volume per cycle, LTC	0.00	0.00	0.65	0.86
Opposing flow per lane, per cycle, volc (veh/C/n)	0.00	0.00	12.96	9.07
Opposing platoon ratio, Rpo	0.00	0.00	1.00	1.00
gf	0.00	0.00	14.71	12.43
Opposing queue ratio, qro	0.00	0.00	0.49	0.49
gq	0.00	0.00	12.19	8.33
gu	0.00	0.00	21.29	23.57
n	0.00	0.00	0.00	0.00
PTHo	0.00	0.00	0.93	0.93
Opposing lane utilization factor, fLUo	0.00	0.00	1.00	1.00
voe	0.00	0.00	666.67	466.67
Slt	0.00	0.00	512.44	589.22
EL1	0.00	0.00	2.71	2.22
EL2	0.00	0.00	1.00	1.00
fmin	0.00	0.00	0.06	0.06
gdiff	0.00	0.00	0.00	0.00
fLT = fm	0.00	0.00	0.94	0.95

الشكل 8: ورقة العمل الخامسة لتقاطع المثال

Capacity and LOS Worksheet												
<b>General Information</b>												
Project Description:	Example											
<b>Capacity Analysis</b>												
Phase number	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Phase type	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Lane group	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Adjusted flow rate, v (veh/h)	0.00	800.00	0.00	0.00	833.33	0.00	0.00	466.67	0.00	0.00	666.67	0.00
Saturation flow rate, s (veh/h)	0.00	2111.09	0.00	0.00	2683.81	0.00	0.00	1622.75	0.00	0.00	1625.35	0.00
Y	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00
Lost time, tL (s), tL=I+V+e	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00
G	0.00	26.00	0.00	0.00	26.00	0.00	0.00	36.00	0.00	0.00	36.00	0.00
Effective green time, g (s), g=GY-tL	0.00	26.00	0.00	0.00	26.00	0.00	0.00	36.00	0.00	0.00	36.00	0.00
Green ratio, g/C	0.00	0.37	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.51	0.00
Lane group capacity, c=(g/C), (veh/h)	0.00	784.12	0.00	0.00	996.84	0.00	0.00	834.56	0.00	0.00	841.04	0.00
v/c ratio, X	0.00	1.02	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.79	0.00
Flow ratio, v/s	0.00	0.38	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.48	0.00
Critical lane group/phase (N)	0.00	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Y	0.00
Sum of flow ratios for critical lane groups, Yc												
Ycv (critical lane groups, v/s)	0.79											
Total lost time per cycle, L (s)	8.00											
Critical flow ratio to capacity ratio, Xc												
Xc= (Yc) / (C-I)-L	0.89											
<b>Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination</b>												
Platoon Ratio, Rp	0.00	1.33	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
RPA	0.00	1.15	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P	0.00	0.50	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.51	0.00
Lane group	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Adjusted flow rate, v (veh/h)	0.00	800.00	0.00	0.00	833.33	0.00	0.00	466.67	0.00	0.00	666.67	0.00
Lane group capacity, c (veh/h)	0.00	784.12	0.00	0.00	996.84	0.00	0.00	834.56	0.00	0.00	841.04	0.00
v/c ratio, X=v/c	0.00	1.02	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.79	0.00
Total green ratio, g/C	0.00	0.37	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.51	0.00
Uniform delay, d1 (s/veh)	0.00	22.00	0.00	0.00	20.06	0.00	0.00	11.99	0.00	0.00	13.94	0.00
Incremental delay calibration, k	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00
Incremental delay, d2	0.00	37.34	0.00	0.00	8.28	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00	7.57	0.00
Initial queue delay, d3 (s/veh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uniform delay, d1 (s/veh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Progression adjustment factor, PF	0.00	0.92	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Delay, d=d1(PF)+d2+d3 (s/veh)	0.00	57.66	0.00	0.00	30.60	0.00	0.00	14.29	0.00	0.00	21.53	0.00
LOS by lane group	0.00	E	0.00	0.00	C	0.00	0.00	B	0.00	0.00	C	0.00
Delay by approach, dA (s/veh)	30.60											
LOS by approach	E											
Approach flow rate, vA (veh/h)	800.00	C		B		C		C		C		666.67
Intersection delay, dI (s/veh)	33.48											
Intersection LOS	C											

