

أهمية نظم الاستنتاج الضبابي في إيجاد مستويات الازدحام على الطرق الشريانية

الدكتورة شذى أسعد *

علي شقيره **

(تاريخ الإيداع 12 / 9 / 2018. قُبل للنشر في 22 / 4 / 2019)

□ ملخص □

يعتبر الازدحام المروري من أكثر مشاكل النقل الحضري وأكثرها تعقيداً، إذ أنه ظاهرة ديناميكية تتطلب نهجاً متكاملًا ومتعدد المستويات لفهمها، ورؤية استراتيجية لإدارتها بعيداً عن الطرق التقليدية، وذلك بإيجاد مقياس للازدحام يساعد على فهم سلوك الحركة على الشوارع الشريانية، وإيجاد علاقة تفاعلية بين شبكة الطرق والمستخدمين وأنظمة المرور.

يبرز من خلال هذا البحث الدور الحيوي لمنهجية الاستنتاج الضبابي لتقييم مستويات الازدحام المروري على القطاعات والطرق الشريانية ضمن شبكة الطرق المدنية، حيث تم توضيح الفرق بين الطرق التقليدية التي تعتمد على مقاييس فردية، وطريقة الاستنتاج الضبابي التي تعتمد على دمج عدة مقاييس فردية ضمن مقياس مركب لقياس مستويات الازدحام المروري. وهنا تم اتخاذ مقياس أداء السرعة كمثال عن المقاييس الفردية.

حيث تم تقسيم الطريق المذكور إلى قطاعات بمسافات مختلفة وحساب السرعات اللحظية والمتوسطة والزمن اللازم لعبور كل قطاع، خلال ساعة الذروة وخارجها و تم حساب البارامترات والمؤشرات اللازمة لعملية المقارنة بين المنهجين، حيث في البداية تم قياس سرعة العربة خلال فترات ساعة الذروة بواسطة جهاز GPS بسيط، ثم استنتاج مستويات الازدحام من خلال مؤشر أداء السرعة، ثم مقارنتها مع مستويات الازدحام المحسوبة بطريقة الاستنتاج الضبابي، حيث تم انشاء موديل ضبابي عبر دمج مؤشرين هما: نسبة السرعة المنخفضة جداً، ومعدل سرعة الرحلة، وتبين وجود فروقات بين الطريقتين، مما يوضح أهمية استخدام المنطق الضبابي في المسائل المرورية، وخاصة الازدحام المروري.

الكلمات المفتاحية: الازدحام المروري، اللابيين، منهج الاستنتاج الضبابي، مؤشرات الازدحام.

*أستاذة مساعدة - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

Assad.shaza@gmail.com

** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

engalishkera@gmail.com

The importance Of Fuzzy Inference System In evaluating Traffic Congestion On Arterial Streets

Dr. Shaza Assaad*

Ali Shkera**

(Received 12 / 9 / 2018. Accepted 22 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

Traffic congestion is one of the most complex and complex urban transport problems. It is adynamic phenomenon that requires an integrated and multi-level approach to understanding it and a strategic vision to manage it away from traditional methods by finding a measure of congestion that helps to understand traffic behavior on the arterial streets, Roads, users and traffic systems.

This research highlights the vital role of the participatory conclusion methodology for assessing the levels of irrigated congestion on sectors and arterial roads within the urban road network, where the difference between traditional methods based on individual measurements and the fuzzy Inference method is based on the integration of several individual measurements into a composite scale Traffic congestion levels.

Here, the measure of speed performance index was taken as an example of individual measures.

This route was divided into sectors of different distances, calculation of the intraday and intermediate speeds and the time necessary to cross each sector during peak hour and beyond, and then calculating the parameters and indicators needed for the comparison between the two methodologies.

The speed of vehicles were measured during peak hour periods by a simple GPS device, then the congestion levels were defined through the speed performance indicator, then compared to the calculated congestion levels through the fuzzy method. Fuzzy model was created by combining two indicators: very low speed ratio and the travel speed rate, and there are differences between the two methods, which illustrates the importance of using fuzzy logic in traffic issues, especially traffic congestion.

Key words: Traffic Congestion, uncertainty, fuzzy inference system.

* Assistant Professor of Transportation Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Assad.shaza@gmail.com

** Postgraduate student, Transportation Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. engalishkera@gmail.com

مقدمة

ترافق ازدياد الحجوم المرورية مع الارتفاع الكبير في عدد العربات في القطر العربي السوري خلال السنوات الماضية، حيث تواجه المدن السورية مشكلة مرور شديدة تتمثل بالدرجة الأولى بظاهرة الازدحام التي تؤثر على العديد من مجالات الحياة الاقتصادية والبيئية والصحية والتي تؤثر أيضا بالتأكيد على حركة المرور، من حيث زيادة قيمة التأخير على القطاعات الطرقية وزيادة أعداد الحوادث، الخ.. تساهم هذه المشاكل ليس فقط في خسارة القوة البشرية العاملة وضعف إنتاجيتها، وإنما تؤدي إلى زيادة في استهلاك الوقود وإلى تطور المشاكل النفسية للسائقين والمنتقلين على حد سواء، بالإضافة لزيادة تلوث الهواء من خلال غازات عوادم السيارات.

في تقرير صادر عن البنك الدولي، يتم هدر حوالي 47 مليار جنيه أي ما يعادل 8 مليار دولار أمريكي كل عام في منطقة القاهرة الحضرية الكبرى بسبب زحمة السير ومن المتوقع أن يرتفع إلى 501 مليار جنيه بحلول 2030 [1]. أيضا قدر التقرير التكاليف الاقتصادية الناتجة عن زحمة السير في منطقة القاهرة الحضرية الكبرى بنحو 3.6% من الناتج المحلي الإجمالي في مصر، الذي بلغ في عام 2011 حوالي 229.5 مليار دولار أمريكي. يتم توزيع التكاليف الاقتصادية الناتجة عن زحمة السير على السكان المقيمين في منطقة القاهرة الحضرية الكبرى والذين يبلغ عددهم 19.6 مليون نسمة، وينتج عن ذلك تكلفة للفرد الواحد تبلغ حوالي 2400 جنيه أي \$400 في عام 2010، ومن المتوقع أن وأن تستمر هذه الأرقام في الارتفاع حتى عام 2030 [1].

