إيجاد طريقة احتمالية لحساب طول تخزين حارة المرور المخصصة للانعطاف إلى اليسار في التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية

د. خالد شهابي[1]

الملخص

يعبّر عن طول التخزين N لحارة المرور المخصّصة للانعطاف نحو اليسار (حارة الانعطاف لليسار) بدلالة عدد السيارات التي تستطيع تلك الحارة تخزينها خلال زمن اللون الأحمر الفعال للإشارة الضوئية المخصصة للانعطاف إلى اليسار. فإذا كان العدد الوسطي المتوقع لعدد السيارات التي ستنعطف نحو اليسار خلال الزمن الأحمر الفعال n سيارة، فإنه وفقاً للنظريات الاحتمالية لن يكون عدد السيارات القادمة فعلياً إلى التقاطع التي ستنعطف نحو اليسار n سيارة تماماً، وإنّما سيكون عددها أكثر أو أقل من n سيارة، فإذا كان عددها أكبر من طول تخزين حارة المرور اليسارية، فإن ذلك سيؤدي إلى تراكم زائد للسيارات في تلك الحارة وتدفق السيارات لتصل إلى حارة المرور المخصصة للحركة الأمامية، وتؤدي إلى انسدادها وعرقلة حركة المرور فيها. فكلما زاد طول تخزين حارة المرور اليسارية قلّ احتمال حدوث ذلك التراكم الزائد، والعكس صحيح. في هذا البحث أجريت دراسة تربط بين مقدار احتمال حدوث هذه العرقلة المرورية، وبين طول تخزين حارة المرور اليسارية، بحيث نستطيع من خلال أهمية الطريق أن نحدد الاحتمال المقبول لحدوث العرقلة المرورية ومن هذا الاحتمال نستنتج عدد السيارات التي يجب أن تستوعبها حارة الانعطاف لليسار (طول التخزين N).

الكلمات المفتاحية: حارة مخصصة للانعطاف لليسار، تقاطع منظم بإشارات ضوئية، طول التخزين، النظرية الاحتمالية، زمن دورة الإشارة الضوئية.

[1] مدرّس، قسم الهندسة المدنية والبيئة، كلية الهندسة، الجامعة الدولية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا، دمشق.

Finding a probability method to determine the storage length of the left-turn lane at signalized intersections

Dr.Khaled Shihabi[(1)]

Abstract

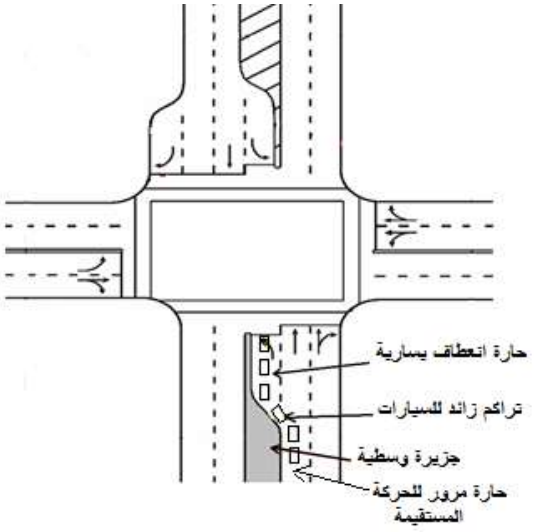
The storage length of left-turn lane is expressed as a function of the number of vehicles that can be stored during the effective red interval of signal left-turn phase. If the average expected number of vehicles[(1)] which will turn left is n, according to probability theory, the real number of vehicles that will arrive to the intersection and will turn left will not be exactly n. If the arriving left-turn cars are more than n, this will result in the left-turn lane overflow which in turn will block the through lane. The probability of the overflow occurring decreases with increasing of the left-turn lane storage length, and vice versa. This study seeks to find the relation between the left-turn storage length and the accepted probability of the overflow occurring. The accepted probability of the overflow occurring is based on the road importance. So, this relationship will lead to determine the storage length by determining the accepted probability of the spillover occurring.

Keywords: Left-turn only lane, Signalized intersection, Storage length, Probability theory, Effective red indication, Cycle length.

[(1)] Assistant Prof., International University of Science and Technology (IUST), Civil and Environment department, Engineering Faculty- Civil and Environment department.

