

## التحكم بنظام مانع الانغلاق الدوراني بالاعتماد على المنطق الضبابي وشبكات بترى الملونة

الدكتور بلال شيحا\*

ميس عبد اللطيف\*\*

(تاريخ الإيداع 6 / 8 / 2014. قُبل للنشر في 28 / 10 / 2014)

### □ ملخص □

أصبح استعمال نظام مانع الانغلاق الدوراني (ABS) ضرورة أساسية لرفع مستوى الأمان في المركبات الحديثة، إذ يكمن الهدف الرئيس لهذا النظام في التحكم بالضغط المطبق على الإطار أثناء عملية الفرملة ومنعه من القفل في حالة الضغط المفاجئ والشديد على الفرامل، مما يسمح للمركبة بالتباطؤ بشكل أمثل ويمنع انزلاقها مع المحافظة على توازنها وعلى قدرة السائق على توجيهها والتحكم بها وبالتالي إنقاص المسافة اللازمة لوقوفها. سنقوم في هذه المقالة بإجراء دراسة رياضية لنظام مانع الانغلاق الدوراني، كما سنقوم ببناء نموذج لهذا النظام باستعمال شبكات بترى الملونة (Coloured Petri Nets)، وسيتم إدخال عملية الاستنتاج الضبابي (Fuzzy Inference) على القسم الخاص بتحديد قيمة الضغط المطبق على الإطار للاستفادة من المرونة التي يقدمها المنطق الضبابي ثم سيتم إجراء عملية محاكاة للنظام من أجل سرعات ابتدائية مختلفة ومن أجل ظروف طرقات مختلفة (جاف-رطب-حصى). اعتمدنا في بحثنا لإجراء المحاكاة على CPN Tools.

**الكلمات المفتاحية:** الأنظمة اللاخطية، نظام مانع الانغلاق الدوراني، شبكات بترى الملونة، نسبة الانزلاق، المنطق الضبابي، التحكم بالضغط.

\*مدرس - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.  
\*\*قائم بالأعمال - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

## Controlling Anti-Lock Braking System Using Fuzzy Logic and Colored Petri Nets

Dr. Bilal Chiha\*  
Mais Abdullatif \*\*

(Received 6 / 8 / 2014. Accepted 28 / 10 / 2014)

### □ ABSTRACT □

The use of Anti-lock Braking System (ABS) has become an essential feature to raise the level of safety in modern vehicles; the main objective of this system is to control the pressure applied on the wheel and prevent it from locking in case of sudden and severe braking, allowing the vehicle to slow down in an optimal way and preventing sliding while maintaining its balance and the ability of the driver to steer and control the vehicle and thus reducing the stopping distance.

In this article, a mathematical study of the Anti-Lock Braking system has been applied; we used Colored Petri Nets to build a model of the system; we introduced the concept of Fuzzy Inference on the section used to determine the value of the pressure applied to the wheel, where we took advantage of the flexibility provided by fuzzy logic, and then we conducted a simulation of the system for different initial speeds and for different road conditions. In this article, we used CPNTools to perform the simulation; this tool was developed by Aarhus University in Denmark and now it is a part of the AIS Group in Eindhoven University of Technology in Netherlands.

**Key Words:** Nonlinear Systems, Anti-Lock Braking System, Colored Petri Nets, Slip Ratio, Fuzzy Logic, Pressure Control.

---

\* Assistant Professor, Department of Computer and Automatic Control Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\* Technical Member, Department of Computer and Automatic Control Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

## مقدمة:

يعود تصميم نظام مانع الانغلاق الدوراني إلى شركة Bosch الذي بدأ في تطويره منذ ثلاثينيات القرن الماضي. ثم استعمل لأول مرة في عام 1978 في سلسلة سيارات (S-class Mercedes)، وخضع للكثير من التحسينات عبر السنوات العشرين التالية ويعتبر اليوم من العناصر الأساسية في مجموعة واسعة من المركبات الحديثة [1]. استعمل الباحثون العديد من التقنيات للتحكم بنظام مانع الانغلاق الدوراني وتحسين أدائه، نظراً لكون النظام غير خطي ويتأثر بشكل مباشر بظروف البيئة المحيطة فقد استخدمت تقنيات التحكم النشط (Robust Control) ومنها Sliding Mode Controller لدراسة سلوك النظام من أجل نموذج ربع سيارة باستعمال برنامج MatLab لإجراء عملية المحاكاة في [1]. تم في [2] إدخال المنطق الضبابي إلى متحكم من النوع PID حيث اعتبر الخطأ في نسبة الانزلاق ومعدل تغيرها هما دخلي النظام الضبابي واعتبرت إشارة التحكم التي تتحكم بفترة فتح وإغلاق الصمامات الهيدروليكية خرج هذا النظام، وبالتالي يتم التحكم بفترة تطبيق الضغط على الإطارات. استعمل في [4] برنامج MatLab لبناء نموذج لنظام مانع الانغلاق الدوراني وإجراء محاكاة له بالاعتماد على ثلاث متحكمات ضبابية، استعمل المتحكمان الأول والثاني لتحديد عزم الفرامل الأمثل الواجب تطبيقه على كل من الإطارين الأمامي والخلفي للسيارة على الترتيب، بينما استعمل المتحكم الثالث لتحديد نسبة الانزلاق الأمثل بالاعتماد على تسارع المركبة. اعتبر في الدراسة المبينة في [13] أن دخلي النظام الضبابي لنموذج مانع الانغلاق الدوراني هما نسبة الانزلاق و تسارع الإطار بينما اعتبر الخرج قيمة الضغط الواجب تطبيقه على كل إطار وتم إجراء عملية محاكاة للنظام.

في حالة الضغط المفاجئ على الفرامل يقوم نظام مانع الانغلاق الدوراني بمنع الإطارات من الانزلاق والسيارة من الدوران، وبذلك يبقى السائق قادراً على التحكم بالمركبة بالشكل المرغوب وفي بعض الحالات يتمكن من إنقاص المسافة اللازمة للوقوف وذلك بأن تقوم وحدة التحكم الهيدروليكية في النظام بتقليل الضغط المطبق على الإطار وبالتالي استعادة سرعته الدورانية المناسبة ومنعه من القفل.

يخضع الإطار في السيارة المتحركة لعدد من القوى، هي قوة الثقل ( $F_n$  normal force) والتي تنتج من وزن وحمولة المركبة، بالإضافة إلى قوة احتكاك الإطار بالطريق ( $F_x$ ) والتي تظهر أثناء القيادة والفرملة والقوة الجانبية ( $F_y$ ) التي تلعب دوراً أثناء الانعطاف والتجاوزات.

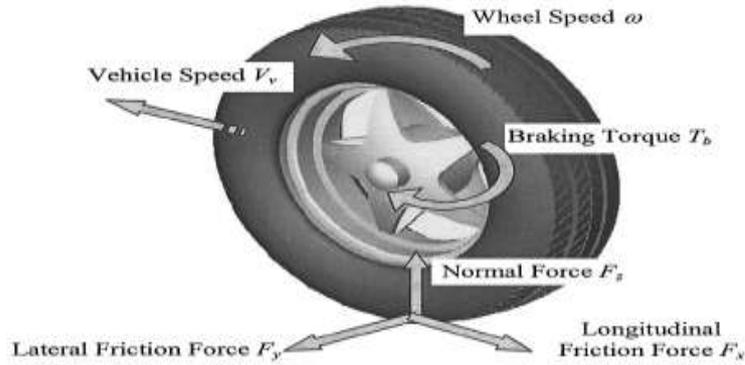
يعتمد إنقاص المسافة اللازمة للتوقف على بقاء القوة  $F_x$  عند قيمتها العظمى، أثناء عملية الفرملة تبدأ رقعة التماس بين الإطار والطريق بالانزلاق مما يؤثر على معاملي الاحتكاك الطولي والجانبية. البارامتر المعتمد لتمثيل هذا الانزلاق هو نسبة الانزلاق (Slip Ratio) والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$\lambda = \frac{V - W \cdot R}{V}$$

حيث:  $V$  سرعة المركبة،  $W$  السرعة الدورانية للإطار،  $R$  نصف قطر الإطار.

