

نمذجة نظام مانع الانغلاق الدوراني باستخدام شبكات بتري عالية المستوى

الدكتور بلال شيجا*

الدكتور حسن البستاني**

ميس عبد اللطيف***

(تاريخ الإيداع 2011 / 2 / 22. قُبل للنشر في 2011 / 5 / 29)

□ ملخص □

أدى استخدام نظام مانع الانغلاق الدوراني (Anti-Lock Braking System) في المركبات إلى زيادة نسبة الأمان على الطرقات بشكل ملحوظ، وذلك بمنع الإطارات من الانغلاق أثناء عملية الفرملة من خلال التحكم بقيمة الضغط المطبق على كل إطار، ومن ثمّ تمكين السائق من الاستمرار بالتحكم بالمركبة وتقليل المسافة اللازمة للوقوف ولاسيما على السطوح الزلقة .

تم في هذه المقالة إجراء دراسة رياضية لكل من المركبة والإطار لمعرفة القوى المؤثرة في كل منها، ويعتبر الجديد في هذه الدراسة استخدام شبكات بتري عالية المستوى وكفرع منها شبكات بتري الملونة (Coloured Petri Nets) كأداة نمذجة لبناء نموذج لنظام مانع الانغلاق الدوراني، ثم أجرينا تحليلاً لنتائج عملية المحاكاة ودراسة تغيير بارامترات النظام وتأثيرها في أدائه.

الكلمات المفتاحية: نظام مانع الانغلاق الدوراني، شبكات بتري الملونة، التحكم بالضغط، نسبة الانزلاق، نمذجة، محاكاة، الأنظمة الديناميكية، النظم ذاتية الحركة .

*مدرس - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية- سورية.

** مدرس - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الحاسبات والتحكم الآلي- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Anti-Lock Braking System (ABS) Modeling Using High Level Petri Nets

Dr. Bilal Chiha *
Dr. Hasan Albustani**
Mais Abdallatif***

(Received 22 / 2 / 2011. Accepted 29 / 5 / 2011)

□ ABSTRACT □

The use of Anti-Lock Braking System (ABS) in vehicles led to increase safety on the roads significantly, by preventing wheels from locking up during braking by controlling the values of applied pressure on each wheel, thus enabling the driver to keep control of the vehicle and reduce the stopping distance, especially on the slippery surfaces.

In this article a study of the forces acting on both the vehicle and the wheel is applied. The new element in this study is the use of High Level Petri Nets and its branch Coloured Petri Net as a modeling tool to build a model of the Anti-Lock Braking System, and then we analyze the results of the simulation to study the change of the system's parameters and how they affect the system's performance.

Key Words : Anti-Lock Braking System , Coloured Petri Nets , Pressure Control, Slip Ratio, Modeling, Simulation, Dynamic Systems, Automotive Systems .

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

** Assistant professor, Department of Communications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Computer and Automatic Control Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

صمم نظام مانع الانغلاق الدوراني في بداية 1900 للاستعمال في القطارات، ثم طور ليستعمل في الطائرات. بدأ مصنعو السيارات باستخدامه في أواخر الستينات، لكن النماذج الأولية المصممة للاستعمال في السيارات كانت بدائية إلى حد كبير ولم يبدأ استخدامه بشكل رسمي إلا في عام 1978. في بداية التسعينات بدأ انتشاره في السيارات المنخفضة والمتوسطة الثمن، واليوم يعتبر نظام مانع الانغلاق الدوراني من الأنظمة المعتمدة بشكل رسمي في كل السيارات التجارية المتوفرة في الأسواق تقريباً [1].

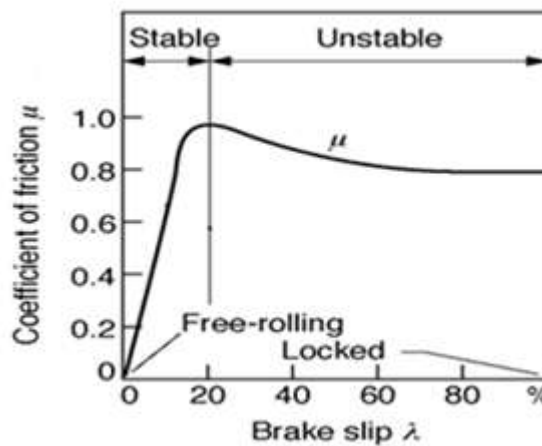
في هذه المقالة تم إجراء دراسة وتحليل رياضي لنظام مانع الانغلاق الدوراني بالإضافة إلى استخدام مفهوم الهرمية في شبكات بترية الملونة لإنشاء نموذج لهذا النظام.