وجاء في نفس الدراسة، تمثل الاثار الصحية التي تخلفها الانبعاثات الناتجة عن زحمة السير 19% من إجمالي التكاليف تعد ثاني أكبر مساهم في التكاليف الناتجة عن زحمة السير، والتكاليف المرتبطة بتلوث الهواء تقدر (0.8-1) % من الناتج المحلي الإجمالي في مصر، أما الوقود المهدور بسبب الازدحام فيمثل 14% من إجمالي التكاليف، من حيث تكلفة الإعانات التي تقدمها الحكومة [1].

في عام 2015 شهدت صناعة النقل بالشاحنات أكثر من 996 مليون ساعة تأخير على الطرق السريعة نتيجة للازدحام المروري. هذا التأخير يعادل ما عدده 362.243 سائق شاحنة تجارية يجلسون في حالة خمول لسنة عمل كاملة. وفي حال تطبيق متوسط الكلفة التشغيلية للساعة في عام 2015 والبالغ \$63.7 أي ما يعادل أكثر من 63.4 مليار دولار من التكاليف التشغيلية المضافة لصناعة النقل بالشاحنات [2].

في عام 2015 فقط قدر أن الأمريكيين هدرنا حوالي 75 مليار ساعة في المرور، وأن التشغيل الآلي للمركبات يمكن أن يوفر 507 مليار دولار من الإنتاجية، وبالإضافة 448 مليار دولار لتقليل الحوادث، و138 مليار دولار لتخفيف الازدحام.

وقد وجد الذي أجراه البوفيسور دونالد شوب، من جامعة كاليفورنيا، أن ما يقارب 30% من حركة المرور في المناطق المدنية في الولايات المتحدة يرجع للسائقين الذي يبحثون عن أماكن لوقوف السيارات [3].

تشير نتائج الدراسة أيضا أنه (23-45)% من الازدحام المروري في العاصمة يحدث حول التقاطعات. تعد التقاطعات والمواقف من العوامل الرئيسية للازدحام المروري، تلوث الهواء، تدهور البيئة.

بالنسبة لموسكو، إسطنبول، بكين، مكسيكو سيتي، ريو دي جانيرو، فإن الوقت الضائع أعلى في هذه المدن. يمكن للسائقين قضاء أكثر 100 ساعة في العام في ازدحام المرور.

بالتالي نحن بحاجة لنظام لقياس مستويات الازدحام، الذي يؤمن لمهندسي المرور وصانعي القرار إمكانية تحديد المشكلات واستراتيجيات تخفيف الازدحام الفعالة. وأيضاً مقارنة الظروف المرورية في مواقع مختلفة بالتالي ترتيب الأولويات، من حيث اختيار أماكن التحسين لمستوى الخدمة.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تحديد مقياس ملائم يعكس مستويات الازدحام على الطرق السريعة الشريانية، والذي يمكن من خلاله تحديد التحسينات الضرورية اللازمة لتطوير نظام إدارة والتحكم بالحركة المرورية على المحور الشرياني المدروس.

إن معالجة موضوع الازدحام يتطلب نهجاً متكاملاً ومتعدد المستويات مع رؤية استراتيجية متكاملة لسياسات إدارة الازدحام، ومنه فإن إيجاد مقياس الازدحام يمكن أن يوفر بنية تحتية مهمة لفهم ظاهرة الازدحام وسلوك الحركة وتحليل احتياجات مستخدمي الطريق ومعدلات التدفق، ومن ثم إيجاد علاقة تفاعلية بين شبكة الطرق والمستخدمين وأنظمة المرور لتطوير خطط النقل التي تشمل:

- تعزيز التدفق المروري، وبالتالي تخفيف الازدحام والتكدس المروري.
 - تقليل زمن الرحلة.
 - تحسين مستوى السلامة المرورية الناتج عن انخفاض الحوادث التي يسببها الازدحام.
 - تخفيض تكاليف خدمات النقل، والحد من التلوث البيئي بكافة أنواعه.
- يمكن أن تصنف مقاييس الازدحام ضمن أربع مجموعات: مقاييس رئيسية، مقاييس نسبية، مستوى الخدمة، مؤشرات، وتم توضيح نقاط الضعف والقوة لكل مجموعة [3]:
1. **مقاييس رئيسية:** هي متعلقة بقيمة التأخير المقدرة. التأخير تم تعريفه بأنه الوقت الإضافي الذي قضاها مستخدم الطريق مقارنة مع وقت الرحلة بظروف الجريان الحر.
 2. **المقاييس النسبية:** المقاييس النسبية للازدحام المروري وضعت بتقسيم زمن الرحلة على التأخير، أو بالعكس، مثل (قيمة التأخير، معدل التأخير النسبي، نسبة التأخير).
 3. **مقاييس مستويات الخدمة:** بشكل عام، استخدام مستوى الخدمة (LOS) كان واحداً من أكثر المقاييس الازدحام شهرةً. تم اعتماد مفهوم (LOS) من قبل دليل سعة الطرق Highway Capacity Manual عام 1985 ليمثل مجال الظروف التشغيلية للطريق. معيار مستوى الخدمة لمنشأة يحدد من خلال خصائص التدفق المروري مثل كثافة العربات، نسبة الحجم للسعة، معدل السرعة، وقيمة التأخير على التقاطعات، حسب نوع المنشأة.
 4. **مؤشرات (Index):** بعض الباحثين طوروا مؤشرات للازدحام المروري عبر إدخال العديد من العناصر المتعلقة بالازدحام ضمن معادلة واحدة لإنتاج مقياس واحد، قدمت العديد من المؤشرات مثل:
 - مؤشر الازدحام (Congestion Index).
 - مؤشر عبء الازدحام" لقياس الازدحام، وقد تم حسابه بضرب معدل السفر لكل منطقة مدنيّة بنسبة القوى العاملة الذاهبية إلى العمل.
 - مؤشر ازدحام الطرق (Roadway congestion index (RCI).

تم تطوير العديد من الموديلات الاحصائية والجبرية خلال العقود الماضية لحل مشاكل مهندسي النقل والمواصلات المعقدة. هذه الموديلات الرياضية تستعمل صيغ ومعادلات مختلفة لحل هذه المشاكل، لكل مقياس مزاياه وقيوده ولا يمكن تعريف الازدحام باستخدام مقياس واحد فقط، بالتالي من الضروري تطوير عملية تجمع بين مختلف أساليب قياس الازدحام المروري وجمعها ضمن موديل واحد. ولكن في الحياة العملية، غالباً ما تواجهنا بعض المعلومات اللغوية التي يصعب تحديد كميتها باستخدام التقنيات الرياضية الكلاسيكية.