يمكن أن نستنتج من المعادلة أنه عندما  $\lambda=0$  فإن الإطار يكون في حالة حركة طبيعية ولا يوجد انزلاق أما عندما  $\lambda=1$  فإن الإطار في حالة قفل وبالتالي فإن المركبة في حالة الانزلاق.

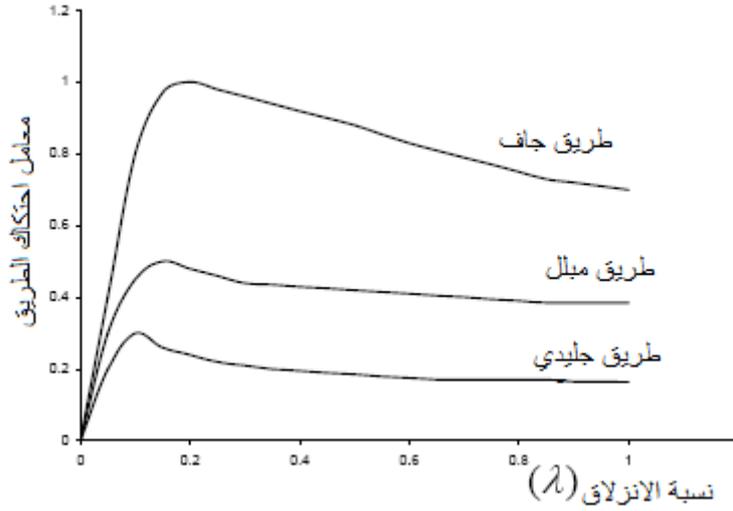
يبين الشكل (1) القوى المؤثرة على الإطار حيث:  $V_v$  سرعة المركبة،  $w$  سرعة الإطار،  $T_b$  عزم الفرامل،  $F_x$  قوة الاحتكاك الطولية،  $F_y$  قوة الاحتكاك الجانبية،  $F_z$  قوة الثقل.



الشكل (1) القوى المؤثرة على الإطار.

ترتبط نسبة الانزلاق بشكل وثيق مع معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار والذي يختلف حسب نوع السطح الذي تسير عليه المركبة. يبلغ معامل الاحتكاك قيمته العظمى من أجل قيمة لنسبة الانزلاق بحدود 0.2، وبالتالي فإن نظام مانع الانغلاق الدوراني يهدف إلى التحكم بنسبة الانزلاق بحيث نحصل على القيمة الأمثل لمعامل الاحتكاك من أجل أنواع السطوح المختلفة [3].

يبين الشكل (2) علاقة معامل الاحتكاك بنسبة الانزلاق من أجل ظروف طرق مختلفة [4].



الشكل (2) علاقة معامل الاحتكاك بنسبة الانزلاق من أجل ظروف طرق مختلفة.

### أهمية البحث وأهدافه:

1- يهدف البحث إلى تقديم تحليل رياضي لنظام مانع الانغلاق الدوراني، وبناء نموذج له باستخدام شبكات بتري الملونة كما يهدف إلى الاستفادة من الإمكانيات والمرونة التي يقدمها المنطق الضبابي إذقمنا بتحديد قيمة الضغط الواجب تطبيقه على كل إطار اعتماداً على الاستنتاج الضبابي من أجل ظروف طرق مختلفة.

**منهجية البحث:**

- التعريف بنظام مانع الانغلاق الدوراني وبناء نموذج رياضي له.
- التعريف بشبكات بتري الملونة الضبابية.
- بناء نموذج لنظام مانع الانغلاق الدوراني باستعمال شبكات بتري الملونة وإدخال المنطق الضبابي على عملية اتخاذ القرار في هذا النموذج.
- تغيير نوع السطح الذي تسير عليه المركبة ودراسة تأثير هذا التغيير على أداء النظام من أجل سرعات ابتدائية مختلفة.

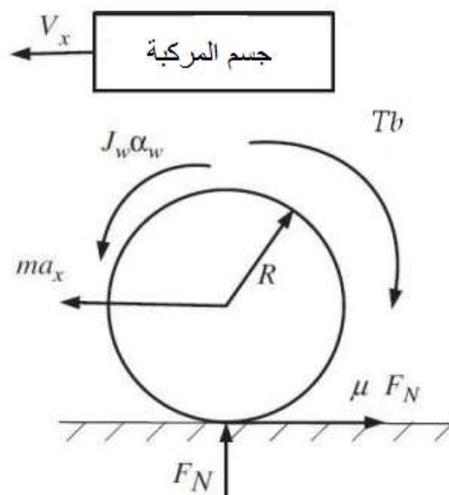
**3-1 النموذج الرياضي للسيارة والإطار:**

من الضروري بناء نموذج رياضي لنظام مانع الانغلاق الدوراني كخطوة أولى في هذه الدراسة، غير أن تغيير معاملات النظام ومقاومة الهواء يجعل إنشاء هذا النموذج أكثر صعوبة. سنستخدم في هذا البحث نموذج مبسط لربع سيارة (إطار واحد) لاستخدامه في تقييم عمل النظام كما هو مبين في الشكل (3). يدور الإطار في اتجاه حركة السيارة، تنشأ قوة  $F_x$  بسبب الاحتكاك بين سطح الإطار والسطح الذي تسير عليه المركبة، وهذه القوة تولد عزم يؤدي إلى الحركة الدورانية للإطار. عند الضغط على الفرامل سوف ينشأ عزم فرامل  $T_b$  ويؤثر بعكس اتجاه دوران الإطار مسبباً تسارع زاوي سالب (تباطؤ).

بتطبيق قانون نيوتن الثاني في الحركة:

$$acc = \dot{v} = \frac{-Fx}{m} \quad (1)$$

حيث:  $v$  سرعة السيارة،  $F_x$  قوة احتكاك الإطار،  $m$  كتلة السيارة.



الشكل (3) النموذج الرياضي للإطار [3].

تعطى قوة احتكاك الإطار بالمعادلة الآتية :

$$F_x = F_n \cdot \mu \quad (2)$$

حيث:

$F_n$  قوة الثقل،  $\mu$  معامل الاحتكاك .

نعبر عن قوة الثقل ( القوة الشاقولية ) بالشكل الآتي:

$$F_n = m \cdot g \quad (3)$$

حيث

$m$  كتلة ربع سيارة.

$g$  تسارع الجاذبية الأرضية.

أثناء عملية الفرملة يخضع الإطار لعزم كبح (عزم الفرامل)  $T_b$  مما يؤدي إلى تناقص سرعته وتناقص سرعة السيارة أيضاً. وفقاً لقانون نيوتن الثاني تعطى المعادلة الحركية للحركة الدورانية للإطار بالشكل الآتي:

$$\dot{w} = \frac{r \cdot F_x - T_b}{J} \quad (4)$$

حيث:

$w$  السرعة الزاوية للإطار،  $r$  نصف قطر الإطار،  $T_b$  عزم المكابح،  $J$  عزم عطالة الإطار [5] .