الشكل 6: ورقة العمل الثالثة لتقاطع المثال

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PEDESTRIAN-BICYCLE EFFECTS ON PERMITTED LEFT TURNS AND RIGHT TURNS				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Example			
<b>Permitted Left Turns</b>				
Effective pedestrian green time, gp (s)	26.00	26.00	36.00	36.00
Conflicting pedestrian volume, Vped (p/h)	100.00	100.00	100.00	100.00
Vpedg	269.23	269.23	194.44	194.44
OCCpedg	0.13	0.13	0.10	0.10
Opposing queue clearing green, gq (s)	11.32	8.01	12.19	8.33
Effective pedestrian green consumed by opposing vehicle queue	0.44	0.31	0.34	0.23
OCCpedu	0.11	0.11	0.08	0.09
Opposing flow rate, v0 (veh/h)	833.33	800.00	666.67	466.67
OCCr	0.03	0.04	0.03	0.04
Number of cross-street receiving lanes, Nrec	1.00	1.00	2.00	2.00
Number of turning lanes, Nturn	1.00	1.00	1.00	1.00
Apbt	0.97	0.96	0.98	0.97
Proportion of left turns, PLT	0.09	0.04	0.07	0.07
Proportion of left turns using protected phase, PLTA	0.00	0.00	0.00	0.00
fLpb	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Permitted Right Turns</b>				
Effective pedestrian green time, gp (s)	26.00	26.00	36.00	36.00
Conflicting pedestrian volume, Vped (p/h)	100.00	100.00	100.00	100.00
Conflicting bicycle volume, Vbic (bicycles/h)	20.00	20.00	20.00	20.00
Vpedg	269.23	269.23	194.44	194.44
OCCpedg	0.13	0.13	0.10	0.10
Effective green, g (s)	26.00	26.00	36.00	36.00
Vbig	53.85	53.85	38.89	38.89
OCCbig	0.04	0.04	0.03	0.03
OCCr	0.17	0.17	0.13	0.13
Number of cross-street receiving lanes, Nrec	1.00	1.00	2.00	2.00
Number of turning lanes, Nturn	1.00	1.00	1.00	1.00
Apbt	0.83	0.83	0.92	0.92
Proportion of right turns, PRT	0.05	0.03	0.05	0.08
Proportion of right turns using protected phase, PRTA	0.00	0.00	0.00	0.00
fRpb	0.99	1.00	1.00	0.99

الشكل 9: ورقة العمل السادسة لتقاطع المثال

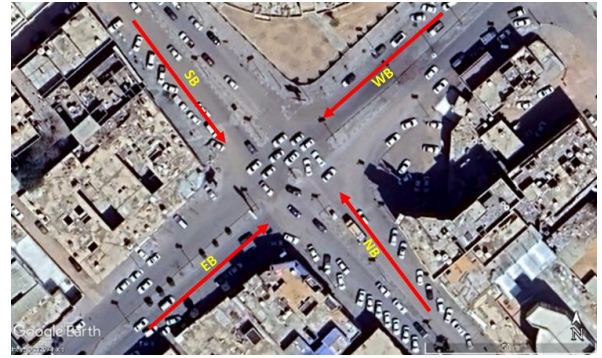
SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY MULTILANE APPROACH				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Example			
<b>Input</b>				
Cycle length, C (s)	70.00			
Total Actual green time for LT lane group, G (s)	26.00	26.00	0.00	0.00
Effective permitted green time for LT lane group, g(s)	26.00	26.00	0.00	0.00
Opposing effective green time, g0 (s)	26.00	26.00	0.00	0.00
Number of lanes in LT lane group, N	2.00	2.00	0.00	0.00
Number of lanes in opposing approach, NO	2.00	2.00	0.00	0.00
Adjusted LT flow rate, vLT (veh/h)	72.22	33.33	0.00	0.00
Proportion of LT volume in LT lane group, PLT	0.09	0.04	0.00	0.00
Adjusted flow rate for opposing approach, v0 (veh/h)	833.33	800.00	0.00	0.00
Lost time for LT lane group, tL	4.00	4.00	0.00	0.00
<b>Computation</b>				
LT volume per cycle, LTC	1.40	0.65	0.00	0.00
Opposing lane utilization factor, fLUo	0.95	0.95	0.00	0.00
Opposing flow per lane, per cycle, volc (veh/C/n)	8.53	8.19	0.00	0.00
gf	4.44	9.62	0.00	0.00
Opposing platoon ratio, Rpo	0.67	1.33	0.00	0.00
Opposing queue ratio, qro	0.75	0.50	0.00	0.00
gq	11.32	8.01	0.00	0.00
gu	14.68	16.38	0.00	0.00
voe	877.19	842.11	0.00	0.00
Slt	439.99	451.49	0.00	0.00
EL1	3.32	3.21	0.00	0.00
PL	0.27	0.09	0.00	0.00
fmin	0.10	0.08	0.00	0.00
fm	0.52	0.89	0.00	0.00
fLT	0.71	0.90	0.00	0.00

