نمذجة حركة السير على مستوى الإشارات المرورية حول الحرم النبوي الشريف تعتمد على مراقبة الآنية لحجم طوابير السيارات عند المداخل

د. محمد كمال جبيرة - أ. د. منير أحمد
كلية علوم وهندسة الحاسب الآلي
جامعة طيبة بالمدينة المنورة

الملخص:

مع التزايد المستمر لعدد السيارات ووسائل النقل الحديثة المستعملة في حياتنا اليومية وما يصاحبها من مشاكل في الحركة على الطرقات مثل الاختناقات المرورية، آليات عديدة تم تطويرها من اجل التحكم في الإشارات الضوئية التي تنظم حركة السير إلا أن الآليات التي تأخذ في الاعتبار حجم طوابير السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بكل اتجاه لازالت محدودة. في هذه الورقة العلمية نطرح فكرة تقوم على المراقبة الآنية للتقاطعات المرورية الأكثر ازدحاما حول الحرمين الشريفين وذلك بجعل حركة السير في كل اتجاه تناسبية لطابور السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بذلك الاتجاه. ولقد قمنا أولا بنمذجة حركة نقل السيارات وازدحامها على مستوى إحدى التقاطعات المرورية القريبة من الحرم النبوي الشريف ثم القيام بمحاكاة الفكرة الجديدة ومقارنتها بواقع التحكم الحالي لهذه الإشارة.

Abstract:

The augment use of vehicles in our daily life creates traffic congestion problems. To solve the traffic congestion problems a range of models have been developed and applied for controlling traffic via signalized intersections. These models may be classified into two categories such as fixed-time models and traffic-response models. Nevertheless, models considering in real time; the physical queue sizes of vehicles waiting for green lights are either overestimate the optimal cycle length or not included it as vital parameter for such real-time traffic control. This work deals with the development of a model based on splitting green times proportionally to the predicted queue sizes in input links for each new cycle time by including both continuous-time and discrete-event components to form an hybrid model.

١ـ المقدمة

لقد كان قطاع النقل عموما ولا يزال موضوع اهتمام العديد من البلدان وخاصة المتطورة منها، لذلك تولي له هذه الأخيرة كل الإمكانيات لتطويره وتطوير أساليبه وتحسين إدارته مع الاستفادة من التكنولوجيات الحديثة لتحقيق هذه الأهداف. ولقد انكبت العديد من الجهات البحثية لدراسة دقيقة لهذا القطاع والسعي لاقتراح حلول مختلفة للارتقاء به إلى مستوى العصر الحديث ولقد تم تنفيذ العديد من هذه الحلول ميدانيا في العديد من هذه البلدان مثل كندا والولايات المتحدة وفرنسا وايطاليا وغيرها ولقد كان لتطور مجال الحاسب الآلي والاتصالات الرقمية الأثر الأكبر في تطوير هذه الأبحاث وتنفيذها.

أما على المستوى الوطني فان حكومة خادم الحرمين الشريفين لم تدخر جهدا في إزداء التعليمات من أجل تطوير شبكة النقل بالمملكة عموما وحركة النقل داخل المدن الأكثر ازدحاما خصوصا ومن ذلك المناطق التي تحيط بالحرمين الشريفين سواء كان في الأيام العادية أو أيام الحج والعمرة مما ييسر حركة الحجيج والمصلين. ولقد حرصت الحكومة على ترجمة ذلك بمشروعات متعددة من توسعة وبناء الطرق والأنفاق والجسور وتطوير مختلف آليات التحكم في إشارات المرور الأكثر كثافة، ففي مدينة الرياض مثلا بدأت إدارة مرور في السنوات الأخيرة في تطبيق آلية إلكترونية للتحكم في الإشارات الضوئية التي تنظم حركة السير بعدما ربطت عدد كبير من الإشارات الضوئية بأجهزة الكومبيوتر الموجودة في الإدارة العامة للمرور بحيث تعطي أجهزة الكومبيوتر المواقع التي تتسبب عادة في الاختناقات المرورية وذلك من أجل تفادي هذه الاختناقات التي تعاني منها حركة السير داخل المدينة على مستوى العديد من الإشارات وتواصل إدارة المرور تحديث هذا النظام وذلك بالتعاون مع الهيئة العليا لتطوير المدينة ليتماشى مع حجم حركة السير وكثافتها داخل المدينة، وبالذات في أوقات الذروة [١٥]. وعلى الرغم من كل هذه المجهودات الكبيرة إلا أن مشكل ازدحام السيارات ووسائل النقل الحالية والاختناقات المرورية التي تتسبب فيها لا زال يمثل موضوع بحث يستقطب العديد من الجهات البحثية. لذلك تواصل الإدارة العامة المرور والمصالح المرتبطة بها مثل هيئة تطوير المدينتين المقدستين تجنيد الطاقات البشرية لتصميم وابتكار النظريات والحلول الميدانية لمزيد التنظيم والمراقبة لحركة