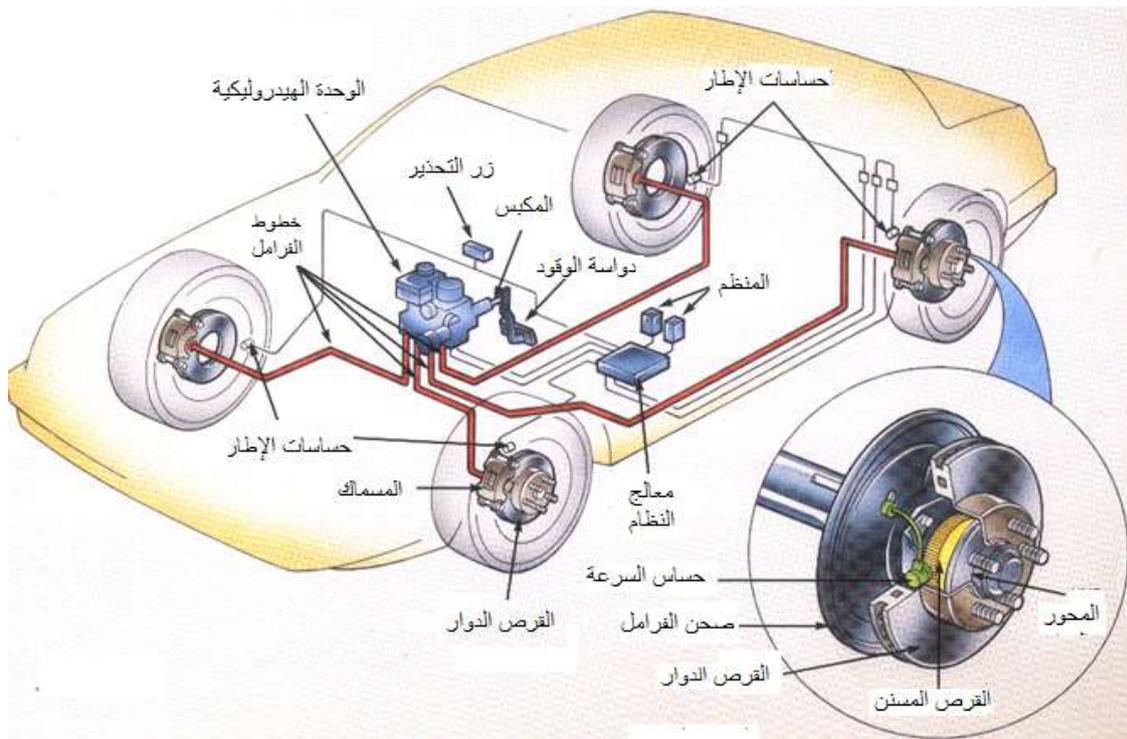
### 2-3 مكونات نظام مانع الانغلاق الدوراني:

**1- حساسات سرعة الإطار:** تتألف من لاقط (pickup) كهرومغناطيسي وقرص دائري مسنن يثبت بشكل مباشر على الجزء الدوار من الإطار، مع دوران الإطار يولد القرص الدوار جهداً متناوياً أمام اللاقط، تردد هذه النبضات المولدة يرتبط بشكل وثيق مع سرعة الإطار الدورانية.

**2- وحدة التحكم الإلكترونية (ECU):** تقوم وحدة التحكم الإلكترونية باستقبال وتضخيم الإشارات القادمة من الحساسات وتحسب سرعة الإطار الدورانية وتسارعه، تقوم هذه الوحدة أيضاً باستعمال سرعة إطارين متعاكسين قطرياً لتقدير سرعة المركبة ثم تقارن هذه السرعة مع سرعة كل إطار لحساب نسبة الانزلاق.

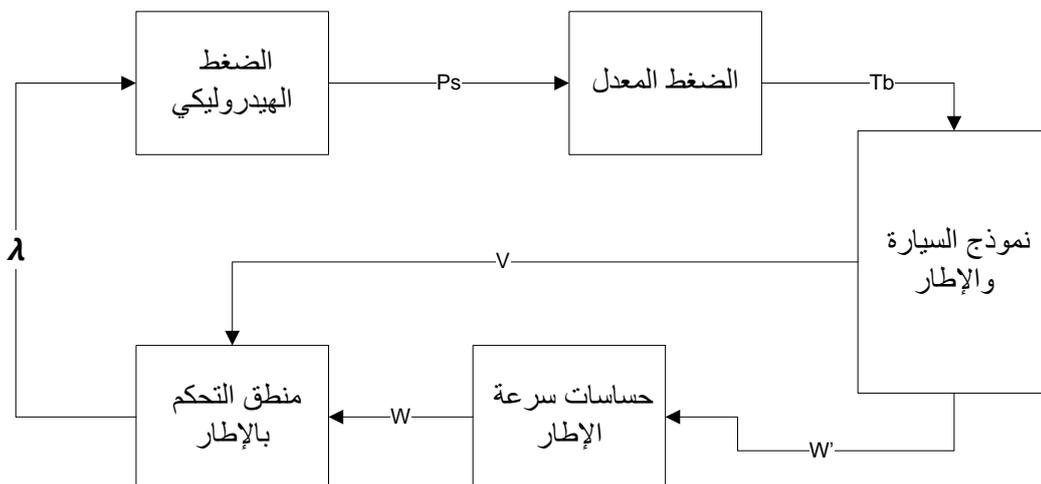
تعتمد وحدة التحكم الإلكترونية على تسارع الإطار ونسبة الانزلاق لتحديد إمكانية حصول قفل في أحد الإطارات. يستجيب المعالج (وحدة التحكم) لأي إذار بإرسال إشارة إلى الصمامات المتحكمة بالضغط لتقوم بتعديل الضغط المطبق على كل إطار. تمتلك وحدة التحكم الإلكترونية القدرة على التعرف على الأخطاء الحاصلة في النظام وتستجيب إما بإطفاء الجزء غير العامل في النظام أو بإطفاء النظام بأكمله.

**3- وحدة التحكم الهيدروليكية:** هي جهاز كهربائي هيدروليكي يقوم بتقليل أو تثبيت أو إعادة تطبيق الضغط المطبق على الإطار وذلك بالتحكم بالصمامات في نظام الفرامل الهيدروليكي، تقوم هذه الوحدة بالوصل بين اسطوانة الفرامل الرئيسية (master cylinder) و الاسطوانات الموجودة عند كل إطار [3] (wheel cylinder). يبين الشكل (4) مكونات نظام مانع الانغلاق الدوراني.



الشكل (4) مكونات نظام مانع الانغلاق الدوراني [6].

يبين الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام مانع الانغلاق الدوراني. حيث  $T_b$  عزم المكابح،  $P_s$  الضغط المطبق على الفرامل،  $\lambda$  نسبة الانزلاق،  $V$  سرعة السيارة،  $W$  سرعة الإطار،  $W'$  التسارع الزاوي [7].

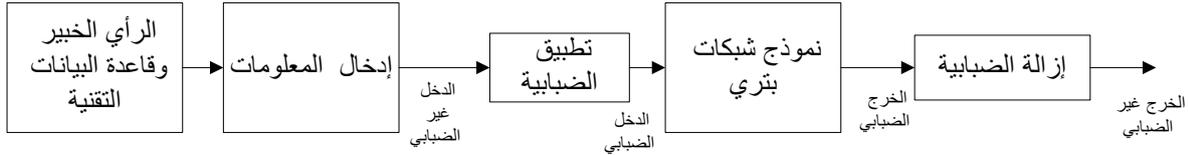


الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام مانع الانغلاق الدوراني.

### 3-3 شبكات بتري الملونة الضبابية:

تمتلك شبكات بتري القدرة على تمثيل وتحليل الأنظمة المتزامنة بطريقة سلسلة، كما يمكن أن يتم دمجها مع تقنيات ونظريات أخرى مثل البرمجة غرضية التوجه والمنطق الضبابي والشبكات العصبونية وغيرها. تستعمل شبكات بتري المعدلة بشكل واسع في مجال الصناعة والروبوتات وأنظمة التحكم وكذلك في العديد من التطبيقات الهندسية [8]. تنتج شبكات بتري الضبابية من الدمج بين شبكات بتري التقليدية مع المنطق الضبابي، وبذلك تجمع بين قدرات شبكات بتري كأداة نمذجة رياضية ورسومية مع قدرة المنطق الضبابي على العمل بشكل فعال في البيئات غير المؤكدة أو غير الدقيقة، مما يعطي أداة فعالة و ناجحة في التعامل مع الأنظمة المختلفة في العالم الحقيقي. تشمل عملية بناء نموذج باستعمال شبكات بتري الضبابية على الخطوات التالية:

- 1- استخلاص وتجميع المعلومات من الخبراء وقواعد البيانات.
  - 2- تحويل المعلومات في دخل النظام من قيم غير ضبابية إلى قيم ضبابية وذلك بتعريف توابع عضوية (Membership Functions) وإعطاء كل قيمة في الدخل درجة انتماء إلى تابع العضوية المقابل.
  - 3- تشكيل قاعدة البيانات الخاصة بقواعد التصميم وقواعد الاستنتاج الضبابي.
  - 4- تحويل النتيجة الضبابية في الخرج إلى قيمة غير ضبابية.
- يبين الشكل (6) طريقة تمثيل شبكات بتري الضبابية [9].