هذه المعلومات اللغوية هي تمثل معرفة ذاتية (subjective knowledge) أي تختلف من شخص لآخر. وبما أننا غير قادرين على تحديد كمية مثل هذه المعلومات، تم تقديم العديد من الافتراضات من قبل المحللين عند صياغة الموديلات الرياضية وفي كثير من الاحيان تم تجاهل مثل هذه المعلومات اللفظية [4].

تم اقتراح منهج جديد لتقدير الازدحام باستخدام التقنيات الضبابية على شبكة الطرق الرئيسية باستخدام معلومات مرورية، حيث من المعروف جيداً أن المنطق الضبابي مناسب للتعامل مع المسائل الغير الخطية في الطبيعة مثل المشاعر الإنسانية.

طرائق البحث ومواده

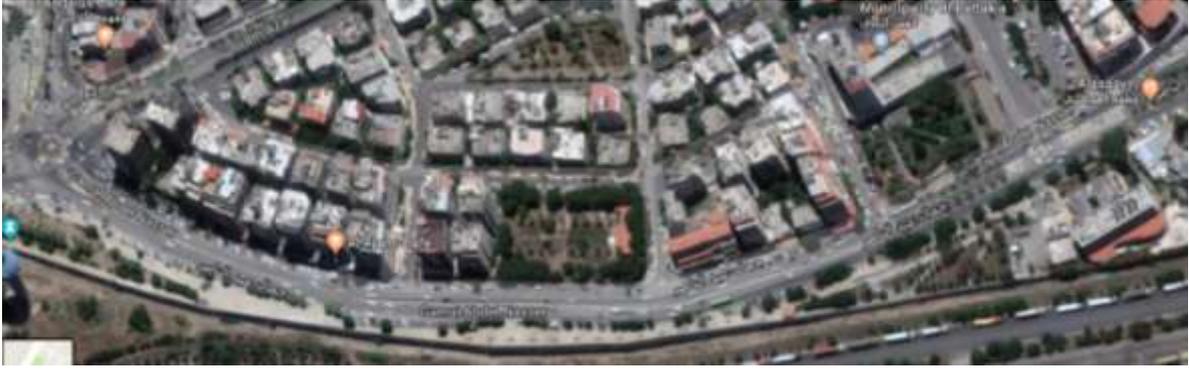
بالاعتماد على القياسات الحقلية فقد تم أخذ قياسات السرعة الآتية عبر جهاز GPS بسيط تمكنا بواسطته من الحصول على قيم السرعة العظمى والدنيا والمتوسطة لكل قطاع من الشريان المدروس، وأيضاً الحصول على الزمن اللازم لعبور كل قطاع.

أجريت الدراسة على شارع جمال عبد الناصر في مدينة اللاذقية خلال الفترة الممتدة بين 2016/1/15 و 2018/6/20، وهو شارع رئيسي يمتد من دوار عدن وصولاً إلى نقابة المهندسين، اتجاه الشارع (شمال-جنوب) مكون من اتجاهين للحركة يفصل فيما بينها جزيرة وسطية، السرعة المسموحة 45km/h وبطول 1925m.

يمتاز المحور برصيف واسع من الجهة الغربية تتوزع فيه عدد من المقاعد الخشبية وتظله الأشجار الوارفة يضاف إليها مواقف للعربات موزعة بشكل متناوب على كلا الاتجاهين (6 مواقف لاتجاه الذهاب و 8 مواقف لاتجاه الإياب).

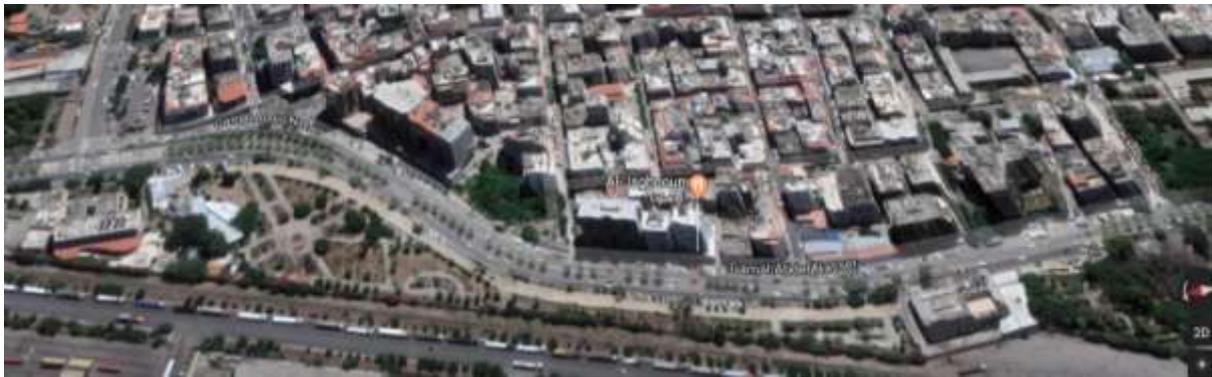
يلاحظ غياب العلامات الأرضية (الطلاء الطرقي) المحددة للحارات المرورية وكذلك غياب ممرات واضحة ومحددة للمشاة على المحور وكذلك في موقع التقاطع أمام نادي الضباط مع قلة في الشاخصات على الرغم من أهميتها في عملية التحكم المروري، ويشار أيضاً إلى توضع أعمدة الإنارة على كلا الرصيفين وانتشار بعض المنشآت السياحية من مطاعم ومقاهي. يوجد على المحور تقاطع أمام نادي الضباط على شكل T يتكون من ثلاثة أذرع، تنظم الحركة المرورية على هذا التقاطع باستخدام إشارات ضوئية.

القطاع الأول يمتد بطول 525m، يمتد من دوار عدن حتى الإشارة قبل مهوى العصافيري، عرض الشارع 20m، حارتي مرور لكل اتجاه بعرض 3.6m لكل حارة، عرض الجزيرة الوسطية 1.75m، وعرض الرصيف 6m.



الشكل (1) شارع جمال عبد الناصر - قطاع 1

يمتد القطاع الثاني بطول 625m وعرض 20m، يمتد حتى تقاطع القنصلية البريطانية مقابل حديقة البطرنة، مكون من حارتي مرور لكل اتجاه، عرض الحارة 3.6m، عرض الجزيرة الوسطية حوالي 3m، وعرض الرصيف 0.6m.



الشكل (2) شارع جمال عبد الناصر - قطاع 2

أما القطاع الثالث فهو بطول 775 m، عرض الشارع 20m، وحارتين لكل اتجاه، عرض حارة 3.6m، عرض الجزيرة الوسطية 0.8m، والرصيف بعرض 0.4m.



