

## Evaluating and Improving the Efficiency of Intersection of Freeway Off-Ramps with Arterial Roadway

**Atheer N. Hameed**

Highways and Transportation Department, College of engineering, Al-Mustansiriya University/ Baghdad.

Email:engatheernaji@yahoo.com

### ABSTRACT

The signalized intersections are considering one of the critical elements in facility work of urban arterial roads. Thus, it is necessary to improve the signalized intersections system not only to increase the ability of flow on the major and minor roads but also to increase the neighboring freeways ability to work with high efficiency.

In the 4-leg signalized intersections, left-turn effect greatly on the capacity, if left-turn movements eliminated by converting it to right and through, so that, the signal can operate with only two phases instead of four phases and capacity will increase. The objective of this study was to evaluate the influence of eliminating left-turn movements (converting it to through and right movements) on the level of service for an intersection of freeway off-ramps with arterial roadway (figure. 1), in order to decrease the congestion on the oversaturated off-ramps, which affect the traffic flow on freeway. Also studying the influence of this elimination and converting on: (1) average system delay, (2) fuel consumption, (3) average travel time, (4) average delay on freeway off-ramps and (5) average queues lengths on freeway. This elimination and converting will be carried out by constructing two roundabouts (nearby to the intersection) on arterial roadway Figures. (5 & 6). Full-movement signalized intersection with two roundabouts were compared before and after elimination left-turn movements through simulation with the use of the Synchro 6 simulation package. The results showed a significant improvement in level of service for the studied intersection. In addition, significant decrease in average delay and average travel time, and minor decrease in fuel consumption. The results also showed a significant decrease in average delay on freeway off-ramps and queues lengths on freeway.

**Keywords:** Signalized intersection, Freeway off-ramp, Arterial roadway.

### تقييم وتحسين كفاءة تقاطع مخارج الطرق السريعة مع الطرق الشريانية

#### الخلاصة

تعتبر منظومة التقاطعات ذات الإشارة المرورية من العناصر الحرجة في سلاسة عمل الطرق الشريانية والحضرية، لذلك من المهم تحسين أداء منظومة التقاطعات ليس فقط لزيادة قابلية الجريان على الطرق الشريانية الرئيسية والثانوية، بل لأنها قد تؤثر كذلك بشكل كبير أو تحد من قابلية الطرق

السريعة المجاورة على العمل بكفاءة عالية نتيجة الاختناقات المرورية الحاصلة على مداخل أو مخرج الطرق السريعة المرتبطة بتلك التقاطعات.

في تقاطع الإشارة المرورية ذي الأربع اذرع (4-leg signalized intersections) تكون حركة المركبات الخارجة من المقتربات عادة في ثلاث اتجاهات (يمين - أمام - يسار)، تتأثر سعة التقاطع بشكل كبير بحركة المركبات إلى اليسار (left-turn)، وعليه فإن إلغاء المرور المتجه لليسار بتحويله إلى اليمين والإمام سيوفر زيادة في سعة التقاطع وكذلك إمكانية عمل التقاطع بطورين (two phases) بدلا من أربعة.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تقييم إلغاء حركات اليسار (تحويلها إلى حركات لليمين والأمام) في تقاطع مخرج طريق سريع (freeway off-ramps) مع طريق شرياني (arterial roadway) شكل (1) وتأثيرها على: (1) معدل التأخير العام، (2) نسبة استهلاك الوقود، (3) معدل زمن الرحلة، (4) معدل التأخير على مخرج الطريق السريع و (5) معدل أطوال الطوابير المتكونة على الطريق السريع وبالتالي تقليل الازدحام المتكون على المخرج فوق المشبعة والمؤثر على حرية الجريان على الطريق السريع.

وكذلك دراسة تأثير هذا الإلغاء والتحويل على تحسين مستوى الخدمة للتقاطع. يتم هذا التحويل عن طريق إنشاء دوّارين (two roundabouts) على الطريق الشرياني قريبين من التقاطع للتعويض عن إلغاء الحركات لليسار (الأشكال 5 و 6). هذه الفكرة أو هذا المفهوم وجميع الحركات في التقاطع ذو الإشارة المرورية والدوّارين تم مقارنتها قبل وبعد الإلغاء واختبار كفاءتها من خلال المحاكاة باستخدام برنامج *Synchro 6 simulation package*.