تتعرض الإطارات في حالات الضغط الشديد على الفرامل أو على الطرقات الزلقة لخطر الانزلاق والقفز (التوقف عن الدوران)، وهذا يسبب عادة زيادة المسافة اللازمة للوقوف وعدم القدرة على التحكم بالمركبة بشكل فعال. تعتبر نسبة انزلاق الإطار عاملاً مهماً وحيوياً في تقدير فعالية نظام مانع الانغلاق الدوراني وتعرف بالشكل الآتي:

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

حيث: V سرعة السيارة، W السرعة الزاوية للإطار، R نصف قطر الإطار. نستطيع أن نستنتج من هذه العلاقة أنه في الظروف الطبيعية يكون: $V \approx W.R$ ، ومن ثم $\lambda \approx 0$. أما في حالة الضغط الشديد على الفرامل يصبح: $W=0$ و $V \neq 0$ وهذا يعني أن نسبة الانزلاق $\lambda=1$ وهذا ما نريد تجنبه [2].

تتعلق نسبة الانزلاق بشكل أساسي بمعامل الاحتكاك بين الإطار والسطح الذي تسير عليه المركبة والذي يرمز له بالرمز (μ)، وهذه المعامل تختلف باختلاف حالة السطح (جاف، مياه، جليد، ثلج). يعبر الشكل الآتي عن العلاقة بين نسبة الانزلاق ومعامل الاحتكاك.



الشكل (1) علاقة نسبة الانزلاق مع معامل الاحتكاك [3]

يقسم هذا المنحني إلى قسمين، قسم مستقر وقسم غير مستقر، في القسم المستقر تسبب زيادة نسبة الانزلاق زيادة في معامل الاحتكاك حتى نصل إلى القيمة (20%) وبعد هذه القيمة أي زيادة في نسبة الانزلاق سيقابلها نقصان في معامل الاحتكاك وهذا يقود بدوره إلى زيادة احتمال حدوث قفل في الإطارات ومن ثم فقدان توازن المركبة. يبين الجدول الآتي قيم معامل الاحتكاك من أجل ظروف مختلفة [3].

الجدول (1) قيم معامل الاحتكاك من أجل ظروف طرق مختلفة

Surface	Average peak value
Asphalt and concrete (dry)	0.8-0.9
Asphalt (wet)	0.5-0.6
concrete (wet)	0.8
Earth road (dry)	0.68
Earth road (wet)	0.55
Gravel	0.6
Ice	0.1
Snow	0.2

أهمية البحث وأهدافه:

- دراسة وتحليل عمل نظام مانع الانغلاق الدوراني.
- التعريف بشبكات بتري الملونة كأداة نمذجة.
- إنشاء نموذج لنظام مانع الانغلاق الدوراني باستخدام شبكات بتري الملونة والتأكد من عمله.
- إظهار تأثير تغيير بارامترات النظام في أدائه.

طرائق البحث ومواده:

نقوم في هذا البحث بالاستفادة من إمكانيات شبكات بتري الملونة التي تستعمل (CPN ML) كلغة برمجة وبذلك تجمع بين القدرات التوضيحية لشبكات بتري وبين مرونة لغات البرمجة عالية المستوى وذلك لتقديم فهم أفضل لنظام مانع الانغلاق الدوراني موضوع البحث.

1- النمذجة الرياضي للسيارة: [3]

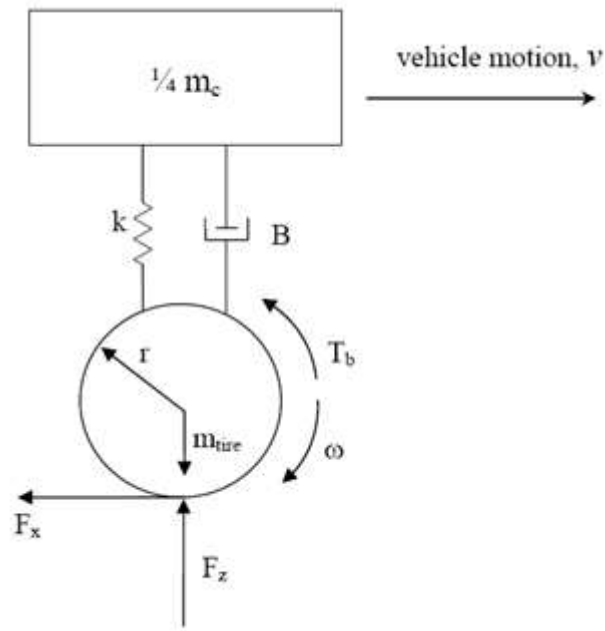
من الضروري بناء نموذج رياضي لمانع الانغلاق الدوراني كخطوة أولى في دراسة خوارزمية عمله، غير أن تغيير بارامترات النظام ومقاومة الهواء يجعل إنشاء هذا النموذج أكثر صعوبة. في هذه المقالة تم بناء نموذج مبسط لربع سيارة (إطار واحد) لاستخدامه في تقييم عمل النظام كما هو مبين في الشكل (2).