الشكل (6) طريقة تمثيل شبكات بتري الضبابية.

تتألف شبكات بتري الملونة من ثلاثة عناصر هي المواضع (Places) والنواقل (Transitions) والأسهم التي تربط بينها (Arcs)، وبشكل مشابه فإن كل موضع في شبكات بتري الضبابية يعبر عن قضية (Proposition) بجزئها المتقدم (antecedent) أو الناتج (consequent)، ويمكن أن يمتلك رمز (Token) له قيمة حقيقية ضمن المجال [0,1] تعبر عن درجة الحقيقة أي عن درجة الثقة في صحة هذه القضية. يعبر كل ناقل في شبكات بتري الضبابية عن قاعدة تمتلك عامل تأكيد (Certainty Factor) وهو قيمة ضمن المجال [0,1] يعبر عن درجة قوة هذه القاعدة.

وبشكل مشابه لشبكات بتري التقليدية تقوم الأسهم الموجهة (Arcs) بالربط بين النواقل والمواضع [10].

### 3-3-1 تعريف شبكات بتري الضبابية [10]:

يمكن تعريف شبكات بتري الضبابية على الشكل التالي:

$$FPN = \{P, T, D, I, O, \mu, \alpha, \beta\}$$

حيث:  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  مجموعة منتهية من المواضع.

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  مجموعة منتهية من النواقل.

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  مجموعة منتهية من القضايا.

$$P \cap T \cap D = \emptyset, \quad |P| = |D|$$

- $I: P \times T \rightarrow \{0,1\}$  تابع الدخل، يصل المواضع إلى النواقل.
- $O: T \times P \rightarrow \{0,1\}$  تابع الخرج، يصل النواقل إلى المواضع.
- $\mu: T \rightarrow [0,1]$  تابع ربط، يعطي لكل ناقل قيمة ضمن المجال  $[0,1]$ .
- $\alpha: P \rightarrow [0,1]$  تابع ربط، يعطي لكل موضع قيمة ضمن المجال  $[0,1]$ .
- $\beta: P \rightarrow D$  تابع ربط، يخصص قضية معينة لكل موضع.

### 4-3 استعمال المنطق الضبابي في نظام مانع الانغلاق الدوراني:

يتألف المتحكم الضبابي من العناصر الأربعة التالية:

1- قاعدة بيانات (If-Then rules): تحتوي على تقييس المنطق الضبابي للوصف اللغوي للخبير للطريقة

التي يتم بها تحقيق أفضل تحكم ممكن.

2- آلية الاستنتاج: والتي تدعى أيضاً محرك الاستنتاج أو وحدة الاستنتاج الضبابي، تقوم بمحاكاة الطريقة التي

يتخذ بها الخبير قراره من حيث آلية تفسير وتطبيق المعلومات المتوفرة والتي تقود إلى أفضل تحكم ممكن للنظام.

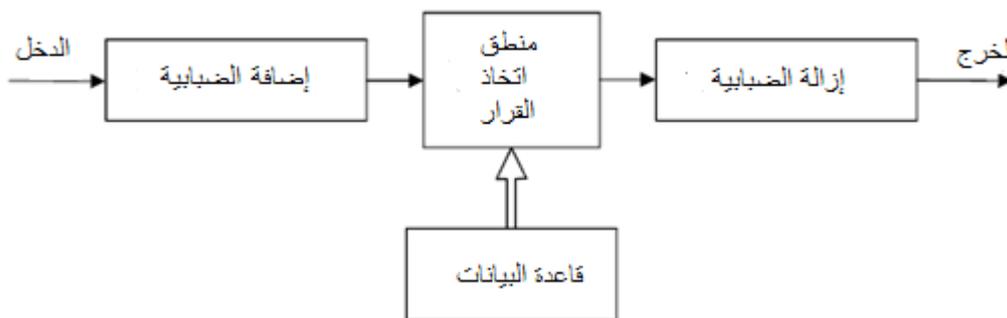
3- القسم الذي يقوم بتحويل القيم غير الضبابية إلى قيم ضبابية (Fuzzification)، أي يقوم بتحويل دخل

المتحكم إلى معلومات يستطيع محرك الاستنتاج بسهولة استعمالها وتطبيقها على القواعد.

4- القسم الذي يقوم بتحويل القيم الضبابية إلى قيم غير ضبابية (Defuzzification)، والذي يحول خرج

محرك الاستنتاج إلى دخل فعلي للنظام [11].

يبين الشكل (7) المخطط الصندوقي للمتحكم الضبابي [12].



الشكل (7) المخطط الصندوقي لبنية المتحكم الضبابي.

تعد أنظمة الفرامل من الأنظمة المعقدة والتي تتصرف بشكل غير خطي مما أدى إلى صعوبة في تطوير متحكمات لنظام مانع الانغلاق الدوراني. استعمل المنطق الضبابي في العديد من الأنظمة منها نواقل الحركة الآلية والمحركات ونظام مانع الانغلاق الدوراني مما سمح بالحصول على متحكمات ذات صفات أفضل من التي تعتمد على خوارزميات المنطق التقليدي.

تعتبر شركة انتل الشركة الرائدة في مجال إنتاج الأدوات والأنظمة التي تعتمد على المنطق الضبابي، كما يعتبر إدخال المنطق الضبابي إلى المتحكمات المستعملة في صناعة السيارات من التطويرات الجديدة نسبياً حيث أن تطوير

نظام مانع الانغلاق الدوراني من الأهداف المشتركة لشركة انتل ولشركات صناعة السيارات. ويتوقع أن يزداد استعمال هذا النظام خلال السنوات القادمة بشكل واسع [13].

## 2- تطبيق النموذج:

قمنا ببناء نموذج لنظام مانع الانغلاق الدوراني باستعمال شبكات بتري الملونة الضبابية حيث تم فرض ما يلي:

1- المركبة تسير على طريق مستقيم.

2- تم حساب مقاومة الهواء بالاعتماد على العلاقة:  $Fa = \frac{1}{4} \left( \frac{\rho}{2} C_d A_f V^2 \right)$

حيث:  $\rho$  كثافة الهواء،  $C_d$  معامل جر السيارة،  $A_f$  المساحة الأمامية للسيارة،  $V$  سرعة السيارة [5].