الشكل 7: ورقة العمل الرابعة لتقاطع المثال

2. تطبيق التحليل على أحد التقاطعات بمدينة سبها - ليبيا:

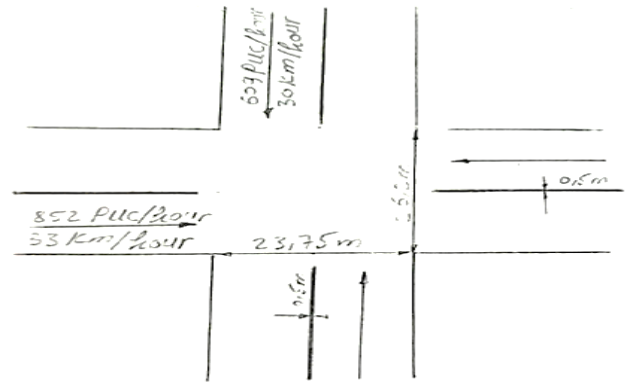
أ. بيانات التقاطع الرئيسية: يبين الشكل (10) تقاطع شارع جمال عبد الناصر مع شارع السوق المحلي، وهو يعد من أهم التقاطعات التي تعاني بازدحام مروري في فترات الذروة الصباحية والمسائية. لأغراض الدراسة تم تمييز فرعي شارع جمال عبد الناصر الداخلي للتقاطع بالرمز (EB/WB) وأما فرعي شارع السوق المحلي الداخلي للتقاطع فقد تم تمييزهما بالرمز (NB/SB).

ب. تحليل تقاطع السوق المحلي باستخدام برنامج اكسيل: بعد إدخال بيانات التقاطع متضمنة الحقائق والافتراضات في ورقة العمل الأولى المبينة في الشكل (12)، تظهر لدينا نتائج التحليل في باقي ورقات العمل المبينة في الشكل (13) والشكل (14) والشكل (15) والشكل (16) والشكل (20).



الشكل 10: تقاطع شارع جمال عبدالناصر بطريق السوق المحلي

يبين الشكل (11) أبعاد فروع التقاطع وأحجام المرور وسرعة السير عليه [6]، علماً بأن التقاطع تتوفر به إشارة إلا أنها متهاكة وتحتاج إلى تغيير شامل واستبدالها بإشارة مرور حديثة.



الشكل 11: شكل تقاطع السوق المحلي- سبها

**الحقائق المرتبطة بالتقاطع:**

- EB and WB HV = 2** All Avenue has two lanes percent
- NB and SB HV = 2** All Streets has four lanes, two in each direction percent
- PHF = 0.888** No parking at intersection
- Two-phase signal** Pedestrian volume = 100 p/h, all approaches
- NB-SB green = 29.29 s** Bicycle volume = 20 bicycles/h, all approaches
- EB-WB green = 35.07 s** Movement lost time = 4 s
- Yellow = 5.03 s, 5.61 s** Level terrain

**الافتراضات:**

- عرض ممر المشاة = 3 م لكل الطرق.
- معدل تدفق التشبع الأساسي = 1900 وحدة/الساعة/الممر.
- تفرض ET=2.
- تفرض عدم وجود حافلات.
- زمن دورة الإشارة 70 ثانية.
- نمط الوصول للتقاطع عشوائي AT3.