يدور الإطار في اتجاه حركة السيارة، تنشأ قوة F_x بسبب الاحتكاك بين سطح الإطار والسطح الذي تسير عليه المركبة، وهذه القوة بدورها ستولد عزمًا يظهر في الحركة الدورانية للإطار . عند الضغط على الفرامل سوف ينشأ عزم فرامل T_b ويؤثر بعكس اتجاه دوران الإطار مسبباً تسارعاً زاوياً سالباً (تباطؤ).

نطبق قانون نيوتن الثاني في الحركة:

$$\dot{v} = \frac{-F_x}{m}$$

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



الشكل (2) نموذج ربع سيارة [3]

تعطى قوة احتكاك الإطار بالمعادلة الآتية :

$$F_x = F_z \cdot \mu$$

حيث:

F_z قوة الثقل، μ معامل الاحتكاك .

نعبر عن قوة الثقل (القوة الشاقولية) كقيمة ثابتة بالشكل الآتي:

$$F_z = m \cdot g$$

حيث

m كتلة ربع سيارة وتعطى بالشكل: $m = m_{tire} + \frac{1}{4} m_c$

m_{tire} كتلة الإطار .

m_c كتلة السيارة .

g تسارع الجاذبية الأرضية .

2- النموذج الرياضي للإطار: [3]

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

$$\dot{w} = \frac{r \cdot F_x - T_b}{J}$$

حيث:

w السرعة الزاوية للإطار، r نصف قطر الإطار، T_b عزم المكابح، J عزم عطالة الإطار .

3- مكونات نظام مانع الانغلاق الدوراني:

يعتبر نظام مانع الانغلاق الدوراني نظام تحكم ذا حلقة مغلقة يستعمل لمنع الإطارات من الانغلاق أثناء عملية الكبح وكنتيجة لذلك يحافظ السائق على توازن المركبة وقابلية توجيهها[4]، يستعمل النظام المكونات الفيزيائية للفرامل التقليدية بالإضافة إلى الأقسام الآتية:

(1) حساسات سرعة الإطار (Wheel Speed Sensors): يوجد حساس عند كل إطار، يقوم بقياس سرعة هذا الإطار وإرسال الإشارات إلى وحدة التحكم الإلكترونية.

(2) وحدة التحكم الإلكترونية (Electronic Control Unit): تقوم وحدة التحكم الإلكترونية بمعالجة وتفسير جميع الإشارات القادمة من الحساسات وتستعمل هذه المعلومات لتحديد:

- اقتراب حصول القفل.

- كيف ومتى ستقوم بتشغيل الصمامات الهيدروليكية لتعديل الضغط المطبق على الإطار.

(3) وحدة التحكم الهيدروليكية (Hydraulic Control Unit) : تتحكم هذه الوحدة بالضغط المطبق في الصمامات والأنابيب الموصلة إلى كل إطار.

(4) الصمامات (Valves): يتم التحكم بالصمامات بوساطة وحدة التحكم الهيدروليكية وذلك لتعديل الضغط المطبق ضمن الأنابيب[1].

4- طريقة عمل نظام مانع الانغلاق الدوراني:

عند الضغط على الفرامل ستقوم وحدة التحكم الإلكترونية بقراءة الإشارات القادمة من الحساسات ومراقبة سرعة الإطارات، عندما ترصد وحدة التحكم الإلكترونية تباطؤاً حاداً في سرعة أحد الإطارات تقوم بتوجيه إشارة إلى وحدة التحكم الهيدروليكية لتقليل الضغط المطبق على هذا الإطار ما يسمح بزيادة سرعته من جديد. عندما تزيد سرعة هذا الإطار مجدداً تقوم وحدة التحكم الإلكترونية بإعادة تطبيق الضغط عليه [1].