الشكل (3) شارع جمال عبد الناصر - قطاع 3

✓ **جمع المتغيرات المرورية:** تعتبر سرعة العربة من المؤشرات الهامة التي تعكس حالة الازدحام على القطاعات ويمكن استخدامها كمتغير في الموديل الضبابي.

بشكل عام عندما تتحرك العربة بسرعة قريبة من سرعة الجريان الحر، يمكن استنتاج أن الطريق خالٍ من الازدحام المروري، ومن ناحية أخرى عندما تتحرك العربة بسرعة منخفضة يعكس ذلك حالة ازدحام على الطريق المدروس [6]. حيث تم قياس سرعة الرحلة الحقيقية للحظية لكل قطاع عدة مرات ومن ثم تم أخذ القيمة الوسطية، بالإضافة لزمّن الرحلة اللازم لعبور كل قطاع.

قمنا بدراسة شارع المغرب العربي خلال ساعات الذروة النهارية التي تمتد من الساعة صباحاً حتى الثالثة بعد الظهر، حيث تم أخذ فقط جهة واحدة من الطريق المدروس، وتم أخذ قيم سرعة الرحلة للحظية الأدنى وقيم زمن الرحلة الأعلى لإيجاد وتمثيل يوضح الواقع الحقيقي للازدحام.

✓ **تقييم شارع جمال عبد الناصر وفق مؤشر أداء السرعة (speed performance index):**

بعد قياس قيم سرعات الرحلة عدة مرات بواسطة جهاز GPS، تم أخذ الحالة التي تعبر عن أطول فترة زمنية لازمة لعبور كل قطاع.

قدم مكتب بكين لإدارة المرور (Beijing Traffic Management Bureau (BTMB)) مؤشر أداء السرعة كمؤشر لتقييم حالة المرور في الطرق المدنية. قيمة المؤشر تتراوح (0 to 100) وهي تعكس النسبة بين سرعة العربة والسرعة القصوى المسموحة.

اعتمدت الدراسة ثلاث قيم حدية كمعيار تصنيف لحالة المرور في الطرق المدنية وهي (25، 50، 75). استناداً إلى مقياس التقييم هذا، نحدد مؤشر ازدحام قطاعات الطرق لتحليل الازدحام المروري لشبكات الطرق الحضرية [6].

الجدول (1) معيار التقييم لمؤشر أداء السرعة على الطرق الشريانية

[75,100]	[50,75]	[25,50]	[0,25]	مؤشر أداء السرعة
ازدحام خفيف جدا	ازدحام خفيف	ازدحام متوسط	ازدحام شديد	مستوى حالة المرور

تقييم القطاعات بناء على مؤشر أداء السرعة:

الجدول (2) قيم سرعة الجريان الحر لقطاعات شارع جمال عبد الناصر

قطاع 3		قطاع 2		قطاع 1	
SPEED (KM/H)	النقطة	SPEED (KM/H)	النقطة	SPEED (KM/H)	النقطة
57.5	1	55.11	1	65	1
54.9	2	50.98	2	70	2
54	3	55.67	3	67	3
50.26	4	51.71	4	65	4
50.17	5	55.37	5	69	5
50.04	6	55.6	6	65	6
55.9	7	52.96	7	65	7
53.54	8	50.38	8	65	8
53.58	9	54.58	9	66	9
51.58	10	54.06	10	67	10
54.65	11	56	11	67	11
54.93	12	52.83	12	70	12
52.25	13	50.05	13	70	13
52.71	14	50.97	14	67	14
50.15	15	52.23	15	70	15
51.57	16	54.68	16	69	16
54.46	17	52.73	17	67	17
51.41	18	55.8	18		
54.43	19	55.36	19		
55.64	20	50.61	20		

توضيح الأشكال التالية قيم سرعة الجريان الحر لقطاعات شارع جمال عبد الناصر:



الشكل (4) سرعة الجريان الحر للقطاع 1



الشكل (5) قيم سرعة الجريان الحر للقطاع 2

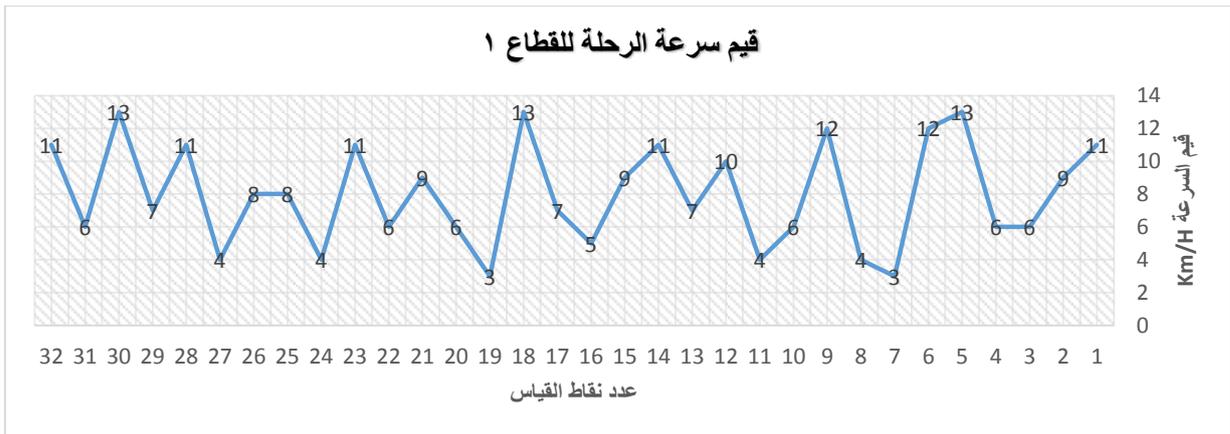


الشكل (6) قيم سرعة الجريان الحر للقطاع 3

الجدول (3) قيم سرعة الرحلة لشارع جمال عبد الناصر - القطاع 1

النقطة	السرعة Km/h	النقطة	السرعة Km/h
1	11	16	5
2	9	17	7
3	6	18	13

3	19	6	4
6	20	13	5
9	21	12	6
6	22	3	7
11	23	4	8
4	24	12	9
8	25	6	10
8	26	4	11
4	27	10	12
11	28	7	13
7	29	11	14
13	30	9	15
6	31		