Signalized Intersections											
Input Worksheet						Site Information					
<b>General Information</b>						<b>Site Information</b>					
Analyst:						Intersection:					
Agency or Company:						Area Type:					
Date Performed:						Jurisdiction:					
Analyst Time Period:						Analysis Year:					
Project Description:						Sebha-Libya					
<b>Intersection Geometry</b>											
EB			WB			NB			SB		
Number of lanes			2			2			2		
Width of each lane (ft)			85.96			77.92			77.92		
Number of shared Right-turn lanes			1			1			1		
Number of shared Left-turn lanes			1			1			1		
Number of exclusive Right-turn lanes			0			0			0		
Exclusive Right-turn lane width (ft)			0			0			0		
Number of exclusive Left-turn lanes			0			0			0		
Exclusive Left-turn lane width (ft)			0			0			0		
Grade (%)			0			0			0		
EW			NS								
Crosswalk length (ft)			44			30					
Effective crosswalk width (ft)			30			30					
<b>Volume and Timing Input</b>											
EB			WB			NB			SB		
Volume, V (veh/h)			852			852			609		
% heavy vehicles, %HV			0			0			0		
Peak-hour factor, PHF			0.888			0.888			0.888		
Prestimed (1) or actuated (2)			1			1			1		
Start-up time, t2 (s)			0			0			0		
Extension of effective green time, e (s)			0			0			0		
Arrival Type, AT			3			3			3		
Approach pedestrian volume, Vped (p/h)			100			100			100		
Approach bicycle volume, Vbicy (bicycles/h)			20			20			20		
Parking, Yes(1) or No(2)			2			2			2		
parking maneuvers, Nm (maneuvers/h)			0			0			0		
Bus stopping, NB (buses/h)			0			0			0		
<b>Lane Group and Signal Phases</b>											
EB			WB			NB			SB		
Group Number			1			2			3		
Phase Number			1			2			3		
<b>Signal Phasing Plan</b>											
Phase Number											
Timing											
G=			35.07			29.29			0		
Y=			5.03			5.61			0		
Unit extension											
Cycle length											
C= 75											
Min. timing for pedestrians, Gp (s)											
EB			WB			NB			SB		
11.3			11.3			14.7			14.7		
<b>Additional Information</b>											
Base saturation flow rate, s0 (pcu/h/lane)			1900			1900			1900		
Passenger-car equivalent, pc/HV			1			1			1		
<b>Lane Utilization Adjustment Factor</b>											
Lane utilization factor			0.95			0.95			1		
<b>Control Delay</b>											
Duration of analysis period (h)			1			1			1		
Upstream filtering metering adjustment factor, I=			1			1			1		

الشكل 12: ورقة العمل الأولى لتقاطع السوق المحلي

Volume Adjustment and Saturation Flow Rate Worksheet											
<b>General Information</b>											
Project Description: Sebha-Libya											
<b>Volume Adjustment</b>											
EB			WB			NB			SB		
Volume, V (veh/h)			852.00			852.00			609.00		
Peak-hour factor, PHF			0.888			0.888			0.888		
Adjusted flow rate, vp=V/PHF (veh/h)			959.46			959.46			685.81		
Lane group			2.00			2.00			2.00		
Adjusted flow rate in lane group, v (veh/h)			959.46			959.46			685.81		
Proportion of LT or RT (PLT or PRT)			0.00			0.00			0.00		
<b>Saturation Flow Rate</b>											
Base saturation flow, s0 (pcu/h/lane)			1900.00			1900.00			1900.00		
Number of lanes, N			2.00			2.00			2.00		
Lane width adjustment factor, fw			0.67			3.51			3.24		
Heavy-vehicle adjustment factor, fhv			0.98			0.98			0.98		
Grade adjustment factor, fg			1.00			1.00			1.00		
Parking adjustment factor, fp			1.00			1.00			1.00		
Bus blockage adjustment factor, fbb			1.00			1.00			1.00		
Area type adjustment factor, fa			1.00			1.00			1.00		
Lane utilization adjustment factor, flU			0.95			0.95			1.00		
Left-turn adjustment factor, flT			0.96			0.96			0.96		
Right-turn adjustment factor, flRT			1.00			1.00			1.00		
Left-turn ped/bike adjustment factor, flpb			1.00			1.00			1.00		
Right-turn ped/bike adjustment factor, flRpb			1.00			1.00			1.00		
Adjusted saturation flow, s (veh/h)			11867.61			11867.61			11523.46		
s= s0.N.fw.fhv.fg.fbb.falU.flT.flRT.flpb.flRpb			11867.61			11867.61			11523.46		