كلما تمت هذه العمليات بسرعة أكبر كلما كانت عملية التحكم بالضغط أفضل، يمكن للأنظمة الحديثة أن تكرر هذه العملية من 30 إلى 50 مرة في الثانية [5].

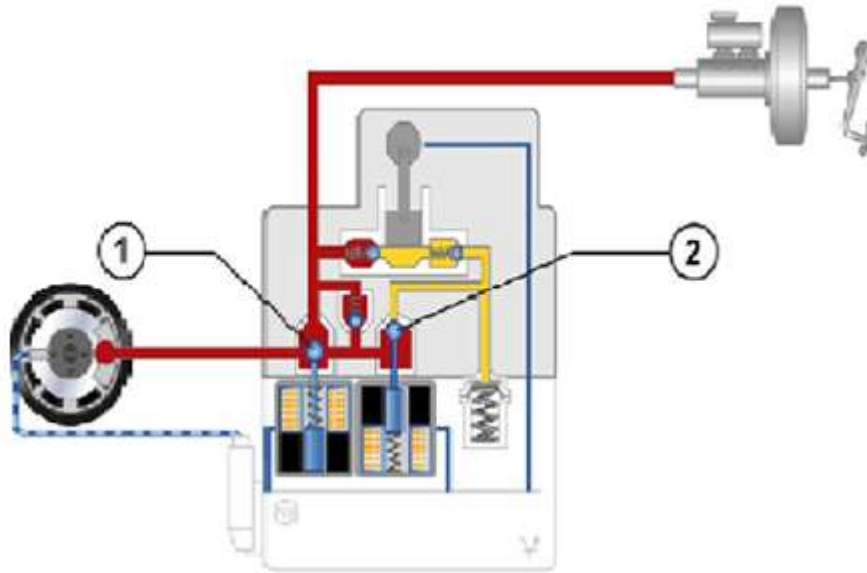
أي يمكن القول إن هذه العملية تبقى الإطار عند عتبة القفل وهذا يوفر الأداء الأمثل لنظام مانع الانغلاق الدوراني.

4-1- العمليات الهيدروليكية في نظام مانع الانغلاق الدوراني: [5]

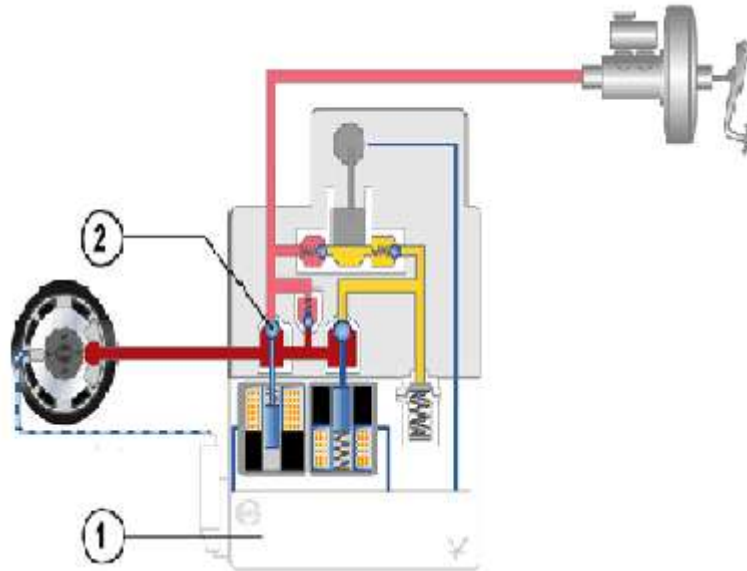
تقسم العمليات الهيدروليكية إلى أربع مراحل وهي :

- مرحلة تطبيق الضغط: يتم تطبيق الضغط عن طريق الوحدة الهيدروليكية، تكون أسطوانة الدخل مفتوحة وأسطوانة الخرج مغلقة وهذا يجعل الضغط يتزايد بشكل منتظم في الدارة كما هو مبين في الشكل (3).

- مرحلة ثبات الضغط: بعد تزايد الضغط ضمن الدارة سوف تزداد نسبة انزلاق الإطار وقد تتجاوز العتبة المسموح بها، تقوم حساسات السرعة بقياس سرعة الإطارات وإيصالها إلى كمبيوتر النظام وهو بدوره يقوم بالتحكم بإغلاق أسطوانة الدخل وبذلك يعزل الأسطوانة الرئيسية (Master Cylinder) عن أسطوانة الإطار (Wheel Cylinder) وتصبح زيادة الضغط المطبق على الإطار مستحيلة كما هو مبين في الشكل (4).