بينت نتائج الدراسة أن هناك تحسن ملحوظ في مستوى الخدمة للتقاطع المدروس نتيجة إلغاء الحركات لليسار، كذلك ظهور انخفاض ملحوظ في معدل التأخير العام ومعدل زمن الرحلة وانخفاض طفيف بالنسبة لاستهلاك الوقود. كذلك أظهرت النتائج انخفاضا ملحوظا في معدل التأخير على مخرج الطريق السريع وأطوال الطوابير المتكونة على الطريق السريع.

## المقدمة

الأحجام المرورية على الطرق ازدادت خلال السنوات الأخيرة، هذه الزيادة أدت إلى زيادة الازدحام وخاصة على الطرق السريعة (freeways). نتج عن هذا الازدحام زيادة في زمن الرحلة من مكان لآخر وبالنتيجة أصبح السائقون أكثر رغبة لترك الطريق السريع واستعمال طرق اقصر خلال الشبكة الحضرية ثم العودة إلى الطريق السريع مجتازين الازدحام. هذا يسبب زيادة مسافة المرور على الشبكة الحضرية مما يسبب بطأ الجريان الداخلي وانخفاض مستوى السلامة نتيجة السرعة العالية لكسب الوقت بالإضافة إلى توليد تلوث وضوضاء أكثر.

من المعروف أن مستوى الخدمة في التقاطعات يؤثر على مستوى الخدمة لمنظومة الطرق بشكل عام كما أن مستوى الخدمة للتقاطع يمكن أن يتأثر عكسيا بكثرة الحجم المروري لليسار (left-turn) والذي يعيق المرور المتجه للأمام (through traffic). خصوصا وان بعض سائقي المركبات يستخدمون الممر المخصص للأمام للدوران إلى اليسار حتى لو لم يكن هذا الممر مشتركا، لذلك فإن إلغاء الحركات لليسار يعتبر تحويل مهم لسلامة وفعالية عمل التقاطع.

يتفق معظم مهندسي النقل على أن الازدحام في الطرق الشريانية الحضرية وشبه الحضرية سببه الازدحام في التقاطعات الرئيسية ذات الإشارة المرورية. في محاولة لتقليل هذا الازدحام، يقوم معظم مهندسي النقل بتعديل أوقات الإشارات المرورية أو زيادة السعة من خلال إنشاء ممرات تباطؤ أو تعجيل إضافية (flared) أو كلاهما معا. في بعض المواقع تكون الأحجام المرورية عالية بشكل لا يمكن معه تقليل الازدحام من خلال تطبيق هذه الحلول. هنا يصبح من المنطقي

التفكير في استخدام تقاطع مجسر (grad separated interchange)، إلا أن هذا الخيار مكلف ومعرق لاستعمالات الأرض المحيطة [1]. هذا البحث يختبر خيار تصميمي غير تقليدي يتمثل في استخدام دوّارين قريبين من التقاطع لتحويل حركات اليسار إلى اليمين والأمام في تقاطع أربع اذرع ذو إشارة مرورية (التقاطع المقترح). مصطلح التقاطع المقترح يقصد به كامل المنظومة (التقاطع + الدوارين). تم استخدام برنامج Synchro 6 للمقارنة بين التقاطع التقليدي (تقاطع أربع اذرع ذو إشارة المرورية) وفكرة التقاطع المقترح من خلال المحاكاة باستخدام مقاييس الكفاءة.

### موقع الدراسة

لغرض تسليط الضوء على احد أسباب الازدحام على الطرق السريعة والنتائج عن المخرج فوق المشبعة، تم اختيار تقاطع "الزعرانية" (تقاطع إشارة مرورية ذو اربعة أطوار) وهو ناتج عن تقاطع مخرج من الطريق السريع الرابط بين منطقتي بغداد الجديدة والبياع مع الطريق الشرياني الرابط بين منطقتي الكرادة والزعرانية كما مبين في الشكل (1).