سير هذه السيارات ووسائل نقل الحجاج والمعتمرين وتوفير إمكانيات وطاقات أكبر لهذا الغرض ويعتبر وجود مثل هذا المؤتمر السنوي خير برهان على ذلك.

في هذا البحث نهدف إلى اقتراح دراسة علمية تقوم على فكرة المراقبة الآنية للتقاطعات المرورية الأكثر ازدحاما حول الحرمين الشريفين والتي تنظمها إشارات المرور وذلك بجعل حركة السير في كل اتجاه تناسبية (Proportional) لطابور السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بذلك الاتجاه ولقد تم اختيار إحدى الإشارات المرورية القريبة من الحرم النبوي الشريف كمثال لهذه الدراسة.

٢- نظرة سريعة على دراسات مشابهة

إن التزايد الهائل والمستمر للعربيات والمركبات المستخدمة مع محدودية طاقة استيعاب شبكة الطرقات لها أصبح سببا رئيسيا في مشكل الازدحام. لذلك يعتبر التحكم في الإشارات المرورية من أهم العناصر عند دراسة حركة النقل ولقد أعتبر ذلك من أفضل الأدوات التي يمكن من خلالها المزيد من التحكم في مشكل الازدحام. طبعا الهدف الأمثل هو الحصول على إشارات مرورية تمكن حركة سير مستمرة دون أي تعطيل ولكن هذا الوضع الذي يصعب تحقيقه على ارض الواقع يبقى هدفا منشودا.

منذ ظهور مشكل الاختناقات المرورية هذه تم تطوير العديد من الطرق والاستراتيجيات التي تساعد في حل هذا المشكل. ويمكن تصنيف هذه الاستراتيجيات إلى فئتين [١-٧]:

- حلول تعتمد أوقات ثابتة مسبقا للإشارات الضوئية (fixed-time strategies)
- حلول تفاعلية (traffic-response strategies)

في الخمسينات (ميلادي) قام الباحث الإنجليزي وابستار (Webster) بالعديد من التجارب وتطوير سلسة من النظريات تقلل من فترات الانتظار عند الإشارات المرورية ولازالت هذه النظريات معتمدة إلى حد هذا اليوم [٩] ولقد تم تطوير بعض هذه النظريات في العصر الحديث مع تطور التكنولوجيات. ولا زال الموضوع يستقطب العديد من الجهات البحثية كما تم تطوير العديد من الأفكار الأخرى في هذا الباب [١٠-١٤] إلا أن الأبحاث التي تعتمد المعطيات الآنية من أجل تحكم أفضل في الإشارات المرورية لازالت محدودة. فلقد كانت الحلول التي تعتمد أوقات ثابتة مسبقا للإشارات هي الأكثر استخداما إلى وقت قريب وفي السنوات الأخيرة أصبح هناك اهتمام اكبر في تطوير نظم تحكم من النوع التفاعلي [٣،٤] ففي هذا الإطار استراتيجيات عديدة تم تطويرها ترتكز على المراقبة الآنية والمستمرة لحركة السير حول الإشارات المرورية. وبالرغم من نجاعة هذه الآليات ومساهمتها في حل مشكل الازدحام والانتظار على مستوى الإشارات المرورية وذلك من خلال المعطيات الميدانية التي يتم مراقبتها إلا أن الآليات التي تأخذ في الاعتبار حجم طوابير السيارات التي ينتظر الإشارة الخضراء الخاصة بكل اتجاه لازالت محدودة.