الشكل 13: ورقة العمل الثانية لتقاطع السوق المحلي

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY SINGLE-LANE APPROACH				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Sebha-Libya			
<b>Input</b>				
	EB	WB	NB	SB
Cycle length, C (s)	75.00			
Total Actual green time for LT lane group, G (s)	0.00	0.00	0.00	0.00
Effective permitted green time for LT lane group, g(s)	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing effective green time, g0 (s)	0.00	0.00	0.00	0.00
Number of lanes in LT lane group, N	0.00	0.00	0.00	0.00
Adjusted LT flow rate, vLT (veh/h)	0.00	0.00	0.00	0.00
Proportion of LT volume in LT lane group, PLT	0.00	0.00	0.00	0.00
Proportion of LT volume in opposing flow, PLTo	0.00	0.00	0.00	0.00
Adjusted flow rate for opposing approach, v0 (veh/h)	0.00	0.00	0.00	0.00
Lost time for LT lane group, tL	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Computation</b>				
LT volume per cycle, LTC	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing flow per lane, per cycle, volc (veh/C/n)	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing platoon ratio, Rpo	0.00	0.00	0.00	0.00
gf	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing queue ratio, qro	0.00	0.00	0.00	0.00
gq	0.00	0.00	0.00	0.00
gu	0.00	0.00	0.00	0.00
n	0.00	0.00	0.00	0.00
PTHo	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing lane utilization factor, fLUo	0.00	0.00	0.00	0.00
voe	0.00	0.00	0.00	0.00
SlT	0.00	0.00	0.00	0.00
EL1	0.00	0.00	0.00	0.00
EL2	0.00	0.00	0.00	0.00
fmin	0.00	0.00	0.00	0.00
gdiff	0.00	0.00	0.00	0.00
fLT = fm	0.00	0.00	0.00	0.00

الشكل 16: ورقة العمل الخامسة لتقاطع السوق المحلي

Capacity and LOS Worksheet											
<b>General Information</b>											
Project Description:	Sebha-Libya										
<b>Capacity Analysis</b>											
Phase number	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00
Phase type	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
Lane group	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00
Adjusted flow rate, v (veh/h)	0.00	959.46	0.00	0.00	959.46	0.00	0.00	685.81	0.00	0.00	685.81
Saturation flow rate, s (veh/h)	0.00	11867.61	0.00	0.00	11867.61	0.00	0.00	11523.46	0.00	0.00	11523.46
Y	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61
Lost time, tL (s), tL=1+Y+e	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61	0.00	0.00	5.61
G	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29
Effective green time, g (s), g=G+Y-tL	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29	0.00	0.00	29.29
Green ratio, g/C	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39
Lane group capacity, c=s(g/C), (veh/h)	0.00	4634.70	0.00	0.00	4634.70	0.00	0.00	4500.30	0.00	0.00	4500.30
v/c ratio, X	0.00	0.21	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.15
Flow ratio, v/s	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
Critical lane group/phase (v)	0.00	v	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	v
Sum of flow ratios for critical lane groups, Yc											
Yc= (critical lane groups, v/s)	0.14										
Total lost time per cycle, L (s)	11.22										
Critical flow rate to capacity ratio, Xc											
Xc= (Yc) C / (C-L)	0.17										
<b>Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination</b>											
	EB	WB	NB	SB							
Platoon Ratio, Rp	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
fPA	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
P	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39
Lane group	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00
Adjusted flow rate, v (veh/h)	0.00	959.46	0.00	0.00	959.46	0.00	0.00	685.81	0.00	0.00	685.81
Lane group capacity, c (veh/h)	0.00	4634.70	0.00	0.00	4634.70	0.00	0.00	4500.30	0.00	0.00	4500.30
v/c ratio, X=v/c	0.00	0.21	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.15
Total green ratio, g/c	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.39
Uniform delay, d1 (s/veh)	0.00	15.15	0.00	0.00	15.15	0.00	0.00	14.81	0.00	0.00	14.81
Incremental delay calibration, k	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50
Incremental delay, d2	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07
Initial queue delay, d3 (s/veh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uniform delay, d1 (s/veh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Progression adjustment factor, PF	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
Delay, d=d1(PF) + d2 + d3 (s/veh)	0.00	15.26	0.00	0.00	15.26	0.00	0.00	14.88	0.00	0.00	14.88
LOS by lane group	0.00	B	0.00	0.00	B	0.00	0.00	B	0.00	0.00	B
Delay by approach, dA (s/veh)	15.26		15.26		14.88		14.88				
LOS by approach	B		B		B		B				
Approach flow rate, vA (veh/h)	959.46		959.46		685.81		685.81				
Intersection delay, dI (s/veh)					15.10						
Intersection LOS					B						