### هدف الدراسة

هذه الدراسة تقدم نمودجا لحل مشكلة تقاطع مخرج طريق سريع (freeway off-ramps) مع طريق شرياني. الدراسة المقدمة تهدف إلى تقليل تكون الطوابير على المخرج وانتشارها بصورة عرضية على الخط الرئيسي للطريق السريع والتي قد تخفض بشكل ملحوظ جودة أداء النظام العام للمرور على الطريق السريع.

### استعراض المراجع

المخارج (ramps): هي عادة جزء من التقاطعات المجسرة وهي تخدم المركبات للانتقال من طريق إلى آخر ضمن مستويات مختلفة. منافذ الطريق السريع يمكن تقسيمها إلى مجموعتين: منافذ الدخول، والتي تسمح بدخول المركبات إلى الطريق السريع، ومنافذ الخروج، والتي تسمح للمركبات بمغادرة الطريق السريع [2].

تعتبر السيطرة على المخرج (off-ramp metering) طريقة مهمة جدا لتحسين أداء نظام المرور على الطريق السريع، إلا أن اغلب البحوث الحالية تركز على المرور الداخل إلى الطريق السريع (on-ramp) ولا تعطي اهتمام كبير للمرور الخارج من الطريق السريع عند المخرج. ففي بعض الحالات يؤدي تكون طوابير المرور الخارج من الطريق السريع إلى تقليل الأداء العام لنظام المرور على الطريق السريع بمقدار كبير [3].

توضع الكثير من النماذج (models) لمداخل الطريق السريع (freeway on-ramp). إلا أن هذه النماذج لا تعنى بالمخارج معتبرة هذه المخارج وكأنها مغسلة مرور (traffic sink) أي أن المركبات التي تصل إلى المخرج تزال فوراً. لكن في الواقع هذا ليس صحيح دائماً، حيث أن سائقي المركبات لا يعزلون أنفسهم لغرض الخروج من الطريق السريع بل إن اغلبهم يقرر تغيير الممر (lane changing) في اللحظات الأخيرة، وبالتالي فإن طابور المركبات الخارجة ربما ينشر نفسه بصورة عرضية على الطريق معيقاً بذلك استمرارية الجريان كما في الشكل 2 [4].

عند المخرج، الحركة الأساسية هي التباعد، حيث يفصل مجرى مروري واحد إلى مجريين. المركبات التي ستخرج يجب أن تأخذ الممر المحاذي للمخرج وهو الممر الأول من الجانب الأيمن. لذلك ولغرض الخروج فإن المركبات الخارجة ستتحرك باتجاه اليمين وهذا سيؤثر على إعادة توزيع بقية المركبات على الطريق السريع حيث أنها تتحرك إلى اليسار لتفادي منطقة الانفراج

(diverge area). أظهرت الدراسات بان أعظم اضطراب يحصل على ممر التباطؤ بالإضافة إلى الممرين المجاورين له لمسافة تزيد عن 450 متر من نقطة الانفراج [5]. إن عنق الزجاجة يقلل السعة وهذا يظهر على مقطع من طريق سريع تكونت عليه طوابير خروج حيث امتلأت الممرات المخصصة للخروج فطفحت عنها (spill-back) وهذا يرتبط سلبا بجريان المرور على الممرات المجاورة لممر الخروج، هذا يعني أن طوابير الخروج من مخرج فوق مشعب (oversaturated off-ramp) تقلل معدلات تصريف المركبات المتجهة للأمام (غير الخارجة) [6].

تم استيحاء فكرة التقاطع المقترح من تقاطع الدمعة (teardrop interchange) الشائع استخدامه في انكلترا. وقد أثبتت نجاحها في العديد من المواقع في الولايات المتحدة. طرحت الفكرة لأول مرة في كتاب للباحث جوزيف هامر ونوقشت بشكل أوسع في تحديث 2004 لنفس الكتاب للباحثين جوزيف هامر و جوناثان ريد. في نسخة 2004 ذكر الباحث "أن لا جهة على حد علمه قامت بتصميم التقاطع المقترح بشكل كامل". العديد من الفوائد والسلبيات تمت مناقشتها في مقال تحديث 2004، إلا انه لا يوجد تحليل لمقارنة هذه الفكرة مع تقاطع تقليدي ذو إشارات مرورية [1].