٣- الفكرة العامة للبحث والنماذج المقترحة

١.٣- فكرة البحث

بلا شك إن كل الحلول العلمية المقترحة للمساهمة في تطوير شبكات النقل عموما والتكم في حركة السير للمركبات خصوصا لا بد لها أن تمرّ بعدة مراحل دقيقة من الدراسة والتمعن قبل أن تنتج أي تطبيقات ميدانية. وكذلك ومن جهة أخرى ونظرا لما يشهده العصر الحديث من تطور هائل للتكنولوجيات الرقمية فانه أصبح لزاما على هذه الدراسات أن تستفيد من هذه التقنيات الحديثة وأدواتها. في هذا الإطار، قمنا بنمذجة ومحاكاة التحكم في إحدى الإشارات المرورية التي تحيط بالحرمين الشريفين والتي تعتبر ذات طابع خاص مقارنة بباقي الإشارات الأخرى. فهذه الإشارات تتميز بأنها غير منتظمة الحركة (incredible) إذ أنها تشهد تغيرا في جهات الازدحام حسب أوقات الصلوات أثناء اليوم فتكون الاتجاهات المتجهة نحو الحرم قبل الصلاة هي الأكثر ازدحاما ويتغير هذا الوضع بعد الصلاة فتصبح الاتجاهات الأكثر ازدحاما هي التي عكس اتجاه الحرم عند خروج المصلين.

بسبب ما سبق ذكره تقوم فكرة هذا العمل على المراقبة الآنية لهذه التقاطعات المرورية وذلك بجعل حركة السير في كل اتجاه تناسبية لطابور السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بذلك الاتجاه ويتم توزيع الفترات الزمنين للضوء الأخضر في كل اتجاه على حسب عدد السيارات القادمة منه.

٢.٣ـ النماذج المقترحة

في هذا العمل تم اختيار إشارة مرورية حول الحرم النبوي الشريف كنموذج في هذه الدراسة وهي توجد في أول تقاطع من الجهة الشرقية للحرم في بداية طريق الملك عبد العزيز. يظم هذا التقاطع الذي تنظمه الإشارات الضوئية أربعة اتجاهات (شرقية، غربية، جنوبية وشمالية) ويتكون كل اتجاه من طريقين: طريق لدخول التقاطع وطريق آخر للمغادرة. يتكون كل طريق من أربعة خطوط سير (lanes) تمكن من سير أربعة سيارات متوازية. تمكن الإشارة الضوئية في كل مدخل من السير في ثلاثة اتجاهات: إلى اليمين، إلى الأمام أو العودة إلى نفس الاتجاه (U-turn).