1- مقدمة:

يتعلق طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية (left-turn lane) في التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية (signalized intersections) بعدد السيارات التي يجب أن تستوعبها هذه الحارة عندما يكون لون الإشارة الضوئية المخصصة لحركة الانعطاف نحو اليسار أحمر، بحيث يتم تصريف السيارات المخزنة في هذه الحارة كلّها خلال الضوء الأخضر للإشارة الضوئية. فإذا زاد عدد السيارات التي ستنعطف نحو اليسار القادمة إلى التقاطع خلال زمن اللون الأحمر على عدد السيارات التي تستطيح حارة المرور المذكورة استيعابها فستحدث إعاقة لحركة المرور الأمامية بسبب تراكم رتل السيارات في حارة الانعطاف اليسارية وامتداد الرتل ليصل إلى حارة مرور الحركة الأمامية التي تعدّ في التقاطعات هي الحركة الرئيسية الأهم. يسمى امتداد رتل السيارات ووصوله إلى حارة مرور للحركة الأمامية التراكم الزائد للسيارات Overflow كما يوضّح الشكل (1).



الشكل (1) حالة التراكم الزائد للسيارات التي ستنعطف لليسار في حارة المرور اليسارية.

فإذا قدّر العدد الوسطي للسيارات التي ستنعطف نحو اليسار والتي ستصل إلى التقاطع خلال الزمن الأحمر للإشارة الضوئية المخصصة لحركة الانعطاف نحو اليسار بأنه n سيارة، فإن عدد السيارات التي ستصل فعلياً إلى الحارة المذكورة خلال الزمن الأحمر لطور الإشارة الضوئية phase المخصص للانعطاف نحو اليسار لن يكون فعلياً مساوياً لـ n سيارة، وإنما سيزيد أو ينقص عنه، وذلك باحتمال ما، ومن ثمّ يجب تصميم حارة الانعطاف لليسار بطول تخزين N أكبر من n لتقليل احتمال حدوث إعاقة لحركة المرور الأمامية. هذا البحث محاولة لربط احتمال حدوث عرقلة لحركة المرور الأمامية (نتيجة تراكم السيارات في حارة الانعطاف اليسارية ووصول هذه السيارات المتراكمة إلى حارة مرور الحركة الأمامية) مع طول تخزين تلك الحارة، وذلك باستخدام نظريات الاحتمالات المستخدمة لهذا الغرض.

2- الهدف من البحث وأهميته:

من المهم جداً في الدراسات المرورية للطرق تقدير احتمال حدوث العرقلة لحركة المرور الأمامية عند التقاطع الناتجة عن تراكم السيارات في حارة الانعطاف اليسارية، إذ كلما زادت أهمية الطريق وجب أن ينخفض احتمال حدوث عرقلة للحركة الأمامية، وبالعكس، كلما قلّت أهمية الطريق أصبح بالإمكان قبول الزيادة في احتمال حدوث تلك العرقلة المرورية. ولكن تخفيض هذا الاحتمال تخفيضاً كبيراً، يُؤدي إلى زيادة طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية، بشكل كبير وهو أمر غيرمرغوب فيه لأنّ هذه الحارة يتم تنفيذها على حساب الجزيرة الوسطية. كما أن القبول بزيادة ذلك الاحتمال يُؤدي إلى إنقاص طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية وهو أمر مرغوب ولكن طبعاً مع زيادة احتمال حدوث العرقلة المرورية للحركة الأمامية. يتّضح مما سبق أنه يجب البحث عن احتمال متوازن

لحدوث تلك العرقلة، بحيث يتعلق مقداره أساسياً بأهمية الطريق (أهمية الحركة الأمامية للطريق عند التقاطع). في هذا البحث تم الوصول إلى طريقة مبسطة لتقدير طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية من خلال تقدير الاحتمال المقبول لحدوث عرقلة مرورية للحركة الأمامية نتيجة تراكم السيارات في تلك الحارة، وإيجاد منحنيات تربط هذا الاحتمال بطول التخزين، وتحويل تلك المنحنيات إلى علاقات رياضية تكون سهلة وقابلة للتطبيق ضمن الحدود العملية والتطبيقية لتقاطعات الطرق المنظمة بإشارات ضوئية.