### منهجية البحث (Methodology)

جمعت البيانات موقعا واستخدم برنامج Synchro 6 لمقارنة مقاييس الكفاءة للتقاطع المقترح والتقاطع التقليدي. تم تقييم التأخير المتوقع، زمن الرحلة، استهلاك الوقود، معدل التأخير للمركبة، والطوابير المتكونة على الطريق الرئيسي.

### المسح المروري

من خلال استطلاع التقاطع لمدة ستة أيام (من السبت إلى الخميس) خلال شهر نيسان وجد أن فترات الذروة تكون على النحو التالي:

فترة ذروة صباحية (7:00 - 10:00 a.m.)

فترة ذروة مسائية (1:00 - 4:00 p.m.)

تم استخدام طريقة العد اليدوي كل 15 دقيقة لجمع البيانات المرورية للفترتين الصباحية والمسائية لغرض تحديد ساعة الذروة (7:45 - 8:45 a.m.) التي تمثل الساعة التصميمية في تحليل مستوى الخدمة ومقاييس الكفاءة. كذلك تم حساب زمن الإشارة المرورية (signal timing) باستخدام ساعة إيقاف. الأحجام المرورية لجميع الاتجاهات خلال ساعة الذروة مبينة على الأشكال (3a, 4a).

### خطوات التحليل

1. تم إعداد نماذج برنامج Synchro 6 لمفهوم التقاطع المقترح (ذو الطورين) وتقاطع الإشارة المرورية ذو الأربعة أطوار (التقليدي).
2. تحليل الحجم باعتماد نسبتيين للحجم إلى السعة (V/C Ratio) 1.0 و 0.85 لتقييم ظروف ساعة الذروة ودونها.
3. مقارنة مستوى الخدمة ومقاييس الكفاءة للنموذجين المذكورين في الخطوة 1.

### وصف النموذج

توضح الأشكال (3 و 4) صور نماذج برنامج (Synchro 6) للتقاطع التقليدي والتقاطع المقترح مع الدوّارين كل منهما دوّار ذو ممرين (double-lane roundabout) يقع الأول على مسافة 400 متر إلى الشرق والثاني على مسافة 340 متر إلى الغرب من التقاطع). كذلك يتضمن النموذجين التفاصيل الهندسية المشتركة التالية عند التقاطع.

1. ممر تباطؤ التعجيل للحركة إلى اليمين على المخارج من الطريق السريع.
2. ممر تباطؤ التعجيل للحركة إلى اليمين (right-turn) على الطريق الشرياني
3. ممرين للأمام على الطريق الشرياني في كل اتجاه.

إن الفروق الهندسية بين النموذجين المقترح والتقليدي هي:

1. التقاطع التقليدي فيه ممر للحركة إلى اليسار على الطريق الشرياني وممرين أيضا للييسار على المخارج من الطريق السريع بينما التقاطع المقترح لا توجد فيه حركة للمرور إلى اليسار.
  2. الطريق الشرياني عند التقاطع المقترح فيه ثلاث ممرات باتجاه الشرق والغرب (اثنان للأمام وواحد لليمين) أما التقاطع التقليدي فيه أربع ممرات (اثنان للأمام وواحد للييسار وواحد لليمين).
  3. كذلك بالنسبة لمخارج الطريق السريع باتجاه الشمال والجنوب في حالة التقاطع التقليدي فيها ممرين للييسار وممر واحد لليمين، أما في حالة التقاطع المقترح فيها ممرين لليمين فقط.
- الأحجام المرورية المبينة في الأشكال (3 و 4) هي نفسها للنموذجين عدا التغيرات التالية بالنسبة للتقاطع المقترح:-

1. الحركة المرورية للييسار (بالنسبة للمرور القادم من الطريق السريع) حولت إلى اليمين عند التقاطع لتعمل استدارة عند الدوّار ثم العودة إلى التقاطع والحركة منه إلى الأمام كما مبين في الشكل (5).
2. الحركة المرورية للييسار (بالنسبة للمرور القادم من الطريق الشرياني) حولت إلى الأمام عند التقاطع لتعمل استدارة عند الدوّار ثم العودة إلى التقاطع والحركة منه إلى اليمين (اليمين مفتوح) كما مبين في الشكل (6).