3- اعتمدنا على البارامترات المبينة في الجدول (1):

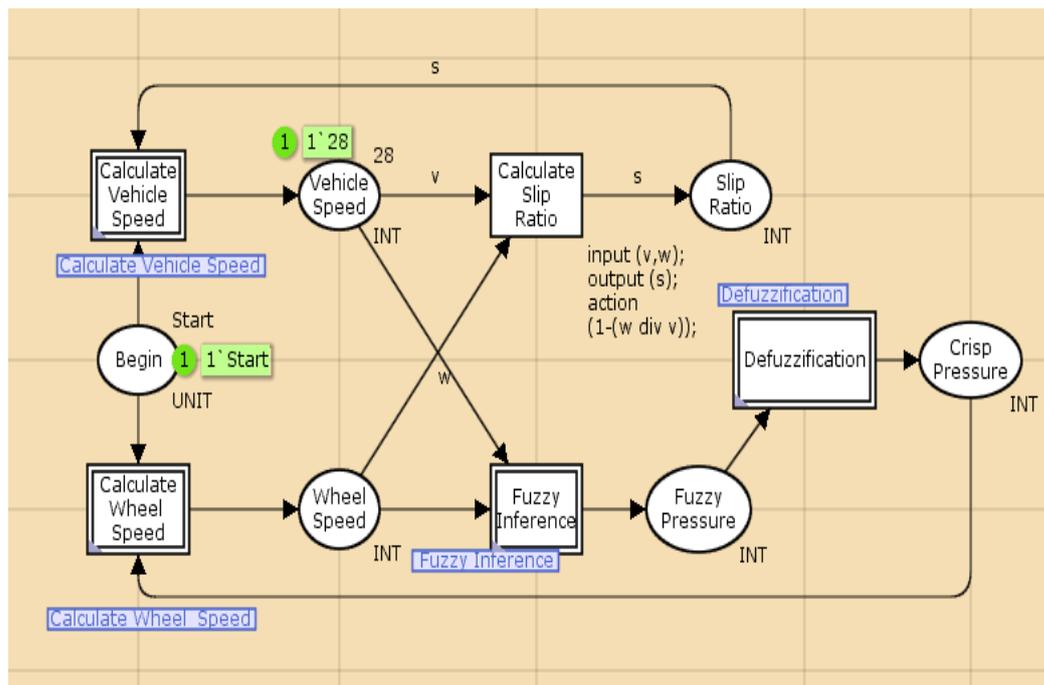
الجدول (1) البارامترات المستخدمة في النموذج

Quarter Vehicle Mass	80 KG
Wheel Radius	0.32 m
Moment of Inertia of the Wheel	1.7 kg.m <sup>2</sup>
Piston Area	6.8 cm <sup>2</sup>
Initial Velocity	100 km/h

يهدف نظام مانع الانغلاق الدوراني إلى إبقاء نسبة الانزلاق ضمن المجال [0.1-0.3]، إذ أثبتت التجارب أن معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار يبلغ قيمته العظمى من أجل هذا المجال لقيم نسبة الانزلاق مما يجعل قيمة قوة الاحتكاك أعظمية وبالتالي نحصل على أفضل أداء لنظام الفرامل.

تم بناء النموذج باستعمال CPN Tools التي تم تطويرها في جامعة ارهاس في الدنمارك وهي الآن جزء من AIS Group في جامعة ايندهوفن للتكنولوجيا في هولندا. يبين الشكل (8) النموذج المستعمل، حيث استعملنا مفهوم الهرمية الذي تقدمه شبكات بتري الملونة لحساب كل من سرعة الإطار وسرعة السيارة، ثم وبالاعتماد على هاتين القيمتين يحسب النموذج نسبة الانزلاق ويتم تحديد قيمة معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار ومنه حساب قوة

$$F_x = F_n \cdot \mu$$



الشكل (8) نموذج نظام مانع الانغلاق الدوراني باستخدام شبكات بتري الملونة.

يعتمد النموذج على كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار كمدخل للنظام الضبابي الذي يحدد على خرجه قيمة الضغط الواجب تطبيقه على الإطار لكي تبقى نسبة الانزلاق ضمن الحدود المرغوبة، وهكذا يتم إعادة الحسابات من جديد حتى تصل سرعة السيارة إلى الصفر. كما عبرنا عن المجموعات الضبابية في الدخل والخرج باستعمال توابع عضوية من الشكل المثلثي.

اعتمدنا على عدد من القواعد من الشكل (If-Then) كمايلي:

If Vehicle Speed is Low and Wheel Speed is Low then Pressure is Medium.

If Vehicle Speed is Medium and Wheel Speed is Low then Pressure is Low.

If Vehicle Speed is High and Wheel Speed is Low then Pressure is Low.

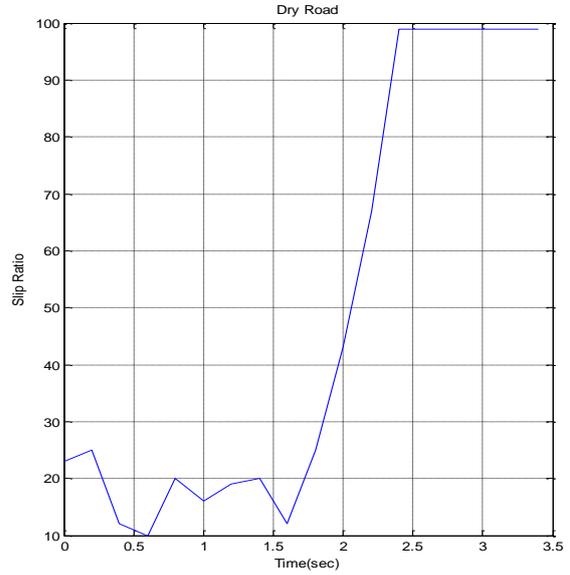
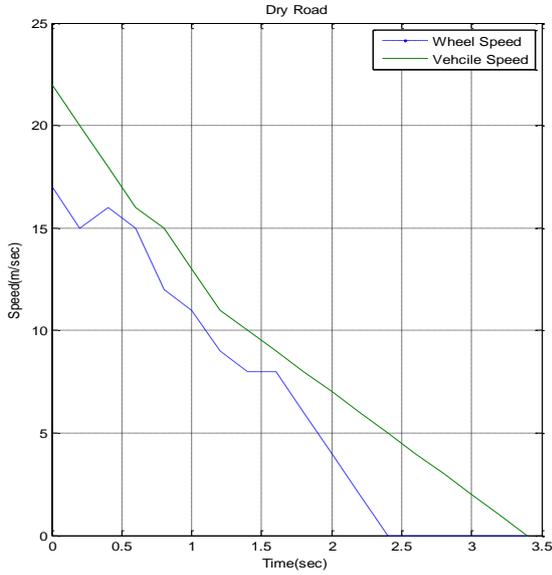
If Vehicle Speed is Low and Wheel Speed is Medium then Pressure is High.

وهكذا.

استعملنا ناقل لتحويل قيمة سرعة السيارة وسرعة الإطار في الدخل إلى قيمة ضبابية وناقل آخر لتحويل قيمة الضغط الضبابي الناتج إلى قيمة غير ضبابية يمكن تطبيقها على الإطار. كما استعملنا موضع لتمثيل كل مجموعة من المجموعات الضبابية الواردة في القواعد والتي ينتمي إليها متغيري الدخل ومتغير الخرج بدرجة معينة ضمن المجال  $[0,1]$ .

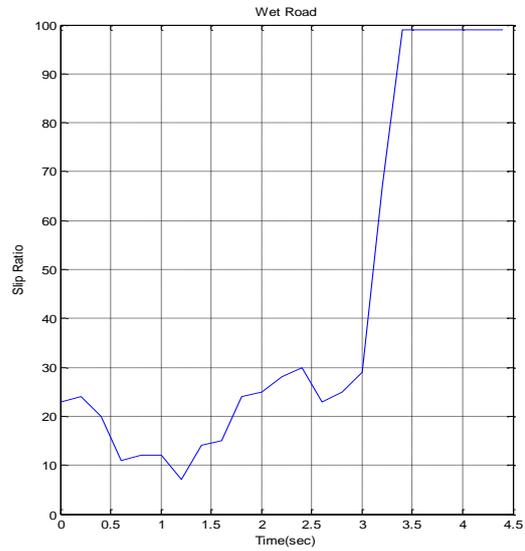
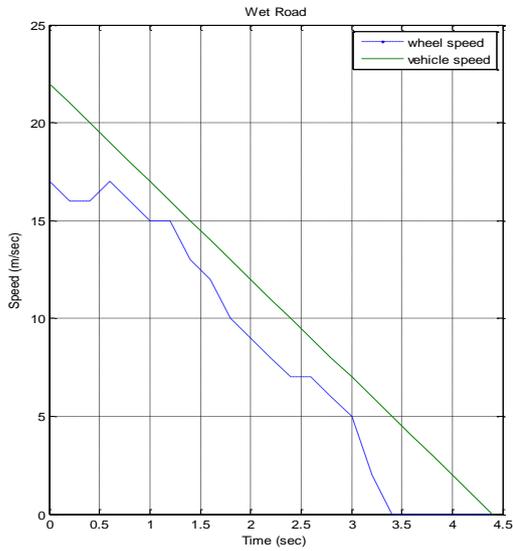
قمنا في هذا البحث بإجراء عملية محاكاة من أجل ثلاث سرعات ابتدائية مختلفة للسيارة (22, 28, 36) m/sec ومن أجل طريق جاف وطريق مبلل وطريق مفروش بالحصى.