3- استعراض مرجعي عن طول تخزين حارة المرور اليسارية:

هناك كثير من المراجع والمواصفات والإرشادات التي بحثت موضوع إيجاد طول تخزين حارة الانعطاف لليسار في تقاطعات الطرق المنظمة بإشارات ضوئية، إلاّ أنّ تلك الإرشادات الموجودة ماتزال محدودة الاستخدام، ولها تقييدات كثيرة لاستخدامها وتعتمد اعتماداً رئيسياً على غزارات المرور عند التقاطع [6]. ويمكن تقسيم تلك الطرق إلى الأنواع الآتية:

3-1 طرائق تجريبية تعتمد على الخبرة: منها طريقة تعتمد طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية بحيث تتسع لعدد سيارات يراوح من 1.5n إلى 2n سيارة، إذ n هي العدد الوسطي للسيارات القادمة إلى الذراع المدروس من التقاطع التي ستنعطف نحو اليسار خلال الزمن الأحمر الفعال للإشارة الضوئية [1]. ومنها طريقة تعتمد على علاقة رياضية تفترض أن السيارات التي تحتاج إلى تخزين في حارة الانعطاف اليسارية، هي وسطي عدد السيارات القادمة إلى التقاطع التي ستنعطف نحو اليسار خلال الزمن الأحمر للإشارة الضوئية خلال ساعة الذروة مع ضرب هذا العدد بـ 2 للأخذ بالحسبان عشوائية وصول السيارات [3] و[4]. فتصبح العلاقة التي تعطي طول تخزين حارة الانعطاف اليسارية هي:

$$N = 2 \times (V_l/3600) \times r_l \qquad (1)$$

اذ:

V_l- حجم المرور الساعي للسيارات التي ستنعطف نحو اليسار في ساعة الذروة (سيارة/ساعة).

r_l- الزمن الأحمر الفعال للإشارة الضوئية المخصصة لحركة الانعطاف نحو اليسار (ثانية).

N- طول التخزين لحارة الانعطاف اليسارية (سيارة).

العدد 2- معامل يأخذ بالحسبان العشوائية في غزارة المرور بحيث تأخذ بالحسبان احتمال قدره 2% لحدوث عرقلة مرورية للحركة الأمامية نتيجة تراكم السيارات في حارة الانعطاف اليسارية.

وهنالك طرائق فيها استخدمت جداول وخطوط بيانية. [3] و [4].

3-2 استخدام طرائق احتمالية: تستخدم توابع التوزيعات الاحتمالية في التطبيقات الهندسية لحساب احتمال حدوث حدث ما، أو لحساب الوثوقية في تصميم ما، ومن أكثرها استخداماً في هندسة المرور توزيع بواسون Poisson Distribution [2] و[5]. كما استخدم معظم الباحثين نظرية تشكّل الأرتال في دراستهم لطول التخزين المطلوب اذ انّ طول رتل السيارات يساوي الفرق بين عدد السيارات القادمة إلى التقاطع وعدد السيارات المغادرة خلال مدة زمنية.

3-3 طرائق تعتمد على المحاكاة (Simulation): تُعدّ المحاكاة من الوسائل العملية لتقدير طول الرتل للسيارات المنعطفة لليسار عند التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية وذلك بسبب التعقيد في نمذجة تشغيل التقاطع المنظم بإشارات ضوئية. وقد أعطت بعض البحوث التي استخدمت طرائق المحاكاة نتائجها بشكل جداول [4]، إلاّ

أنّ التقييدات الكبيرة لحدود استخدام طريقة المحاكاة هي أن نموذج المحاكاة يجب أن تتم معايرته وفحصه بعناية ليكون قادراً على تمثيل ظروف حركة المرور الحقيقية، ويكون هذا مقبولاً فقط من أجل مجموعة محددة من شروط حركة المرور على الطرق.

4- تحديد طول تخزين حارة الانعطاف لليسار بطريقة احتمالية:

بيّنت التطبيقات العملية للتوابع الاحتمالية المستخدمة في حساب طول تخزين حارة المرور اليسارية أنّ كلاً منها يعطي نتائج منطقية في مجالات وتطبيقات محددة فقط. في هذا البحث حدّد طول تخزين حارة المرور اليسارية اعتماداً على الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد للسيارات في تلك الحارة، أي الاحتمال المقبول لحدوث عرقلة لحركة المرور في الحارات المخصصة للحركة الأمامية. استخدم معظم الباحثين التابع الاحتمالي لتوزيع بواسون، وهو الأكثر قرباً من الواقع في الدراسات المرورية [2] و[5]، لذلك استخدم هذا التوزيع (بواسون) في هذا البحث.