### مناقشة النتائج

الجدول 1 يلخص نتائج الدراسة وهي كما يلي:

1. حصول تحسن كبير في مستوى الخدمة للتقاطع المقترح (تحسن مستوى الخدمة E إلى B لنسبة  $V/C = 1$  و C إلى B لنسبة  $V/C = 0.85$ ).
2. ظهور انخفاض ملحوظ في معدل التأخير العام باستخدام التقاطع المقترح (41% لنسبة  $V/C = 1$  و 21% لنسبة  $V/C = 0.85$ ).
3. ظهور انخفاض طفيف بالنسبة لاستهلاك الوقود (7% لنسبة  $V/C = 1$  وتقريبا 1% لنسبة  $V/C = 0.85$ ).
4. انخفاض ملحوظ بالنسبة لزمان الرحلة للمنظومة (التقاطع + الدوارين) (24% لنسبة  $V/C = 1$  و 6% لنسبة  $V/C = 0.85$ ).
5. انخفاض ملحوظ في معدل التأخير على مخارج الطريق السريع (58% لنسبة  $V/C = 1$  و 32% لنسبة  $V/C = 0.85$ ).
6. انخفاض ملحوظ في أطوال الطوابير المتكونة على الطريق السريع (76% لنسبة  $V/C = 1$  و 38% لنسبة  $V/C = 0.85$ ).

جاءت هذه النتائج متوافقة مع ما توصل إليه الباحث بنجامين [1] حيث أظهرت نتائج دراسته انخفاضا ملحوظا في معدل التأخير، زمن الرحلة، معدل التأخير على مخارج الطريق السريع وأطوال الطوابير. إلا انه لم يدرس التغير في مستوى الخدمة للتقاطع.

#### الاستنتاجات

1. استخدام التقاطع المقترح اظهر انخفاضا ملحوظا في التأخير بالمقارنة مع التقاطع التقليدي
2. اظهر استخدام التقاطع المقترح انخفاضا ملحوظا في طوابير المركبات المتكونة على الطريق السريع.
3. الطوابير المتكونة على الطريق الشرياني انخفضت بشكل ملحوظ وذلك لان زمن الإشارة الذي كان يستخدم للحركة إلى اليسار يمكن أن يستخدم من قبل الحركة إلى الأمام.
4. على الرغم من أن المركبات المحولة إلى اليمين تبعد بمسافة عن التقاطع المقترح. إلا أن استهلاك الوقود بشكل علم لم يتأثر، يعود السبب في ذلك إلى انخفاض التأخير وأطوال الطوابير وبالتالي فان المركبات ستقضي وقت اقل مما لو كانت متوقفة أو تسير وتقف في ظروف التوقف والمسير المتكرر (stop-start flow) في التقاطع التقليدي.
5. على الرغم من ازدياد المسافة التي تقطعها المركبات المحولة إلى اليمين إلا أن زمن الرحلة تحسن بشكل ملحوظ عند استخدام التقاطع المقترح، وذلك بسبب انخفاض التأخير والطوابير.

#### التوصيات

عمل دراسة اقتصادية لإيجاد الكلفة الناتجة عن سلبيات التقاطع التقليدي مع طرق المرور السريعة (كالتأخير واستهلاك الوقود والتلوث البيئي الناتج عنهما).