**1- من أجل سرعة 22 m/sec :  
1-1 طريق جاف:**



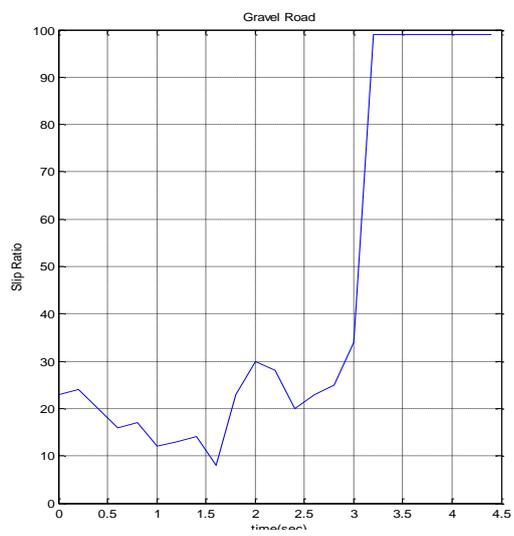
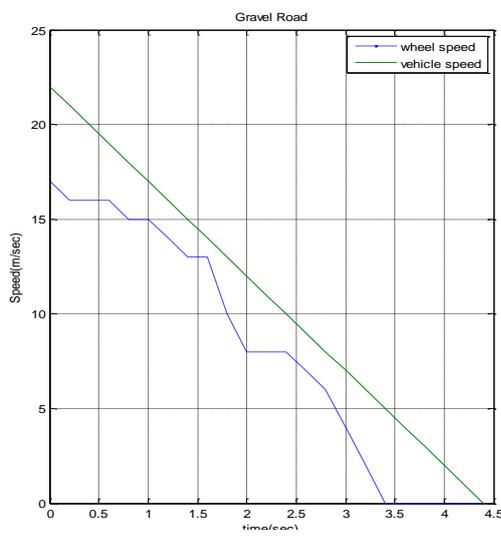
الشكل (9) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق جاف.

**2-1 طريق مبلل:**



الشكل (10) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مبلل.

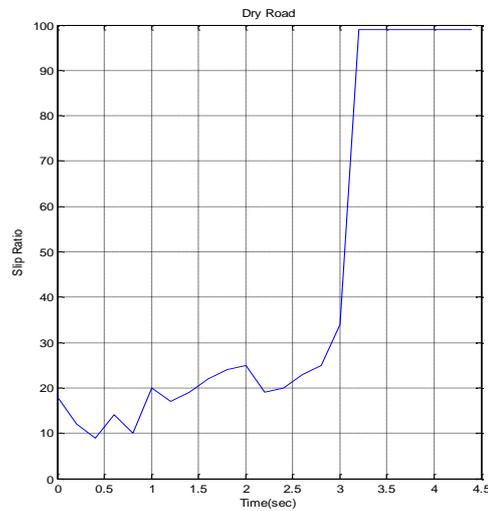
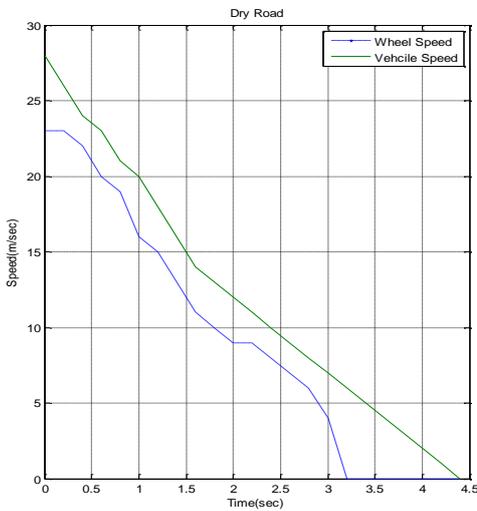
### 3-1 طريق مفروش بالحصى:



الشكل(11) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مفروش بالحصى.

2- من أجل سرعة (28 m/sec):

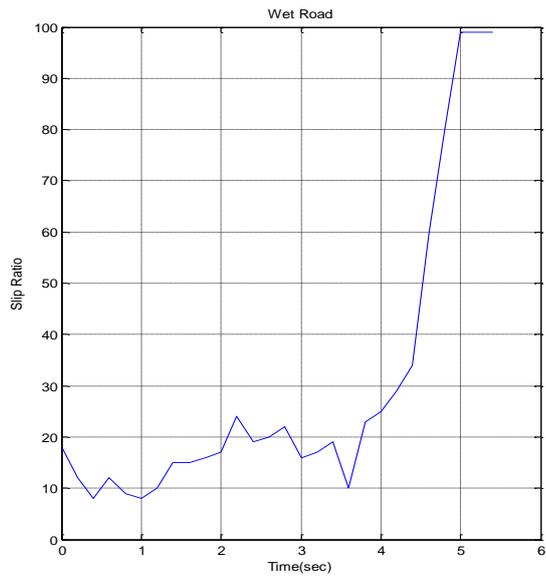
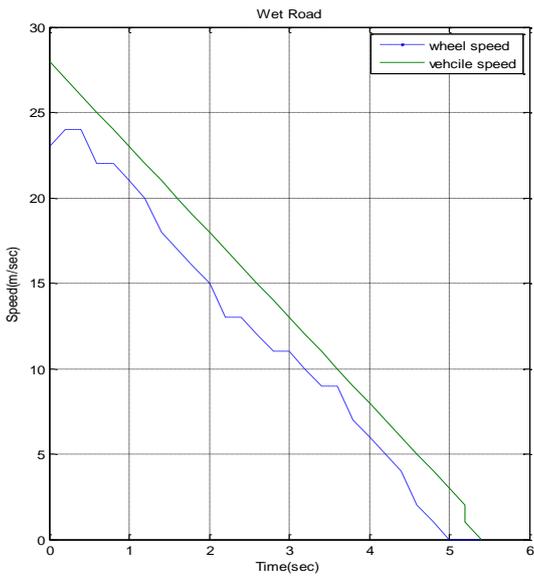
### 1-2 طريق جاف:



الشكل(12) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق جاف.

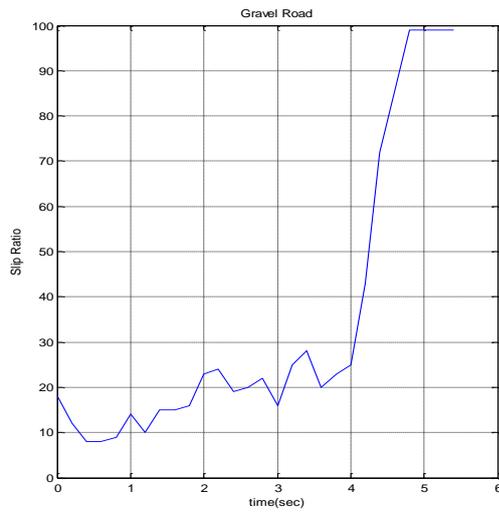
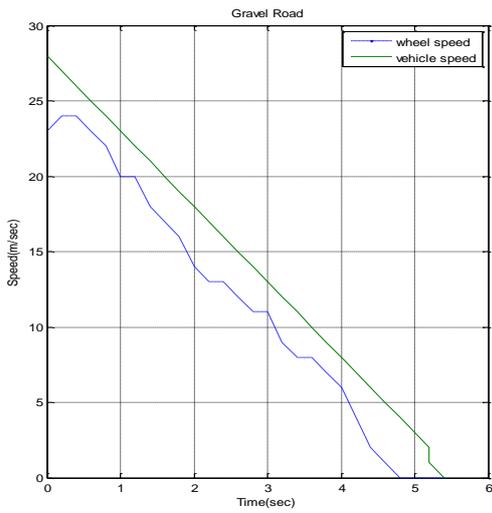
2-2