بفرض أن الغزارة الوسطية لحركة المرور المُتّجهة نحو اليسار (على الذراع المدروس للتقاطع) هو V_l سيارة/ساعة، فيعطى العدد الوسطي للسيارات المنتظرة في حارة المرور اليسارية بالعلاقة (2) وذلك خلال الزمن الأحمر الفعال r_l (بالثانية) لطور الحركة اليسارية للإشارة الضوئية.

$$n = (V_l/3600) \times r_l \qquad (2)$$

اذ:

n- معدّل (وسطي) عدد السيارات القادمة إلى التقاطع التي ستتعطف نحو اليسار خلال الزمن الأحمر الفعال لطور الإشارة الضوئية المخصصة للانعطاف نحو اليسار (سيارة).

V_l و r_l عُرّفتا في المعادلة (1).

بفرض أن طول تخزين حارة المرور اليسارية هو N سيارة، فإذا كان عدد السيارات القادمة إلى التقاطع التي ستتعطف نحو اليسار خلال الزمن الأحمر الفعال r_l أقل، أو يساوي N سيارة، فلن يحدث أي تراكم زائد يعيق الحركة الأمامية، أمّا إذا قدمت أكثر من N سيارة، فعندها سيحدث تراكم زائد يعيق الحركة الأمامية. ومن ثمّ فإن احتمال حدوث هذا التراكم الزائد هو نفسه احتمال قدوم أكثر من N سيارة خلال الزمن r_l . ويُعطى احتمال قدوم x سيارة خلال الزمن r_l باستخدام علاقة بواسون:

$$p(x) = \frac{n^x.e^{-n}}{x!} \qquad (3)$$

فإذا صمّم طول التخزين بطول N سيارة، يكون احتمال قدوم أكثر من N سيارة خلال الزمن r_l هو:

$$p(x > N) = 1 - p(x \leq N) \qquad (4) \quad .$$

ومن ثمّ يحسب هذا الاحتمال يتم حساب احتمال عدم وصول أي سيارة خلال الزمن r_l باستخدام العلاقة (3)، ثم حساب احتمال وصول سيارة واحدة، ثم احتمال وصول سيارتين، وهكذا حتى الوصول إلى احتمال وصول N سيارة، ونجمع هذه الاحتمالات فنحصل على احتمال وصول N سيارة أو أقل خلال r_l ، أي $p(x \leq N)$، ومنها نحصل على الاحتمال المطلوب $p(x > N)$ من العلاقة (4) (وهو احتمال حدوث تراكم زائد).

أخذت قيم عملية لـ n تراوح من 1 إلى 10، ومن أجل كل قيمة لـ n حسب احتمال حدوث تراكم زائد فيما لو استخدم طول تخزين N بسعة سيارتين، ثم بسعة ثلاث سيارات، وأربع، وهكذا حتى الوصول إلى سعة 18 سيارة، حيث تمت الاستعانة ببرنامج Microsoft Excel لهذا الغرض. يبيّن الجدول (1) هذه الاحتمالات من أجل n=10

الجدول (1) احتمال حدوث تراكم زائد بدلالة طول تخزين حارة المرور اليسارية N من أجل n=10

n=10		veh
N	p(x<=N)	p(x>N)
14	0.917	0.083
15	0.951	0.049
16	0.973	0.027
17	0.986	0.014
18	0.993	0.007

أي لو كان المعدّل الوسطي لغزارة مرور السيارات التي ستنعطف نحو اليسار 1000 سيارة/ساعة، وكان الزمن الأحمر الفعّال لطور الإشارة المخصص للانعطاف نحو اليسار 36 ثانية، لكان:

$$n=(Vl/3600).rl=(1000/3600).36=10$$

نستطيع عندها استخدام الجدول (1) لأن حساباته تمت من أجل n=10، ومن ثمّ من أجل هذه الغزارة المرورية، ومن أجل زمن أحمر فعال قدره 36 ثانية نستطيع استخدام الجدول كما يأتي:

استخدمت حارة مرور يسارية بطول تخزين قدره 14 سيارة لكان احتمال حدوث تراكم زائد في تلك الحارة يؤدي إلى حدوث عرقلة للحركة الأمامية هو 8.3%، في حين لو استخدمت طول تخزين قدره 16 سيارة لانخفض الاحتمال إلى 2.7%. ويمكن استخدام الجدول بشكل معاكس، أي لوكان الاحتمال المقبول لحدوث التراكم الزائد هو p=5% لكان طول التخزين المطلوب لحارة المرور اليسارية هو 15 سيارة.