#### المصادر

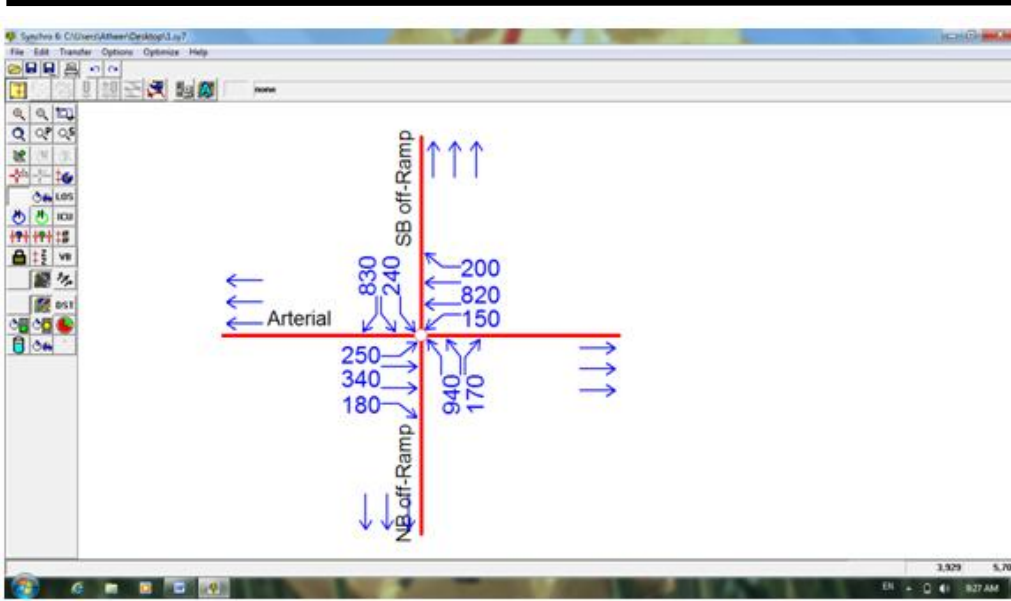
- [1].Waldman, B. T. 2007. Eliminating Left-Turns at a Signalized Intersection With The Use of Nearby Roundabouts. LSC Transportation Consultants, Inc., Denver. USA.
- [2].Garber N. J. & Hoel L. A., 2002, "Traffic and highway engineering", 3<sup>rd</sup> ed., Thomson Learning. USA.
- [3]. Chang, Li, Z.; G. & Natarajan, S. 2008. Integrated Off-ramp Control Model.
- [4].Lovell, D. J. 1997. Traffic control on metered networks without route choice, University of California, Berkeley.
- [5].Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D. C., 2000.
- [6].Cassidy, M. J.; Anani, S. B.; Haigwood, J. M. 2000. Study of Freeway Traffic Near an Off-Ramp. Working Papers, California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH), Institute of Transportation Studies, UC Berkeley.

جدول (1) مقارنة بين مقياس الكفاءة للتقاطع التقليدي والتقاطع المقترح.

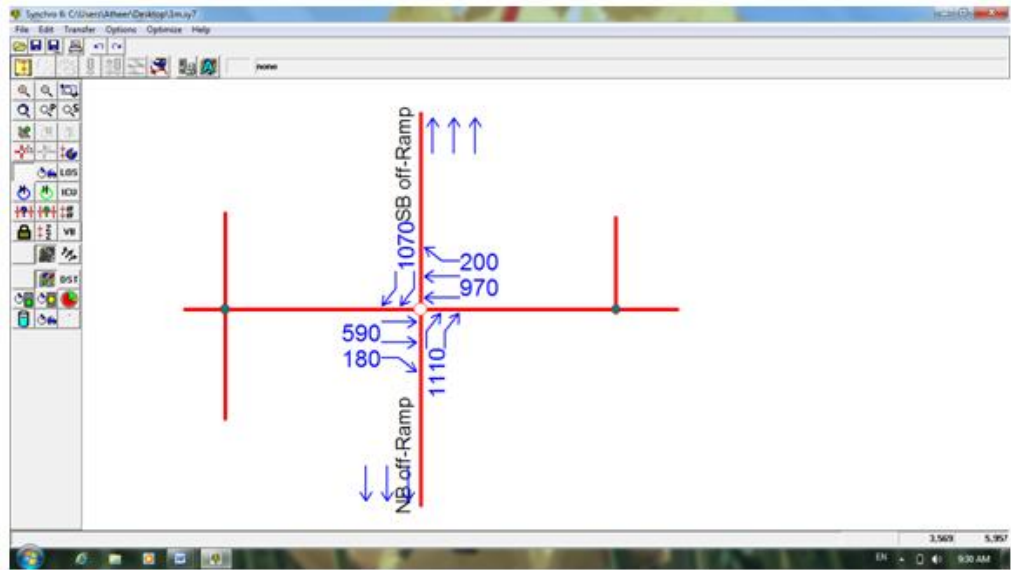
مقياس الكفاءة	التقاطع التقليدي	التقاطع المقترح (بضمه الدوارين)	الفرق	نسبة الانخفاض
V/C Ratio = 0.85				
<b>Total Delay</b>				
<b>Travel Time (hr)</b>	31	24.5	6.5	21%
<b>Fuel Consumed (gal)</b>	101	95	6	6%
<b>Average Delay for Traffic on Exit Ramp (veh/sec)</b>	150.5	149	1.5	1%
<b>Queue Length 95th (ft)</b>	27	18.3	8.7	32%
	710	440	270	38%
V/C Ratio = 1.0				
<b>Total Delay</b>				
<b>Travel Time (hr)</b>				
<b>Fuel Consumed (gal)</b>	70.6	41.6	29	41%
<b>Average Delay for Traffic on Exit Ramp (veh/sec)</b>	190.5	144.6	45.7	24%
<b>Queue Length 95th (ft)</b>	205	190.7	14.3	7%
	86.2	36.2	50	58%
	2777	667	2110	76%