### 3-2 طريق مبلل:



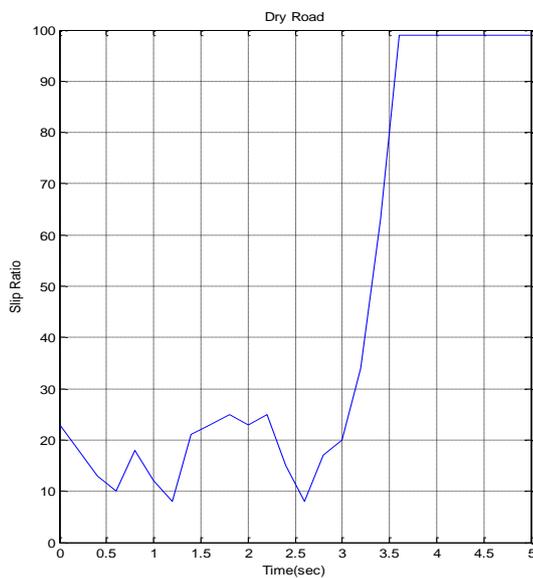
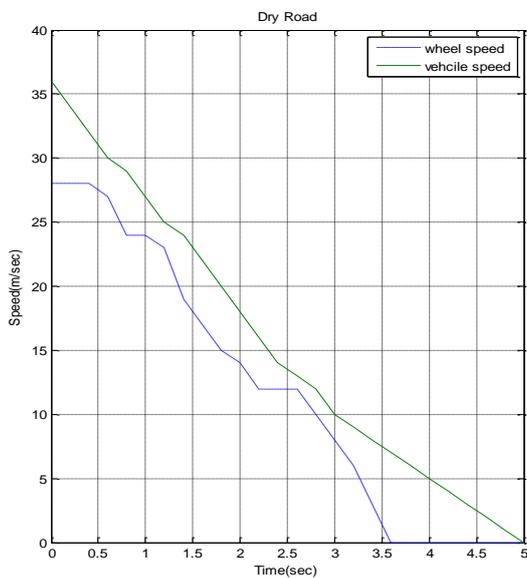
الشكل (13) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مبلل.

#### 4-2 مفروش بالحصى:



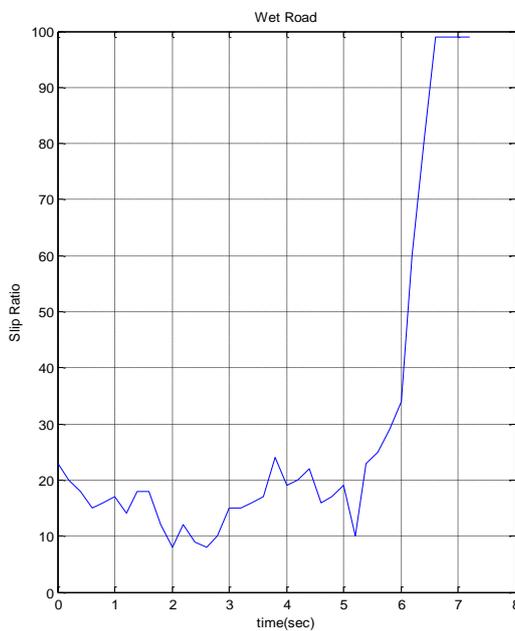
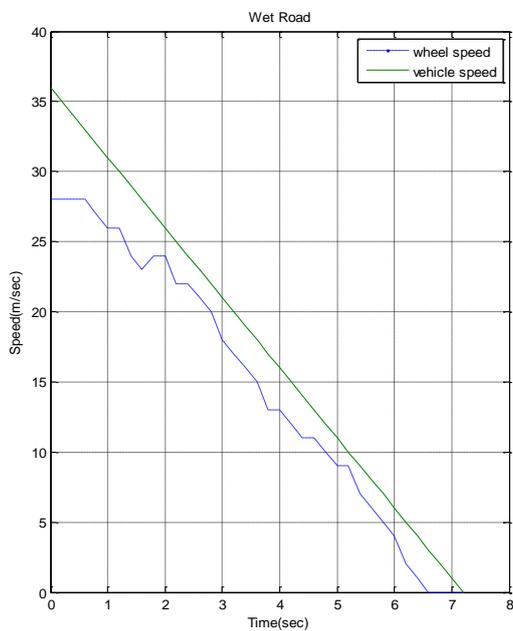
الشكل (14) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مفروش بالحصى.

3- من أجل سرعة (36 m/sec):  
1-3 طريق جاف:



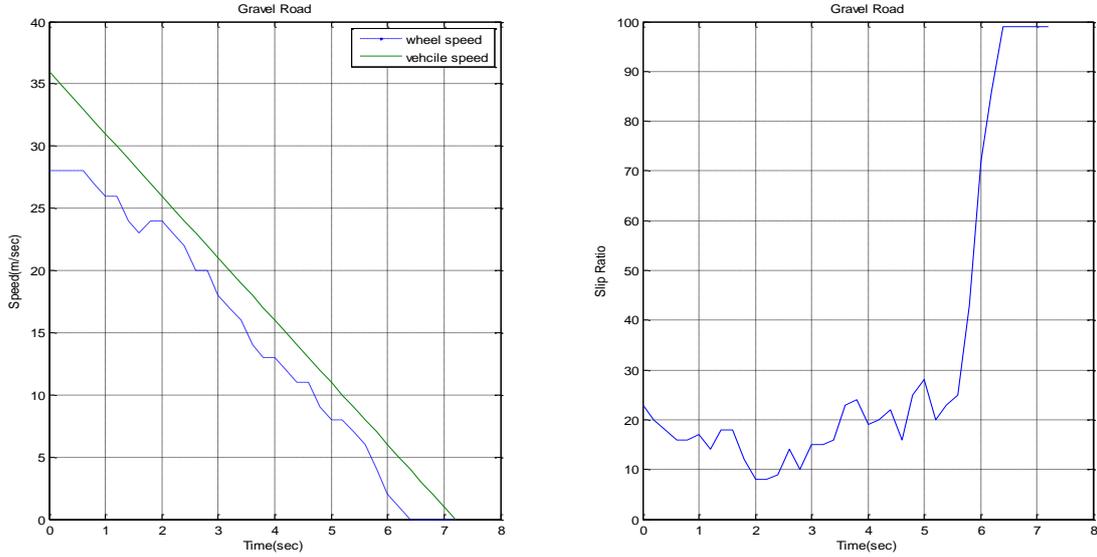
الشكل (15) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق جاف.

2-3 طريق مبلل:



الشكل (16) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مبلل.

## 3-3 طريق مفروش بالحصى:



الشكل (17) نسبة الانزلاق وتغير سرعة السيارة مع سرعة الإطار على طريق مفروش بالحصى.

يبين الجدول (2) المسافة اللازمة لتوقف المركبة من أجل كل من الطريق الجاف والمبلل والمفروش بالحصى. حيث اعتمدنا القانون التالي في حساب هذه المسافة:

$$X = V^2/2 \times acc$$

حيث:  $X$  تمثل المسافة اللازمة للتوقف،  $V$  سرعة المركبة الابتدائية،  $acc$  التباطؤ الخطي للمركبة.

الجدول (2) المسافة اللازمة للتوقف من أجل طرق مختلفة.