كرّرت العملية من أجل القيم المختلفة التي يمكن أن نصادفها في الحياة العملية لـ n (من 1 حتى 10)، وألغيت قيم الاحتمالات غير المقبولة عملياً لحدوث التراكم الزائد، إذ إنّ الاحتمال المقبول لحدوثه في حارة المرور اليسارية يتبع أهمية حارات المرور المُتّجهة نحو الأمام من الطريق (ذات الحركة الأمامية)، فكلما زادت أهمية الطريق وجب أن ينخفض الاحتمال المقبول لحدوث التراكم الزائد، ومن ثمّ ينخفض احتمال حدوث عرقلة للحركة الأمامية، وقد بّينت معظم البحوث أن هذا الاحتمال يراوح من 2% إلى 5% للطرق الرئيسية [4] وقد يصل إلى 10% للطرق المحلية، واقتُرح الجدول (2) للاحتمال المقبول.

الجدول (2) الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد في حارة المرور اليسارية حسب أهمية الحركة الأمامية للطريق.

أهمية الطريق	تصنيف الطريق ووصفه	الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد
طريق هام جداً	طريق شرياني رئيسي، طريق سريع، طريق مراسم، طريق رئيسي يصل إلى مشفى مركزي مهم.	%2
طريق مهم	طريق شرياني ثانوي، طريق رئيسي يصل إلى مشفى مركزي.	%4
طريق متوسط الأهمية	طريق تجميعي رئيسي	%5
طريق عادي	طريق تجميعي ثانوي	%7
طريق غير مهم	طريق محلية	%10

بعد أن ألغيت الاحتمالات غير المقبولة واكتفي بالحسابات المتعلقة باحتمالات تراوح من 1% إلى 10% فقط، وضعت النتائج في الجدول (3) الذي يمكن استخدامه لإيجاد احتمال حدوث تراكم زائد في حارة المرور اليسارية بدلالة طول تخزينها من أجل قيم مختلفة لـ n، أو لحساب طول التخزين بدلالة الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد من أجل قيم مختلفة لـ n.

وفي الشكل (2) رسمت منحنيات تمثل الجدول (3) يمكن استخدامها بيانياً بديلاً عن الجدول لإيجاد طول التخزين المطلوب بدلالة الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد p.

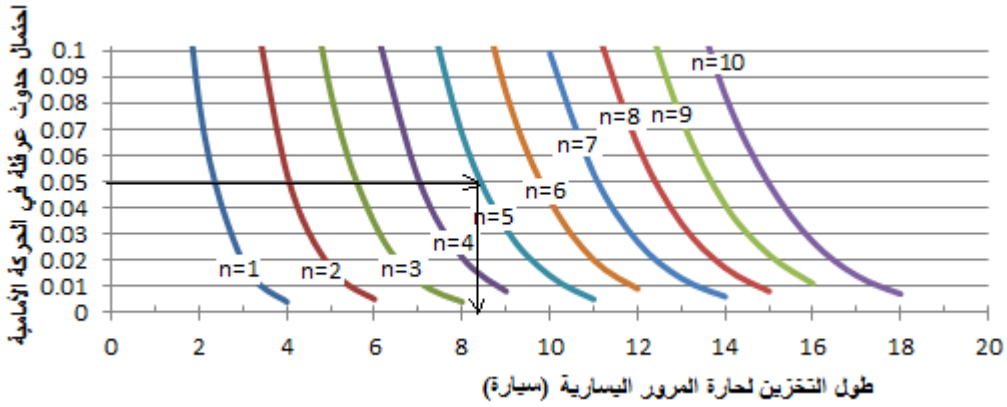
وبذلك أصبح بالإمكان من خلال تقييم أهمية الحركة الأمامية في الفرع المدروس من التقاطع تقدير الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد وعرقلة للحركة الأمامية للطريق،

ومن هذا الاحتمال ومن قيمة n نستطيع باستخدام الجداول أو المنحنيات المستنتجة في هذا البحث إيجاد طول التخزين اللازم لحارة الانعطاف اليسارية وفق الاحتمال المقبول.