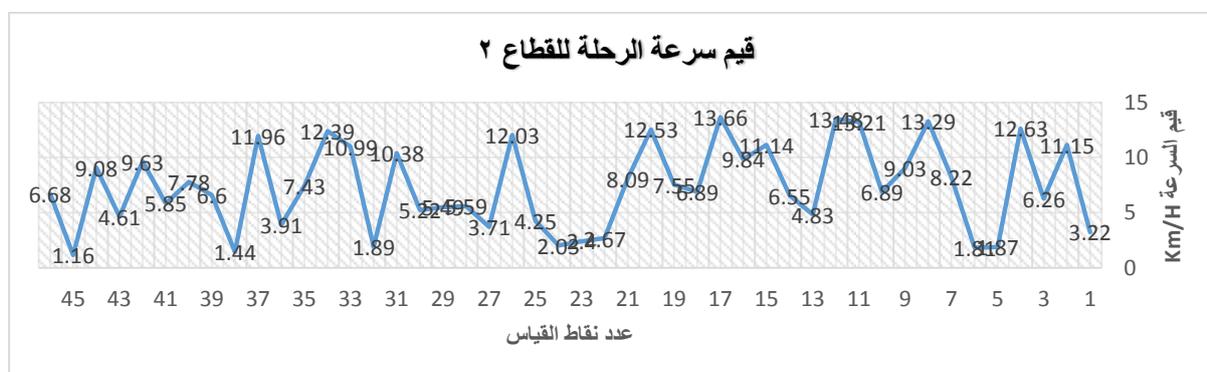
الشكل (7) قيم سرعة الرحلة للقطاع 1

الجدول (4) قيم سرعة الرحلة لقطاعات جمال عبد الناصر

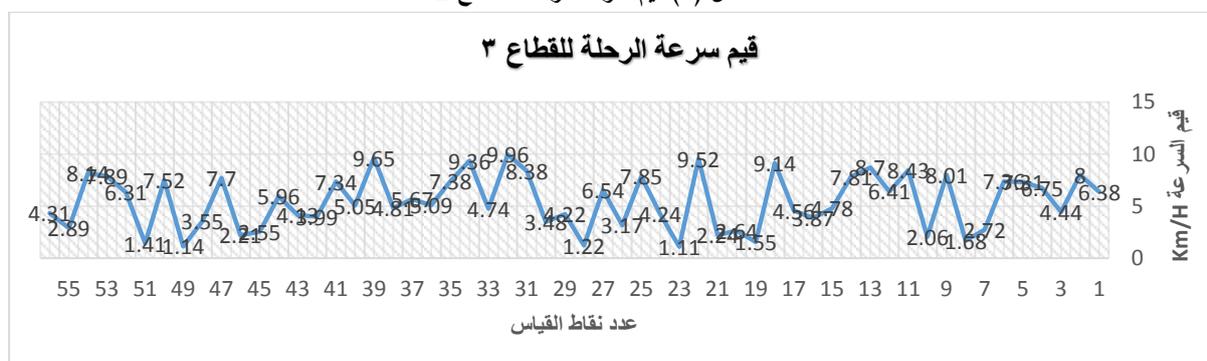
القطاع 3				القطاع 2			
SPEED (KM/H)	النقطة						
4.22	29	6.38	1	2.03	24	3.22	1
3.48	30	8	2	4.25	25	11.15	2
8.38	31	4.44	3	12.03	26	6.26	3
9.96	32	6.75	4	3.71	27	12.63	4
4.74	33	7.31	5	5.59	28	1.87	5
9.36	34	7.36	6	5.49	29	1.81	6
7.38	35	2.72	7	5.22	30	8.22	7
5.09	36	1.68	8	10.38	31	13.29	8
5.67	37	8.01	9	1.89	32	9.03	9

4.81	38	2.06	10
9.65	39	8.43	11
5.05	40	6.41	12
7.34	41	8.7	13
3.99	42	7.81	14
4.13	43	4.78	15
5.96	44	3.87	16
2.55	45	4.56	17
2.21	46	9.14	18
7.7	47	1.55	19
3.55	48	2.64	20
1.14	49	2.24	21
7.52	50	9.52	22
1.41	51	1.11	23
6.31	52	4.24	24
7.89	53	7.85	25
8.14	54	3.17	26
2.89	55	6.54	27
4.31	56	1.22	28

10.99	33	6.89	10
12.39	34	13.21	11
7.43	35	13.48	12
3.91	36	4.83	13
11.96	37	6.55	14
1.44	38	11.14	15
6.6	39	9.84	16
7.78	40	13.66	17
5.85	41	6.89	18
9.63	42	7.55	19
4.61	43	12.53	20
9.08	44	8.09	21
1.16	45	2.67	22
6.68	46	2.4	23



الشكل (8) قيم سرعة الرحلة للقطاع 2



الشكل (9) قيم سرعة الرحلة للقطاع 3

تقييم القطاع الأول:

$$R_v = \frac{v}{V_{\max}} = \frac{7.85}{60.98} = 0.128 = 12.8\%$$

R_v : دليل أداء السرعة & V : سرعة السفر المتوسطة km/h & V_{\max} : السرعة القصوى المسموحة km/h.

بالتالي حالة الازدحام شديده.

تقييم القطاع الثاني:

$$R_v = \frac{v}{V_{\max}} = \frac{7.31}{60.8} = 0.12 = 12\%$$

R_v : دليل أداء السرعة & V : سرعة السفر المتوسطة km/h & V_{\max} : السرعة القصوى المسموحة km/h.

بالتالي حالة الازدحام شديده.

تقييم القطاع الثالث:

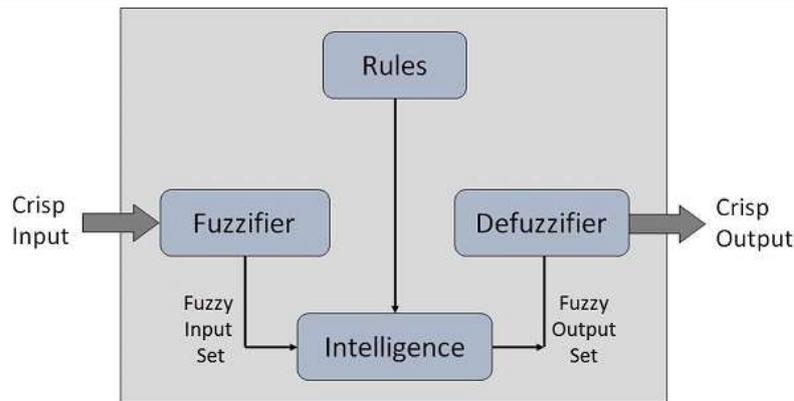
$$R_v = \frac{v}{V_{\max}} = \frac{5.42}{60.84} = 0.088 = 8.8\%$$

R_v : دليل أداء السرعة & V : سرعة السفر المتوسطة km/h & V_{\max} : السرعة القصوى المسموحة km/h.