شكل (1) تقاطع الزعفرانية والمنطقة المحيطة.

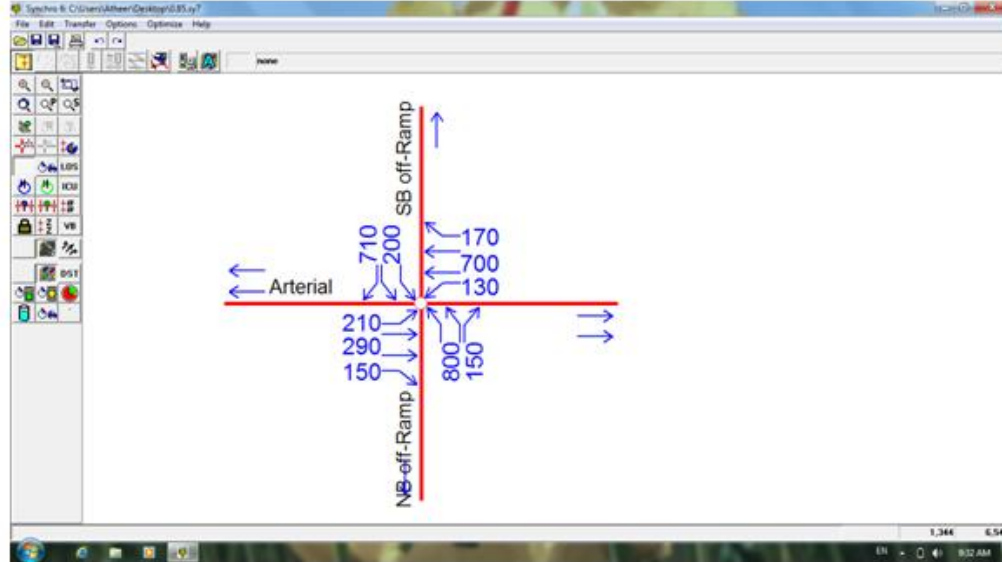


شكل (3a) لقطة من برنامج Synchro 6 للتقاطع التقليدي لنسبة حجم/السعة = 1.