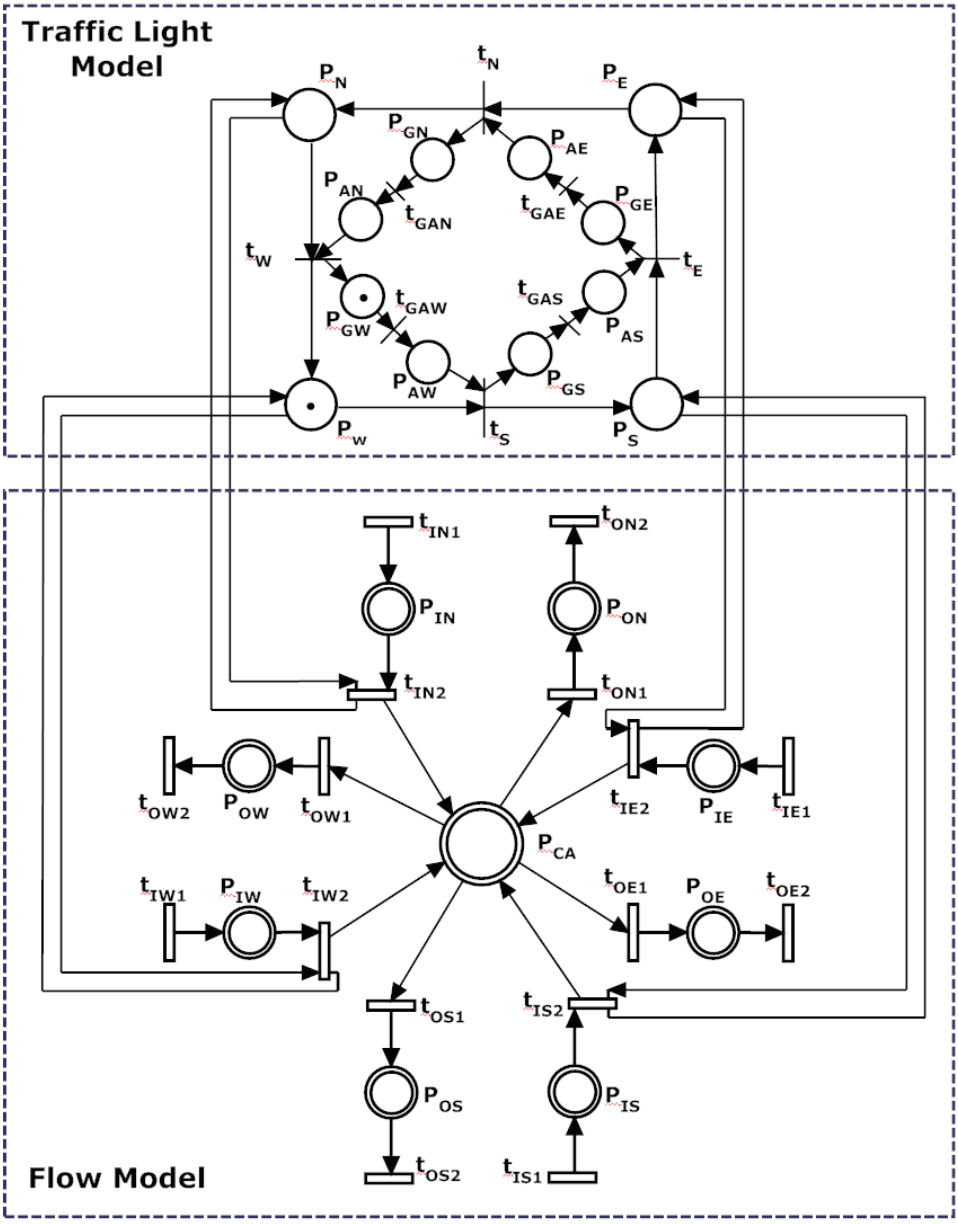
في المرحلة الأولى قمنا بنمذجة هذا التقاطع المروري وحركة سيرالسيارات حوله باستخدام أداة المحاكاة الألمانية شبكات بيتري (Petri nets) [٨] التي تتلاءم مع نمذجة الحركة ونقاط الضغط والتزاحم. الرسم رقم ١ يبين نموذج محاكاة حركة السيارات حول هذا التقاطع المروري.

- الجزء الأول (الجزء السفلي):

يحاكي الجزء الأول حركة السيارات عند دخولها منطقة التقاطع وعند خروجها منها. يتكون هذا النموذج (Model) من مجموعة دوائر مزدوجة (places)، بوابات في شكل مستطيلات صغيرة (transitions) ورموز على شكل نقاط (tokens). تمثل الدوائر المزدوجة عدد السيارات التي تنظر الإشارة الخضراء أو التي تقطع منطقة الإشارة أو التي تغادرها وتمثل البوابات الحاجز الذي يفصل النقاط بعضها عن بعض. أما الرموز والتي هي على شكل نقاط فهي تمثل في وضعيتنا العربة المتحركة.

- الجزء الثاني (الجزء العلوي):

يحاكي الجزء الثاني التحكم في الإشارات الضوئية التي تنظم حركة السير. يتكون هذا النموذج من مجموعة دوائر عادية (places)، بوابات في شكل خطوط صغيرة (transitions) ورموز على شكل نقاط (tokens). تمثل الدوائر في هذا الجزء نقطة تحكم في نوع الإشارة (إشارة خضراء أو حمراء أو برتقالية) وتمثل البوابات الحاجز الذي يفصل النقاط التحكم هذه بعضها عن بعض كما يمكن أن يسند إلى كل بوابة الزمن الخارجي الخاص بمدة الإشارة. أما الرموز والتي هي على شكل نقاط فهي تمثل معلومة التحكم.