حالة الازدحام شديده.

✓ بناء النظام الضبابي (Fuzzy Inference System):

تم استخدام قيم سرعة العربة المقاسة بواسطة جهاز GPS بسيط بالإضافة إلى الزمن اللازم لقطع المسار، كمدخلات للنظام. إن الهدف من النظام لاستنتاج مستويات الازدحام كمتغير ناتج لهذا النظام، حيث تم استخدام نظام الاستنتاج الضبابي (Mamdani) الذي يتألف من أربع مراحل وهي: تحديد متحولات الادخال، مرحلة التضبيب، مرحلة بناء القواعد الضبابية، إزالة التضبيب.



الشكل (10) آلية عمل النظام الضبابي

تحديد متحولات الإدخال: وهي:

1. معدل سرعة الرحلة: يمكن حساب معدل الإنخفاض بالسرعة بسبب الإزدحام من شرط سرعة الجريان الحر باستخدام المعادلة التالية [8]:

$$\text{Travel speed rate} = \frac{(\text{Free-flow speed} - \text{Average speed})}{\text{Free-flow speed}}$$

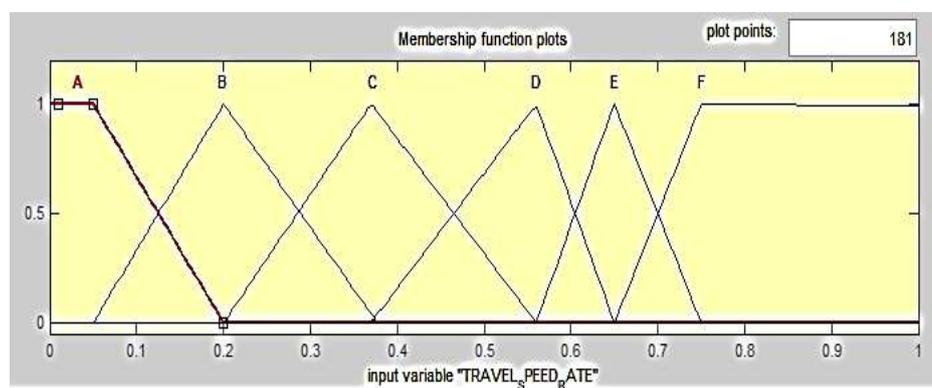
قيمة المؤشر تتراوح بين [0-1]، حيث أن قيمة الـ 0 تعبر عن أفضل الشروط، حيث تكون (average speed) أكبر أو تساوي سرعة الجريان الحر. أما قيمة الـ 1 فهي تعبر عن أسوأ الشروط، حيث تكون قيمة (average speed) قريبة من الصفر، وظائف العضوية للتصنيفات الثلاثة موضحة بالشكل (11).

قيمة (travel speed rate) حولت إلى واحدة من 6 قيم لغوية ابتداءً من very good (near 0) إلى very bad (near 1).

التصنيفات الـ 6 عينت من خلال مستويات الخدمة لـ HCM2000 (A-F)، حيث A هي الأفضل وF هي الأسوأ. التوافق بين القيم والمجموعات الضبابية استند إلى تعريف الـ HCM2000 لمستوى الخدمة [7].

الجدول (5) تحديد مستوى الخدمة للشوارع المدنية وفق لتصنيف الـ HCM 2000

IV	III	II	I	صنف الشارع المدني
40-55	50-55	55-70	70-90	مجال سرعة الجريان الحر (KM/H)
السرعة المتوسطة (KM/H)				LOS
41<	50<	59<	72<	A
41-32<	50-39<	59-46<	72-56<	B
32-23<	39-28<	46-33<	56-40<	C
23-18<	28-22<	33-26<	40-32<	D
18-14<	22-17<	26-21<	32-26<	E
14 ≥	17 ≥	21 ≥	26 ≥	F



الشكل (11) تابع العضوية لمعدل سرعة الرحلة

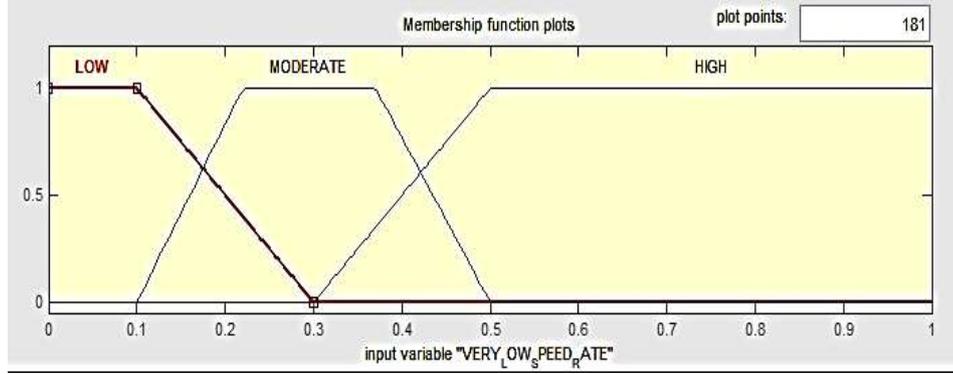
2. نسبة السرعة المنخفضة جداً في مدة الرحلة الكلية: تحسب على أساس وقت الرحلة خلال السرعة المنخفضة جداً ويتم مقارنتها مع وقت الرحلة الكلي [8].

$$\text{Very Low Speed Rate} = \frac{\text{Time Spent in Delay}}{\text{Total Travel Time}}$$

حيث التأخير هو مقدار الزمن الذي سارت فيه العربة بسرعة أقل من 5km/h. قيمة المؤشر تتراوح بين [0-1]، حيث قيمة الـ 0 تعبر عن أفضل الشروط (أقل ازدحام)، حيث لا يوجد تأخير (no delay)، وقيمة الـ 1 تعبر عن أسوأ الشروط، حيث معظم وقت الرحلة يكون ضمن شروط التأخير.

قيم معدل السرعة المنخفضة جدا صنفت إلى ثلاث مجموعات low, moderate and high، حيث low تشير إلى أن نسبة وقت الرحلة خلال السرعة المنخفضة جداً (أقل من 5 km/h) هي نسبة دنيا، بالتالي الحالة هي very good.