السرعة	طريق جاف	طريق مبلل	طريق مفروش بالحصى
22 m/sec	26.5 m	34.5 m	42.9 m
28 m/sec	41.7 m	56 m	64.9 m
36 m/sec	67.5 m	87.56 m	103.68 m

يكون معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار أعظم ما يمكن من أجل طريق جاف ما يجعل تباطؤ المركبة يحصل بشكل سريع وبالتالي تستغرق وقت أقل للوقوف مع بقاء سرعة السيارة وسرعة الإطار متقاربين، وبالتالي بقاء قيم نسبة الانزلاق ضمن المجال المرغوب، وهذا يسمح للسائق بالتحكم بالمركبة بشكل جيد ويمنع قفل الإطار وفقدان السيطرة على السيارة عند الضغط الشديد والمفاجئ على الفرامل.

نلاحظ ارتفاع قيمة نسبة الانزلاق في نهاية عملية الفرملة مع انخفاض كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار، ولكن نظراً للسرعات المنخفضة لن يسبب هذا الارتفاع انزلاق المركبة أو فقدان سيطرة السائق عليها وبالتالي لن يسبب أي خطورة.

في حال طريق مبلل ينخفض معامل الاحتكاك وبالتالي تستغرق المركبة وقت أطول للوقوف، لكن يؤمن وجود نظام مانع الانغلاق الدوراني استمرار التحكم بالمركبة طيلة عملية الفرملة ويمنعها من الانزلاق. حيث نلاحظ بقاء سرعة الإطار قريبة من سرعة السيارة، وكذلك بقاء تغيرات نسبة الانزلاق مع الزمن ضمن المجال المرغوب أيضاً.

عندما يكون الطريق مفروش بالحصى، ينخفض معامل الاحتكاك بشكل أكبر. ونلاحظ فعالية الاستنتاج الضبابي المستعمل في النموذج في إبقاء كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار متقاربتين طيلة عملية الفرملة وفي إبقاء نسبة الانزلاق ضمن الحدود المرغوبة.

نلاحظ ازدياد المسافة اللازمة للوقوف من أجل الطريق المبلل والطريق المفروش بالحصى بسبب انخفاض معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار. حيث أدى وجود نظام مانع الانغلاق الدوراني إلى بقاء نسبة الانزلاق ضمن الحدود المرغوبة وبالتالي منع الإطار من القفل على الرغم من ضغط دواسة الفرامل إلى حدها الأقصى. تبين بعض التجارب أن وجود نظام مانع الانغلاق الدوراني يمكن أن يزيد المسافة اللازمة للوقوف في حال الطريق المفروش بالحصى، وذلك بسبب أن الإطار المقفل سوف يدور في مكانه مسبباً تشكل حاجز صغير من الحصى أمام الإطار وبالتالي يؤدي إلى وقوف السيارة بشكل أسرع لكن بنفس الوقت فإن قفل الإطار عند سرعات مرتفعة جداً للمركبة سيؤدي إلى فقدان السيطرة عليها تماماً وبالتالي خفض مستوى الأمان إلى حد كبير.

### الاستنتاجات والتوصيات:

**يعد** نظام مانع الانغلاق الدوراني من الأنظمة اللاخطية والمتغيرة في الزمن مما يجعله مناسباً بشكل كبير لاستعمال المنطق الضبابي. فمنا في هذه المقالة ببناء نموذج رياضي لهذا النظام والاستفادة من خصائص المنطق الضبابي ومن المرونة التي يقدمها لتحديد قيمة الضغط الواجب تطبيقه على كل إطار من أجل ظروف طرقات مختلفة بشكل يضمن الأداء الأفضل لنظام الفرامل بأكمله وبالتالي رفع مستوى الأمان. تكمن أهمية هذا البحث في كون نظام مانع الانغلاق الدوراني من الأنظمة المنتشرة بشكل واسع في عالم صناعة السيارات اليوم لكونه يحافظ على توازن المركبة وعلى قدرة السائق على توجيهها في الحالات الطارئة كما يتوقع أن يزداد انتشاره بشكل كبير في السنوات القليلة القادمة.

تم في الدراسة المبينة في [2] إجراء عملية محاكاة لنظام مانع الانغلاق الدوراني باستعمال طريقتين، الأولى بالاعتماد على دور أخذ عينات ثابت (On-Off) والثانية باستعمال طريقة تعديل عرض النبضة (PWM) التي تسمح بتحديد زمن فتح وإغلاق الصمامات التي تتحكم بنظام الفرامل ضمن نفس دور أخذ العينات وذلك من أجل السرعة الابتدائية (100 km/h) مع إهمال مقاومة الهواء وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (3) من أجل طريق جاف ومبلل .

الجدول (3) نتائج الدراسة المبينة في [2]

المسافة اللازمة للوقوف	On-Off	PWM
طريق جاف	47.17 m	46.68 m
طريق مبلل	81.76 m	80.87 m

في الدراسة المبينة في [4] اعتبرت السرعة الابتدائية للمركبة (72 km/h) واعتبر السطح الذي تسير عليه المركبة متغير من الجاف إلى الرطب إلى الجليدي وكانت المسافة اللازمة للوقوف (80 m) في حال عدم تفعيل نظام مانع الانغلاق الدوراني بينما تناقصت إلى (40 m) عند تفعيله.

يمكن في الدراسات المستقبلية أخذ سرعات ابتدائية مختلفة للمركبة وتغيير ظروف الطريق لتشمل طريق ترابي أو ثلجي أو جليدي كما يمكن دراسة عمل النظام أثناء دوران السيارة على المنعطفات، كما يمكن تغيير مجالات توابع العضوية لكل من متغيرات الدخل والخرج ودراسة تأثير هذا التغيير على نتائج عملية المحاكاة وتوسيع الدراسة لتشمل العجلات الأربع للمركبة.

### المراجع:

- 1- ANTIĆ,D.; NIKOLIĆ,V.; MITIĆ,D.; MILOJKOVIĆ,M.; PERIĆ, S. *SLIDING MODE CONTROL OF ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM: AN OVERVIEW*. Automatic Control and Robotics, Vol. 9, No 1, 2010, 41 – 58.
- 2- CHEN, C.; SHIH, M. *PID Fuzzy Type Controller for Anti-Lock Braking System with Parameter Adaptation*. JSME International Journal, Series C, Vol. 47, No. 2, 2004, 675-685.
- 3- BHIVATE, P. *MODELLING & DEVELOPMENT OF ANTILOCK BRAKING SYSTEM*. National Institute of Technology, India, 2011, 43.
- 4- KESHMIRI,R. ; SHAHRI, A. *Intelligent ABS Fuzzy Controller for Diverse Road Surfaces*.International Journal of Mechanical Systems Science and Engineering,Vol. 1, NO. 2, 2007, 62-67.
- 5- HAMZAH,N.B. *Antilock braking Control Using Robust Control Approach*. Faculty of Electrical Engineering University Teknologi Malaysia,Malaysia, 2006, 96.
- 6- *Stomp and Steer: Anti-Lock Braking System (ABS)*. Liberty Mutual Group USA, 2004.
- 7- Fu, T. *Modeling and Performance Analysis of ABS Systems with Nonlinear Control*. Department of Mechanical Engineering, Concordia University Canada, 2000, 199.
- 8- FENG, L.; OBAYASHI, M.;KUREMOTO, T.; KOBAYASHI, K. *Construction and Application of Learning Petri Nets*.Intech, 2012, 143-176.
- 9- YOUSEFZADEH, S.;KHODABAKHSHI,S.; POUYAN, A. A.*Designing a Control Vision System for FMS Cells Based on Fuzzy Petri Nets*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 3, No. 8, 2013, 16-22.
- 10- KOUZEHGAR, M.; BADAMCHIZADEH, M.A.; KHANMOHAMMADI, S. *Fuzzy Petri Nets for Human Behavior Verification and Validation*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 2, No. 12, 2011, 106-114.
- 11- MADHAV, V. *Intelligent Control System: Fuzzy Logic*. 2004.
- 12- SIMOES, M. G. *Introduction To Fuzzy Logic*. Colorado School of Mines, Engineering Division USA, 2003.
- 13- MODI, D.; PADIA, Z.; PATEL,K. *Fuzzy Logic Anti-Lock Braking System*. International Journal of Scientific & Engineering Research Vol. 3, No. 2012.