الرسم رقم ١: نموذج محاكاة حركة سير السيارات حول التقاطع المروري من الجهة الشرقية للحرم النبوي.

معنى الدوائر:

p_i: الحركة من الاتجاه i مسموحة
p_{Gi}: زمن الضوء الأخضر في الاتجاه i.
p_{Ai}: زمن الضوء البرتقالي في الاتجاه i.
p_{Ii}: طابور السيارات في المدخل من الجهة i.
p_{Oi}: السيارات المغادرة في الاتجاه i.
p_{CA}: السيارات التي تقطع منطقة التقاطع.

معنى البوابات:

t_i: السماح بالحركة من الاتجاه i.
t_{GAi}: نهاية الضوء الأخضر وبداية الضوء البرتقالي الخاص بالاتجاه i.
$t_{Ii١}$: دخول السيارات من الاتجاه i.
$t_{Ii٢}$: مغادرة السيارات من الاتجاه i.
$t_{Oi١}$: مغادرة السيارات منطقة التقاطع في الاتجاه i.
$t_{Oi٢}$: مغادرة السيارات في الاتجاه i.

في كل الحالات يمثل المتغير i إحدى الاتجاهات: شرق، غرب، شمال، جنوب.

٤- احتساب الفترات الزمنين للضوء الأخضر

كما سبق ذكره نعتمد في هذه الدراسة على جعل الفترات الزمنين للضوء الأخضر في كل اتجاه من اتجاهات الإشارة المرورية تناسبية لطابور السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بذلك الاتجاه. نبين في ما يلي المراحل العملية التي يمكن إتباعها لاحتساب الفترات الزمنين للضوء الأخضر $G^i(t+1)$:

أولا: احتساب عدد السيارات المجودة فعليا عند مختلف المداخل.

ثانيا: تكهن (prediction of) عدد السيارات التي يمكن أن تنظمّ إلى كل مدخل عند بداية الفترة الزمنية للضوء الأخضر الموالي $Q^i(t+1)$ وذلك باعتماد قيمة التيار الزمني للتدفق السيارات من ذلك الاتجاه.

ثالثا: توزيع الفترات الزمنية للضوء الأخضر الخاص بمختلف الاتجاهات على أساس تناسبي للعدد السيارات التي ستتجمع عند كل مدخل. ولقد قمنا بتطوير هذه المعادلة الرياضة لهذا الغرض:

$$G^i(t+1) = \frac{Q^i(t+1)}{\sum_{k=1}^{n} Q^k(t+1)}.C(t)$$

يمثل المتغير:

$C(t)$:	الدورة الزمنية الحالية (مجموع الأضواء الخضراء للاتجاهات الأربعة).
i,k :	إحدى الاتجاهات: شرق، غرب، شمال، جنوب.
n :	مجموع الاتجاهات.

٥- المحاكاة

٥.١- القياسات الميدانية

قبل القيام بالمحاكاة لتطبيق هذه الفكرة ومن أجل قاعدة بيانات تساعد على اعتماد النماذج المصممة تم القيام بمراقبة الإشارة المرورية التي سبق ذكرها والتي تقع غرب الحرم النبوي واحتساب عدد السيارات ومدة انتظارها عند الإشارة خلال الفترة الزمنية من العاشرة صباحا إلى الساعة الواحدة والتي تتخللها صلاة الظهر. ومن اجل تسجيل المعطيات الميدانية لهذه الإشارة، فلقد تم تجنيد عدد ثمانية أشخاص مزودين بعدادات زمن موزعين على الاتجاهات الأربعة لهذه الإشارة. وبتحليل هذه المعطيات الميدانية كانت الاستنتاجات التالية:

- في الساعة العاشرة كانت الكثافة المرورية حول هذه الإشارة عادية وليس هناك اتجاه مضغوط أكثر من الأخر.
- في الساعة الحادية عشرة ونصف وما يليها بدأ الاتجاه من الجهة الغربية يزداد ضغطا وأصبح طابور السيارات في هذا الاتجاه أكثر طولا والفترة الزمنية للضوء الأخضر لا تكفيه وباقي الاتجاهات سهلة الحركة.
- بعد انقضاء صلاة الظهر بدأ الضغط يظهر من الجهة الشرقية والجنوبية حيث خروج المصلين وبدأ طابور السيارات في هذه الاتجاهات أكثر طولا والفترة الزمنية للضوء الأخضر لا تكفيها و باقي الاتجاهات سهلة الحركة .