الشكل 14: ورقة العمل الثالثة لتقاطع السوق المحلي

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PEDESTRIAN-BICYCLE EFFECTS ON PERMITTED LEFT TURNS AND RIGHT TURNS				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Sebha-Libya			
<b>Permitted Left Turns</b>				
	EB	WB	NB	SB
Effective pedestrian green time, gp (s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Conflicting pedestrian volume, Vped (p/h)	100.00	100.00	100.00	100.00
Vpedg	256.06	256.06	256.06	256.06
OCCpedg	0.13	0.13	0.13	0.13
Opposing queue clearing green, gq (s)	12.21	12.21	5.15	5.15
Effective pedestrian green consumed by opposing vehicle queue	0.42	0.42	0.18	0.18
OCCpedu	0.10	0.10	0.12	0.12
Opposing flow rate, v0 (veh/h)	959.46	959.46	685.81	685.81
OCCr	0.03	0.03	0.05	0.05
Number of cross-street receiving lanes, Nrec	2.00	2.00	2.00	2.00
Number of turning lanes, Nturn	1.00	1.00	1.00	1.00
Apbt	0.98	0.98	0.97	0.97
Propotion of left turns, PLT	0.00	0.00	0.00	0.00
Propotion of left turns using protected phase, PLTA	0.00	0.00	0.00	0.00
fLpb	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Permitted Right Turns</b>				
Effective pedestrian green time, gp (s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Conflicting pedestrian volume, Vped (p/h)	100.00	100.00	100.00	100.00
Conflicting bicycle volume, Vbic (bicycles/h)	20.00	20.00	20.00	20.00
Vpedg	256.06	256.06	256.06	256.06
OCCpedg	0.13	0.13	0.13	0.13
Effective green, g (s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Vbicg	51.21	51.21	51.21	51.21
OCCbicg	0.04	0.04	0.04	0.04
OCCr	0.16	0.16	0.16	0.16
Number of cross-street receiving lanes, Nrec	2.00	2.00	2.00	2.00
Number of turning lanes, Nturn	1.00	1.00	1.00	1.00
Apbt	0.90	0.90	0.90	0.90
Propotion of right turns, PRT	0.00	0.00	0.00	0.00
Propotion of right turns using protected phase, PRTA	0.00	0.00	0.00	0.00
fRpb	1.00	1.00	1.00	1.00