وظائف العضوية للتصنيفات الثلاثة موضحة بالشكل (12)، حيث المحور X هو قيمة السرعة المنخفضة جدا والمحور Y هو درجة العضوية.



الشكل (12) تابع العضوية لأجل نسبة السرعة المنخفضة جداً

- يستخدم نظام الاستدلال الضبابي (FIS) لحل المسائل المعقدة مع عدد كبير من المدخلات، ويتبع له ماييلي [8]:
 - محرر نظام الاستدلال الضبابي: الذي يُمكن من وضع وتعديل مجموعة المدخلات والمخرجات والقواعد وطريقة إلغاء التضييب.
 - محرر تابع الانتماء (member ship function editor) لتعريف أشكال توابع الانتماء الخاصة بكل متحول (متغير).
 - محرر القواعد: لتحديد قائمة القواعد التي تحدد سلوك النظام، التي على أساسها يحدد الموديل نتائجه.
 - عارض القواعد: لعرض مخطط الاستدلال الضبابي، ومن ثم الحصول على القيم الواضحة بعد وضع القواعد، وبعد تطبيق عملية إلغاء التضييب.
 - عارض السطح: لعرض الفضاء الاحتمالي لنتائج الموديل بشكل تقريبي.
- القواعد الضبابية (Fuzzy Rules): القاعدة الضبابية في هذه الحالة تأخذ الشكل التالي:

إذا كانت معدل سرعة الرحلة X و معدل التأخير Y فإن مؤشر الإزدحام Z
العنصر الشرطي النتيجة المنطقية

حيث معدل سرعة الرحلة ومعدل التأخير هما متحولات الإدخال (المتغيرات اللغوية).

X,Y,Z المجموعات الضبابية (القيم اللغوية) & Z النتيجة المنطقية.

بما أنه لدينا متحولان والمتحول الأول هو معدل سرعة الرحلة ولديه ستة متحولات والمتحول الثاني هو معدل التأخير، ولديه ثلاثة متحولات، عندها يكون العدد الإجمالي للقواعد الضبابية هو 18 قاعدة.

مثلاً: إذا كانت معدل سرعة الرحلة ومعدل التأخير مرتفعين فإن مؤشر الإزدحام متوسط.

تتم عملية تحديد نتائج هذه القواعد الضبابية بطرق مختلفة، حيث تعتمد إحدى هذه الطرق على تطبيق التقييم الموضوعي لمصمم نظام التحكم الضبابي ويلعب عامل الخبرة دوراً كبيراً في دقة الوصول إلى النتيجة المحتملة.

وفي حالتنا يمكن القيام بإجراء استطلاع للرأي لمعرفة آراء مستخدمي الطريق والسائقين، وكذلك رأي مهندسي النقل والمرور، ويمكن استعراض النتائج المحتملة للقواعد الضبابية استناداً إلى دراسات سابقة لتوضيح الفكرة، حيث يمكن تقسيم المتحول الضبابي (النتيجة) إلى أربع مجموعات ضبابية هي (منخفض، متوسط، مرتفع، مرتفع جداً)، ويوضح الشكل (13) القواعد الضبابية الافتراضية.

```
File Edit View Options
1. (TRAVEL_SPEED_RATE==F) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==HIGH) => (CONGESTIONINDEX=VERYHIGH) (1)
2. (TRAVEL_SPEED_RATE==F) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=VERYHIGH) (1)
3. (TRAVEL_SPEED_RATE==F) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
4. (TRAVEL_SPEED_RATE==E) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=VERYHIGH) (1)
5. (TRAVEL_SPEED_RATE==E) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
6. (TRAVEL_SPEED_RATE==E) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
7. (TRAVEL_SPEED_RATE==D) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==HIGH) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
8. (TRAVEL_SPEED_RATE==D) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
9. (TRAVEL_SPEED_RATE==D) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
10. (TRAVEL_SPEED_RATE==C) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==HIGH) => (CONGESTIONINDEX=HIGH) (1)
11. (TRAVEL_SPEED_RATE==C) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
12. (TRAVEL_SPEED_RATE==C) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
13. (TRAVEL_SPEED_RATE==B) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==HIGH) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
14. (TRAVEL_SPEED_RATE==B) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
15. (TRAVEL_SPEED_RATE==B) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==LOW) => (CONGESTIONINDEX=LOW) (1)
16. (TRAVEL_SPEED_RATE==A) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==HIGH) => (CONGESTIONINDEX=MODERATE) (1)
17. (TRAVEL_SPEED_RATE==A) & (VERY_LOW_SPEED_RATE==MODERATE) => (CONGESTIONINDEX=LOW) (1)
```

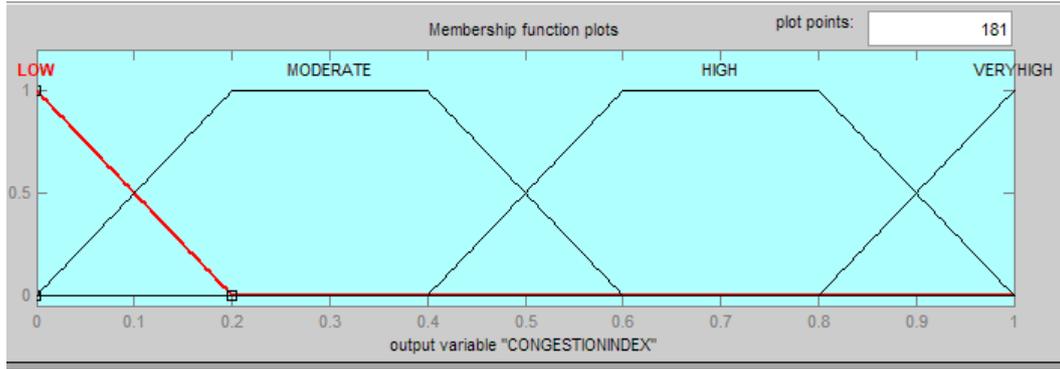
الشكل (13) شكل توضيحي للقواعد الضبابية الافتراضية

النتائج والمناقشة:

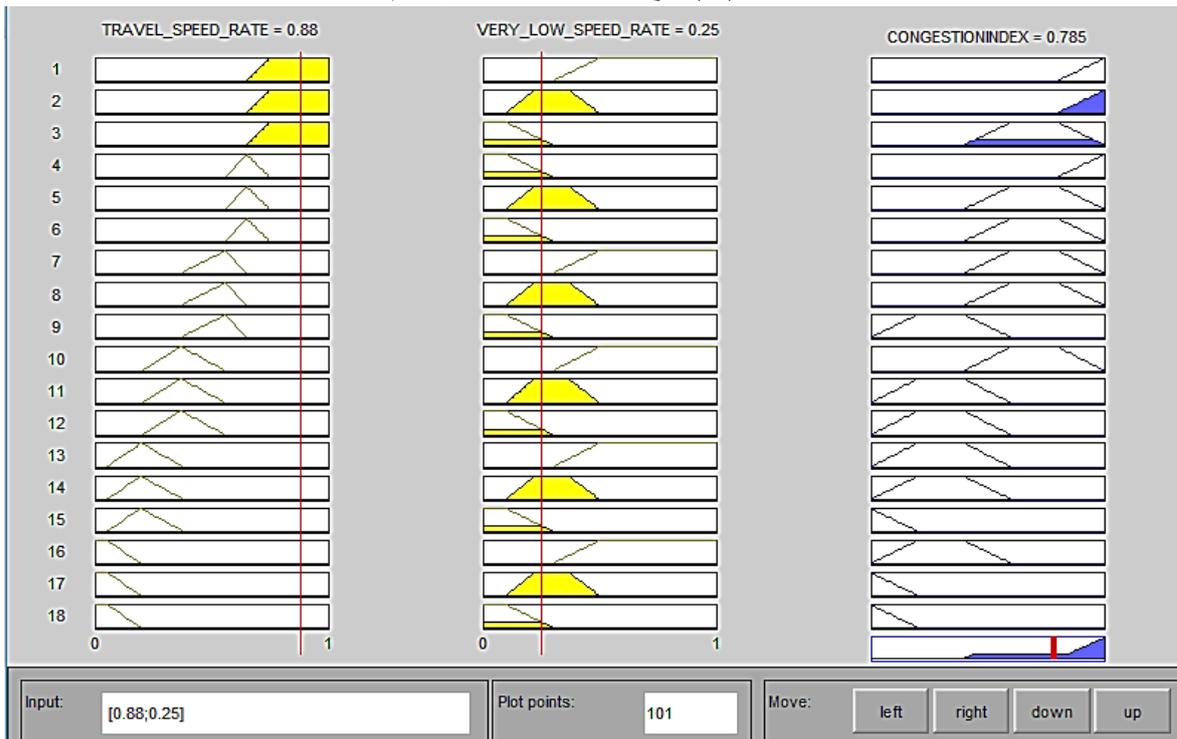
مخرجات الموديل الضبابية (output parameter): يتم تصنيف كمية الإزدحام من خلال مؤشر الإزدحام الناتج عن العملية، إلى أربع فئات:

منخفضة Low ، معتدلة MDERATE ، عالية HIGH ، وعالية جداً VERY HIGH ، وتظهر وظائف العضوية

في الشكل (14)، حيث يكون المحور X عبارة عن مقياس بين 0 و 1 ، حيث 0، جيد جداً ، و 1 سيئ جداً، ويوضح الشكل (15) الموديل الضبابي المقترح.



الشكل (14) تابع العضوية لأجل مؤشر الازدحام



الشكل (15) الموديل الضبابي المقترح

ويمكن إظهار نتائج الموديل الضبابي المقترح من خلال الجدول (5).

الجدول (6) البيانات المدخلة والنتائج

مستوى الازدحام	قيمة مؤشر الازدحام	نسبة السرعة المنخفضة جدا	معدل سرعة الرحلة	قيمة التأخير (sec)	سرعة الرحلة المتوسطة اللحظية (KM/H)	سرعة الجريان الحر (KM/H)	زمن الرحلة الكلي (sec)	طول القطاع (m)	القطاع
MODERATE	0.685	0.19	0.87	40	8.5	67	220	525	القطاع 1
HIGH	0.75	0.17	0.89	51	7	64	290	625	القطاع 2
VERY HIGH	0.95	0.27	0.9	91	6.4	61	330	775	القطاع 3

الاستنتاجات والتوصيات:

1. النهج المقترح بسيط من ناحية سهولة تطبيقه وفهمه للمختصين، وغير المختصين، حيث توفر طريقة الاستنتاج الضبابية المقترحة آلية تجمع بين اثنين أو أكثر من مقاييس الإزدحام المستخدمة في السابق في مقياس مركب.
2. يمكن لهذه المقاييس الفردية أن توفر صورة جيدة عن حالة الإزدحام الحاصلة لكنها لن تكون دقيقة كما رأينا عند تقييم القطاع 1، حيث اختلف التقييم بين المقياس الفردي والمقياس الضبابي الذي يوفر صورة أكثر واقعية وحقيقة لظروف الإزدحام الانية.
3. يمكن تطوير النموذج لجعله أدق وأكثر شمولية عبر استخدام المزيد من المؤشرات مثل نسبة الـ V/C .
4. تطوير النموذج يمكن أن يتم عبر تعديل أشكال توابع العضوية ومجالاتها لذلك نوصي بالبحث في هذا المجال.

المراجع:

1. دراسة حول زحمة السير في القاهرة، مذكرة تنفيذية، مجموعة البنك الدولي، أيار 2014. ص20.
2. W. FORD TORREY, " *Cost of Congestion to the Trucking Industry*", IV Research Associate American Transportation Research Institute Atlanta, GA2017 Update.p10
3. Yuming Ge, Xiaoman Liu, Libo Tang, and Darrell M. West, " *China Academy of Information and Communication Technology, Smart transportation in China and the United States*" Harvard Center for Risk Analysis, Harvard School of Public Health, Boston 2015
4. MD AFTABUZZAMAN. " *Measuring traffic congestion a critical review*" Institute of Transport Studies, Monash University, Melbourne, Victoria, Australia .2007.p13
5. D. Teodoevic ,*Fuzzy Logic systems for transportation engineering; the state of the art*, Fzculity of Transportation and Traffic Enginnering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, 11 May 1998.
6. FEIFEI HE, XUEDONG YAN, " *A Traffic Congestion Assessment Method for Urban Road Networks Based on Speed Performance Index*", MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing,China, 2016, p4.
7. High Capacity Manual 2000, chapter 16, Signalized Intersection, Transportation Research Board, USA.
8. KHALED HAMAD AND SHINYA KIKUCHI, " *Developing a Measure of Traffic Congestion*", Fuzzy Inference Approach, Transportation Research Record 2006, p3.
9. Franck Dernoncourt ,*Introduction to fuzzy logic*, MIT, January 2013.