مثال على استخدام المنحنيات: لو كان لدينا طريق متوسطة الأهمية، ووصل هذا الطريق إلى تقاطع منظم بإشارات ضوئية فيه حارة مرور مخصصة للانعطاف نحو اليسار، غزارة مرور السيارات المنعطفة نحو اليسار 600 سيارة/ساعة، والزمن الأحمر الفعال للإشارة الضوئية 30 ثانية.

الجدول (3) قيم احتمال حدوث تراكم زائد بدلالة طول التخزين من أجل قيم لـ n من 1 إلى 10

طول التخزين N	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
1										
2	0.08									
3	0.019	0.143								
4	0.004	0.053								
5		0.017	0.084							
6		0.005	0.034	0.111						
7			0.012	0.051	0.133					
8			0.004	0.021	0.068	0.153				
9				0.008	0.032	0.084				
10					0.014	0.043	0.099			
11					0.005	0.02	0.053	0.112		
12						0.009	0.027	0.064	0.124	
13							0.013	0.034	0.074	
14							0.006	0.017	0.041	0.083
15								0.008	0.022	0.049
16									0.011	0.027
17										0.014
18										0.007



الشكل (2) منحنيات احتمال حدوث تراكم زائد حسب طول تخزين الحارة N من أجل قيم مختلفة لـ n

يحسب طول تخزين حارة المرور اليسارية وفق الطريقة المقترحة كما يأتي:

نحسب n من العلاقة (2):

n=(Vl/3600).rl=600/3600*30=5

ـ من الجدول (2) وباعتبار الطريق متوسطة الأهمية يكون الاحتمال المقبول لحدوث عرقلة مرور في الحركة الأمامية هو 5%.

. من المخطط في الشكل (2) نوجد طول التخزين على المحور الأفقي اذ نجد أنه يساوي أكثر من ثمانية بقليل أي يمكن عدّ طول التخزين 9 سيارات.

ملحوظة: يمكن الحصول على النتيجة نفسها باستخدام الجدول (3).

5- استنتاج علاقة تربط بين احتمال حدوث تراكم زائد في حارة الانعطاف لليسار وطول تخزينها:

أوجدت العلاقة الرياضية الممثلة للمنحنيات السابقة بطريقة التحليل الانحداري Technique Analysis Regression وتبيّن أنّها من الشكل:

$$N = A.\ln(p) + B \qquad (5)$$

إذ:

p احتمال حدوث عرقلة مرورية فيما لو كان طول تخزين حارة المرور اليسارية N سيارة.

A و B ثابتان تم إيجاد قيمتيهما في العلاقتين (6) و(7) وكانت قيمة معامل الارتباط R2>0.98.

$$A = -0.11n - 0.795 \qquad (6)$$

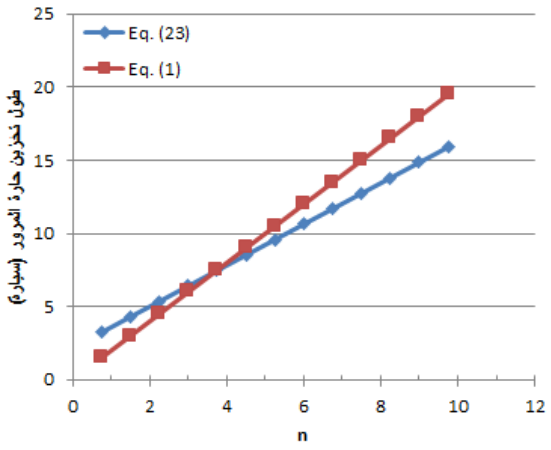
$$B = 0.977n - 0.917 \qquad (7)$$

وبالتعويض في المعادلة (5) تنتج المعادلة العامة المستنتجة في هذا البحث لإيجاد طول تخزين حارة المرور اليسارية:

$$N = (-0.11n - 0.795).\ln(p) + 0.977n - 0.917 \qquad (8)$$

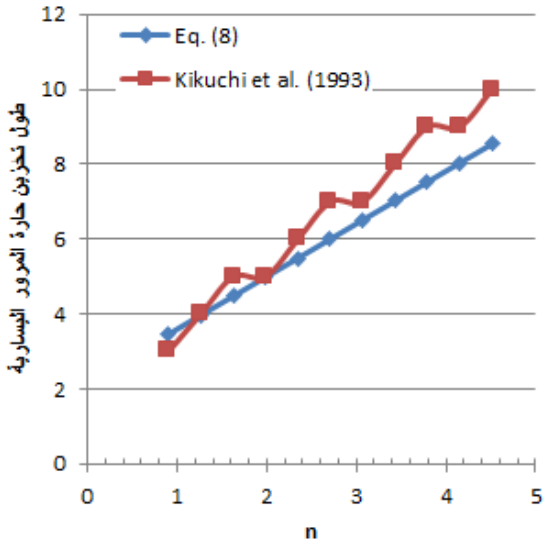
6- تقييم العلاقة المستنتجة:

لتقييم العلاقة (8) المستنتجة قورنت بطرائق أخرى مستخدمة في المراجع والكودات وذلك لعدة قيم لـ n وللاحتمال المقبول، إذ يبيّن الشكل (3) مقارنة نتائج العلاقة (8) بنتائج استخدام العلاقة التجريبية رقم (1) باعتبار الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد هو 2% (وهو الاحتمال الذي اعتمد في العلاقة 2)، وسبب التباين في النتائج أن العلاقة (1) التي تمت المقارنة بها تعتمد على التجريب والخبرة في حين تعتمد العلاقة (8) طريقة احتمالية رياضية.



الشكل (3) مقارنة نتائج العلاقة (8) بنتائج استخدام العلاقة التجريبية رقم (1).

كما يبيّن الشكل (4) نتائج مقارنة العلاقة (8) بدراسة قام بها Kikuchi et al. (1993) [4]، إذ يبيّن هذا الشكل أن التباين فيه أقل من التباين في الشكل السابق (3).



الشكل (4) نتائج مقارنة العلاقة (8) بدراسة قام بها Kikuchi et al. (1993).

7- النتائج:

- تم إيجاد علاقة رياضية لإيجاد طول تخزين حارة المرور المخصصة للانعطاف لليسار بحيث تأخذ هذه العلاقة الاحتمال المقبول لحدوث تراكم زائد فيها بالحسبان، ولم تقتصر كما معظم الطرائق الموجودة على احتمال واحد محدد لحدوث التراكم الزائد.
- أظهرت المقارنات التي أجريت لتقييم العلاقة التي توصلنا إليها أنّها تعطي نتائج دقيقة من أجل $n\leq 5$، وتعطي نتائج مقبولة عملياً ضمن حدود الفرضيات التي اعتمدت في أثناء استنتاجها، أي انّ هذه العلاقة مقبولة ضمن الشروط الآتية:
  - هناك طور للإشارة الضوئية خاص بحركة الانعطاف نحو اليسار.
  - تصلح العلاقة لاستخدامها من أجل احتمالات تراوح من 1% إلى 10% لحدوث تراكم زائد، وهي احتمالات تشمل المجالات المقبولة.
  - تصلح العلاقة من أجل قيم لـ n تراوح من 1 إلى 10 سيارات، وهي الحدود التي غالباً ما نواجهها عملياً.

REFERENCES

1. **AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). A policy on Geometric Design of Highway and streets, Washington, DC. AASHTO 6th edition, 2011.**
2. **Fred L. Mannering, Walter P. Kilareski, and Scott S. Washburn. "Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 5th edition, 2013.**
3. **Howard Preston, PE, "Design of Turn Lane Guidelines", CTS Transportation Research Conference, May 24, 2012.**
4. **Lei Yu, Yi Qi, Mehdi Azimi, Chenyan Guo, and Lei Guo. "Left-Turn Lane Design and Operation", Federal Highway Administration (FHWA). Department of Transportation Studies, Texas Southern University, August 2007.**
5. **Lester A. Hoel, Nicholas J. Garber, and Adel W. Sadek. "Transportation Infrastructure Engineering, A Multimodal Integration", Cengage Learning, SI edition, 2011.**
6. **Vijayendra R. Lakkundi, Brian Park, Nicholas J. Garber, and Michael D. Fontaine. "Development of Left-Turn Lane for Signalized and Unsignalized Intersections". Virginia Transportation Research Council. 2004.**
7. **Yi Qi, Lei Yu, Mehdi Azimi, and Lei Guo. "Determination of Storage Lengths of Left-turn Lanes at Signalized Intersections", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014.**

Received	2017/02/06	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2017/06/01	قبول البحث للنشر