الشكل 17: ورقة العمل السادسة لتقاطع السوق المحلي

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS OPPOSED BY MULTILANE APPROACH				
<b>General Information</b>				
Project Description:	Sebha-Libya			
<b>Input</b>				
	EB	WB	NB	SB
Cycle length, C (s)	75.00			
Total Actual green time for LT lane group, G (s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Effective permitted green time for LT lane group, g(s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Opposing effective green time, g0 (s)	29.29	29.29	29.29	29.29
Number of lanes in LT lane group, N	2.00	2.00	2.00	2.00
Number of lanes in opposing approach, NO	2.00	2.00	2.00	2.00
Adjusted LT flow rate, vLT (veh/h)	0.00	0.00	0.00	0.00
Proportion of LT volume in LT lane group, PLT	0.00	0.00	0.00	0.00
Adjusted flow rate for opposing approach, v0 (veh/h)	959.46	959.46	685.81	685.81
Lost time for LT lane group, tL	5.61	5.61	5.61	5.61
<b>Computation</b>				
LT volume per cycle, LTC	0.00	0.00	0.00	0.00
Opposing lane utilization factor, fLUo	0.95	0.95	1.00	1.00
Opposing flow per lane, per cycle, volc (veh/C/n)	10.52	10.52	7.14	7.14
gf	23.68	23.68	23.68	23.68
Opposing platoon ratio, Rpo	1.00	1.00	1.00	1.00
Opposing queue ratio, qro	0.61	0.61	0.61	0.61
gq	12.21	12.21	5.15	5.15
gu	5.61	5.61	5.61	5.61
voe	1009.96	1009.96	685.81	685.81
SlT	398.55	398.55	505.50	505.50
EL1	3.77	3.77	2.76	2.76
PL	0.00	0.00	0.00	0.00
fmin	0.07	0.07	0.07	0.07
fm	1.00	1.00	1.00	1.00
fLT	0.96	0.96	0.96	0.96

الشكل 15: ورقة العمل الرابعة لتقاطع السوق المحلي

- ✓ تطوير البرنامج ليشمل كافة أنواع التقاطعات المزودة بإشارات مرورية متضمنة تقاطعات الطرق ذات الحارات المنفصلة كلياً، مع الأخذ في الاعتبار حركة المشاة والدراجات .
- ✓ إجراء دراسة لمقارنة التحليل باستخدام دليل ساعات الطرق وأساليب التحليل الأخرى وإيجاد الفروقات وأوجه التشابه ومعرفة أسبابها.
- ✓ نوصي بإعطاء الأهتمام بموضوع الدراسة وتطويره بما يتلاءم مع المتغيرات والتطورات العلمية والعملية، وتحديد أفضل الطرق والأساليب التحليلية لتسهيل العمل عليها مستقبلاً.

**Author Contributions:** "All the authors have made a substantial, direct, and intellectual contribution to the work and approved it for publication."

**Funding:** "This research received no external funding."

**Data Availability Statement:** "No data were used to support this study."

**Conflicts of Interest:** "The authors declare that they have no conflict of interest."

**Acknowledgments:** "The authors would like to express their appreciation to the Sebha University and Wadi AlShatti University for their help during the preparation of this study"

## References

- [1] Joe G. Bared, Improving Signalized Intersections, Public Roads, Vol. 68 No. 4, January/February 2005.
- [2] Rahmat, Zarina, et al. "Evaluation of the Operational Methods for the Analysis of Signalised Intersections." *Planning Malaysia Journal*, vol. 21, Aug. 2023, <https://doi.org/10.21837/pm.v21i28.1324>.
- [3] أكرم رستم، فادي كنعان وحلا حسن، "دراسة تأثير الحركات المنعطفة إلى اليسار على أداء التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية"، مجلة تشرين للبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (34) العدد (5)، 2012م.
- [4] TRB, "Highway Capacity Manual", Transportation research board & National research council, 2000.
- [5] A. M. Tahsin. Improvements to Methodologies for Signalized Intersection Capacity Analysis and Performance Measurement. Mar. 2024, doi:10.31274/td-20240329-413.
- [6] عمر فضيل، طه علي وأحمد أبو القاسم، "تصميم الموجات الخضراء على شارع جمال عبد الناصر بمدينة سبها"، مشروع تخرج، كلية العلوم الهندسية والتقنية، جامعة سبها، 1995م.
- [7] Ahmed M. Alhoudairi, Abdul-Nasser R. Aboulgasem, Ahmed M. Aboulgasem, "A study on Some Traffic Characteristics at Al-Jazeera Intersection in Brak", *JOPAS*, vol. 16, no. 2, Aug. 2018.
- [8] A. M. A. Alhoudairi, A. G. Naiel, and M. A. A. Fakroun, "Traffic Movement at Five Intersections on Jamal Abdul-Nasser Street - Sebha," *Journal of Pure & Applied Sciences*, vol. 20, no. 4, pp. 5-10, Nov. 2021, doi: 10.51984/jopas.v20i4.1609.
- [9] عبد الرزاق فرج المحمد، "استخدام تطبيقات الحاسوب والمحاكاة في التقييم المروري للتقاطعات بمدينة بني وليد"، 2019.
- [10] Jose Alfredo Fernandez Leon, "Applying MATHCAD to the highway capacity manual", Master of Science Thesis in Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, April 2004, url={<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114448811>}