٥.٢- نتائج المحاكاة

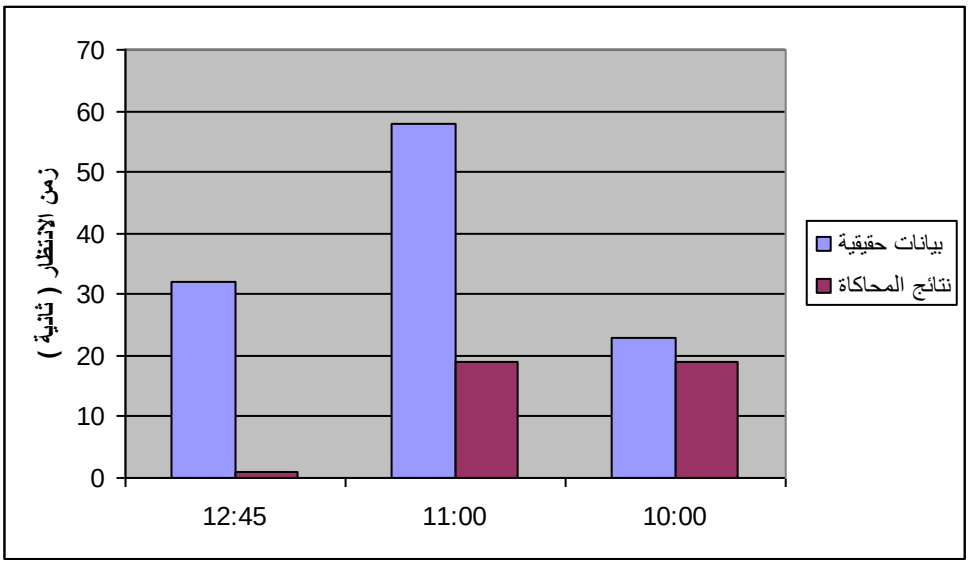
قمنا في البداية بربط الفترات الزمنية ببوابات الجزء العلوي لنموذج بتري Petri model ومن ثم القيام ببرمجة النماذج المصممة باستخدام المحيط البرمجي Matlab للقيام بالمحاكاة ويمكن تلخيص النتائج كالتالي:

يبين الجدول التالي معدل فترات الانتظار في الحالتين:

الساعة	معدل الوقت الضائع (زمن انتظار الإشارة الخضراء)	
	بيانات حقيقية	نتائج المحاكاة
العاشرة صباحا	٢٣	١٩
الحادية عشر ونصف	٥٨	١٩
الثانية عشر وخمسة وأربعون دقيقة	٣٢	١

جدول رقم ١: معدل فترات الانتظار في الحالتين (بيانات حقيقية - نتائج المحاكاة).

ويبين الرسم البياني التالي هذه المقارنة في الفترات الزمنية:



الرسم رقم ٢: الرسم البياني لزمن الانتظار عند الإشارة.

ومن خلال هذه النتائج تم استنتاج ما يلي:

- **تقلص عدد السيارات المنتظرة عموما إلى ٣٣-١٠٠ %**
- **تقلصت فترات الانتظار عموما إلى ١٧-٩٧ %**

هذا التقلص في فترات الانتظار للسيارات عند مداخل الإشارة يثبت نجاعة هذه الفكرة والتي يمكن تنفيذها ميدانيا.

٦- الخلاصة

قمنا في هذا العمل باقتراح فكرة تعتمد على جعل حركة السير في كل اتجاه من اتجاهات الإشارات المرورية تناسبية لطابور السيارات التي تنتظر الإشارة الخضراء الخاصة بذلك الاتجاه ومن أجل نتائج عملية وميدانية تمت مراقبة إحدى التقاطعات المرورية بمنطقة الحرم النبوي الشريف لفترات زمنية مختلفة والقيام بتسجيل كل البيانات الخاصة بحركة السيارات بها واستخدامها في اختبار النماذج النظرية التي تم تصميمها وساعدت هذه البيانات على تصحيح هذه النماذج ومن ثم تم اعتمادها لهذا الغرض. وبمحاكاة للنماذج المصممة واعتماد معادلة رياضية خاصة تم تطويرها من أجل احتساب فترات الضوء الأخضر في كل اتجاه على حسب عدد السيارات القادمة منه بينا من خلال هذه الدراسة انه بالإمكان تقليص الوقت الضائع عند هذه الإشارات.