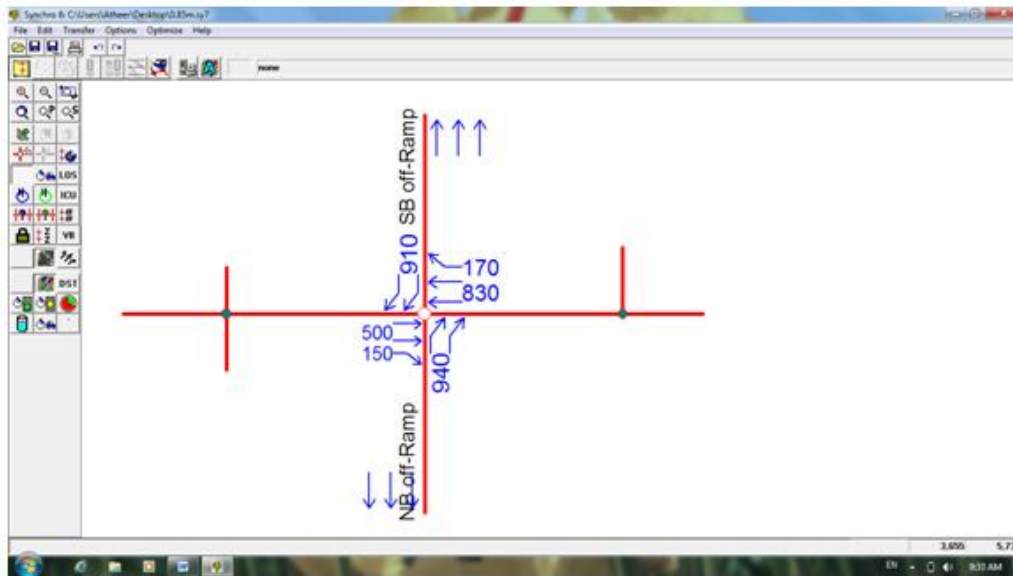


شكل (3b) لقطة من برنامج Synchro 6 للتقاطع المقترح لنسبة حجم/السعة = 1.

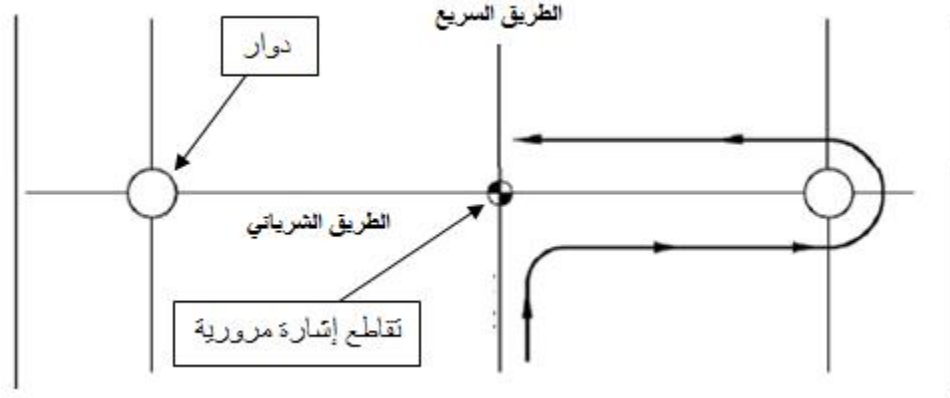




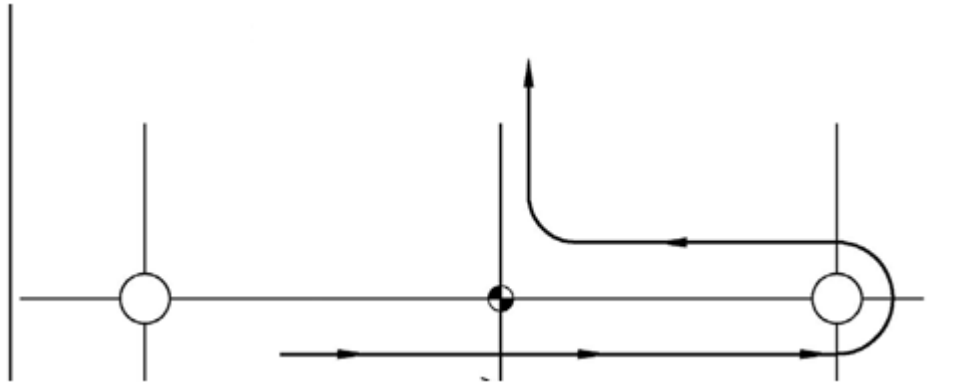
شكل (4a) لقطة من برنامج Synchro 6 للتقاطع التقليدي لنسبة حجم/السعة = 0.85 .



شكل (4b) لقطة من برنامج Synchro 6 للتقاطع المقترح لنسبة حجم/السعة = 0.85.



شكل (5) تحويل حركات اليسار القادمة من مخرج الطريق السريع إلى اليمين.



شكل (6) تحويل حركات اليسار القادمة من الطريق الشرياني إلى الأمام.