## المناقشة والتوصيات

إن للتقاطعات أهمية كبيرة في شبكات الطرق وهي تتحكم في سريان المرور وتقليل مسافات الرحلة بين المناطق. ونتيجة لارتفاع حركة المرور فإن التقاطعات قد تتسبب في عرقلة المرور وزيادة أزمته التأخير بل قد تتسبب في الكثير من حوادث السير، لذلك يتم تنظيم الحركة باستخدام وسائل التحكم المعروفة: علامات إعطاء الأسبقية - علامات قف - والإشارات الضوئية. وتعد الإشارات الضوئية الأكثر شيوعاً لضبط حركة المرور عند التقاطعات وتجنب التصادم أو عرقلة المرور. في هذا البحث تم دراسة وتحليل التقاطعات المضبوطة بإشارات مرورية ضوئية باستخدام برنامج ميكروسوفت إكسيل اعتماداً على طريقة التحليل المتبعة من قبل دليل ساعات الطرق الأمريكي.

وقد تمت دراسة الطريقة التحليلية المتبعة وتطبيقها عن طريق برنامج مصغر تم إنشاؤه على جداول إكسيل. حيث يقوم البرنامج بتحليل أي نوع من التقاطعات محل الدراسة ذات الحارات غير المفصولة بشكل كلي، وتحديد أزمته دورة الإشارة وأزمته التأخير وسعة التقاطع وحجوم التشبع على فروع التقاطع، وذلك بمجرد إدخال المعلومات الأساسية للتقاطع التي تشمل خصائص التقاطع وخصائص حركة المرور على الفروع الداخلة في التقاطع وباقي المعلومات ذات العلاقة. هذا ويمكن القول إن البرنامج يوفر الوقت والجهد، ويسهل على المهندس القائم على المشاريع تحليل التقاطعات التي يعمل عليها، والمساهمة للتقاطعات المدروسة في هذا البحث، وبالتالي الحصول على نتائج سريعة ودقيقة.

ومن خلال تطبيق البرنامج المقترح على أمثلة نظرية وواقعية بمدينة سبها تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

- يتيح البرنامج المقترح استخدام طريقة دليل ساعات الطرق الأمريكي في تحليل التقاطعات بكل دقة وفاعلية مع توفير الجهد والوقت، خاصة عند الرغبة في تحليل عدد كبير من التقاطعات بنفس الكيفية.
- إن تحليل التقاطعات المزودة بإشارات مرورية ضوئية باستخدام البرنامج المقترح يتم بسهولة ويسر ودن الحاجة إلى كثير من العمليات الحسابية المعقدة، كما يمكن من خلال البرنامج تحليل العديد من التقاطعات المشابهة.
- نتائج التحليل المنحصّل عليها باستخدام دليل ساعات الطرق على برنامج إكسيل تعتبر قريبة جداً وشبه مطابقة للنتائج المنحصّل عليه بالطريقة التقليدية المتمثلة في الحل اليدوي، ويكمن السر وراء الاختلاف في بعض القيم المدرجة بعد العلامة العشرية التي عادة ما يتم تقريبها لأقرب رقم عشري.
- تتوقف نتائج تحليل التقاطعات المزودة بإشارات المرور على الخصائص الهندسة للتقاطعات وطبيعة المرور على الفروع الداخلة في التقاطع.

استناداً إلى النتائج والاستنتاجات المستخلصة فإن الباحثين يوصيين بما يلي:

- ✓ تطبيق البرنامج المقترح على نطاق واسع ليشمل كافة التقاطعات المرورية بمدينة سبها بشكل خاص وبكافة المدن الليبية بشكل عام.