ومن جهة أخرى يتواصل العمل من أجل دراسة اشمل تضم مجموع الإشارات المرورية داخل المنطقة المركزية للحرمين الشريفين والتنسيق بينها من اجل آلية تحكم شاملة كما نشير أنه بالإمكان تنفيذ هذا النظام وذلك باستخدام كاميرات مراقبة وحساسات لاسلكية (Wireless Sensors) لقياس طوابير السيارات على مستوى كل اتجاه من اتجاهات التقاطع ومن ثم نقل هذه البيانات إلى جهاز PLC الذي يقوم باحتساب الفترات الزمنية للضوء الأخضر التي تتناسب مع عدد السيارات لكل اتجاه.

٧- المراجع

[١] Diakaki, C., Papageorgiou, M., and Aboudolas, K.,"A multivariable regulator approach to traffic-responsive network-wide signal control", Control Engineering Practice, ١٠(٢), ١٨٣–١٩٥, ٢٠٠٢.

[٢] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., and Wang, Y., "Review of road traffic control strategies", Proceedings of the IEEE, ٩١(١٢), pp. ٢٠٤٣-٢٠٦٧, ٢٠٠٣.

[٣] Patel, M., and Ranganathan, N., "IDUTC: An intelligent decision making system for urban traffic-control applications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, ٥٠(٣), pp. ٨١٦-٨٢٩, ٢٠٠١.

[٤] Huang, Y. S., and Su, P. J., "Modelling and analysis of traffic light control systems", IET Control Theory and Applications, vol. ٣, Issue ٣, pp. ٣٤٠–٣٥٠, ٢٠٠٩.
[٥] Peterson, J. L., "Petri net theory and the modeling of systems", Prentice Hall, ١٩٨١.
[٦] Murata, T., "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceeding of the IEEE, vol. ٧٧, no.٤, pp. ٥٤١-٥٨٠, ١٩٨٩.
[٧] List, G. F., and Cetin, M., " Modeling Traffic Signal Control Using Petri Nets", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.٥, no.٣, Sept. ٢٠٠٤.
[٨] Alla, H., and David, R., "On hybrid Petri nets",Journal of Discrete Event Dynamic Systems, vol. ٨, no. ١–٢, pp. ٩–٤٠, ٢٠٠١.
[٩] Webster, F.V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper No. ٣٩, London, Her Majesty's Stationery Office, ١٩٥٨: reprinted with minor amendments, ١٩٦٩. ٢: Webster, F.V. and B.M. Cobbe, Traffic Signals, Technical Paper ٥٦, Road Research Laboratory, London, ١٩٦٦
[١٠] Wang, H., List, G.F., Dicesare, F., "Modeling and evaluation of traffic signal control using timed Petri nets", IEEE Proceedings of International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. ١٨٠–١٨٥, Le Touquet, France, ١٩٩٣.
[١١] Clement, S., and Anderson, J., "Traffic signal timing determination: the Cable model", Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, pp. ٦٣-٦٨, ١٩٩٧.
[١٢] Dinopoulou, V., Diakaki, C., and M. Papageorgiou, "Simulation investigation of the traffic-responsive urban control strategy TUC," , IEEE Proceeding of Intelligent Transportation Systems Conference, pp. ٤٥٨–٤٦٣, Dearborn, MI, ٢٠٠٠.
[١٣] Gao, H. J. , Li, L. X. , Liu, R., and Wang, Y. , "Changeable phases signal control of an isolated intersection", IEEE Proceedings of International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol.٥, ٤ pp.,Oct. ٢٠٠٢.
[١٤] Gang T., Fengying C., and Chunling F., "Genetic Algorithm and Its Application in the Real time Traffic Signal Optimization Control", Proceedings of ٦th International Conference on ITS Telecommunications, ٢٠٠٦
[١٥] *إدارة مرور* منطقة الرياض: *www.rt.gov.sa*