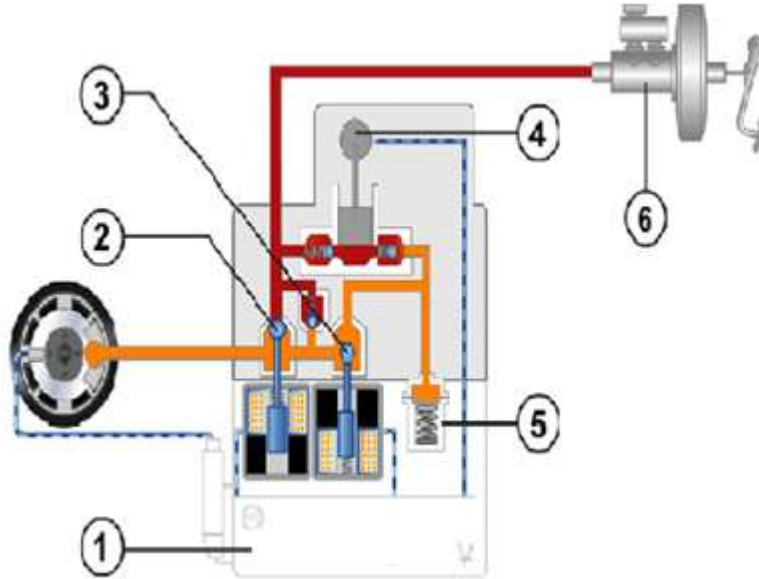


الشكل (3) مرحلة تطبيق الضغط [5]
(1) منفذ الدخل، (2) منفذ الخرج

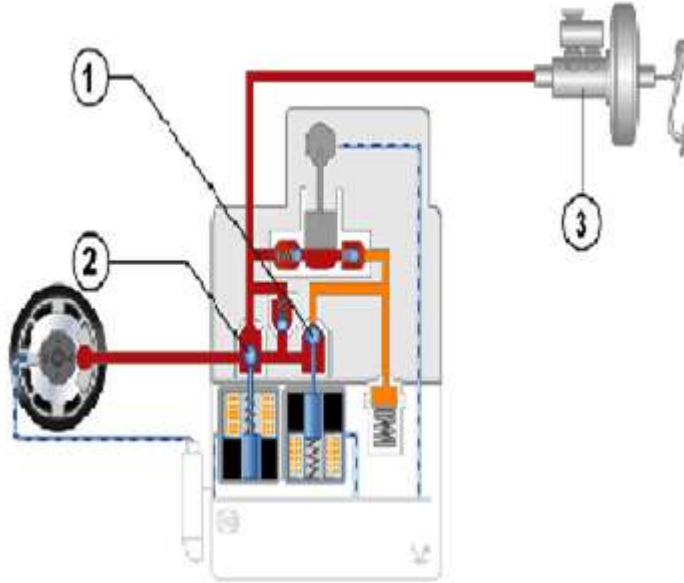


الشكل (4) مرحلة ثبات الضغط [5]
(1) الكمبيوتر، (2) منفذ الدخل

- مرحلة إنقاص الضغط: يبين الشكل (5) عملية إنقاص الضغط. في حال بدأ الإطار بالقفل يقوم الكمبيوتر بإنقاص الضغط المطبق عليه من خلال فتح أسطوانة الخرج مع الإبقاء على أسطوانة الدخل مغلقة .
- مرحلة إعادة تطبيق الضغط : في هذه المرحلة تغلق اسطوانة الخرج وتفتح أسطوانة الدخل وبذلك تتصل الأسطوانة الرئيسية بالإطارات من جديد ويعاد تطبيق الضغط على الإطار كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (5) مرحلة إنقاص الضغط [5]
 (1) الكمبيوتر، (2) منفذ الدخل، (3) منفذ الخرج
 (4) المضخة، (5) مجمع الضغط، (6) الأسطوانة الرئيسية



الشكل (6) مرحلة إعادة تطبيق الضغط [5]
 (1) منفذ الخرج، (2) منفذ الدخل، (3) الأسطوانة الرئيسية

5- أنواع نظام مانع الانغلاق الدوراني:

يوجد أكثر من نوع لهذا النظام:

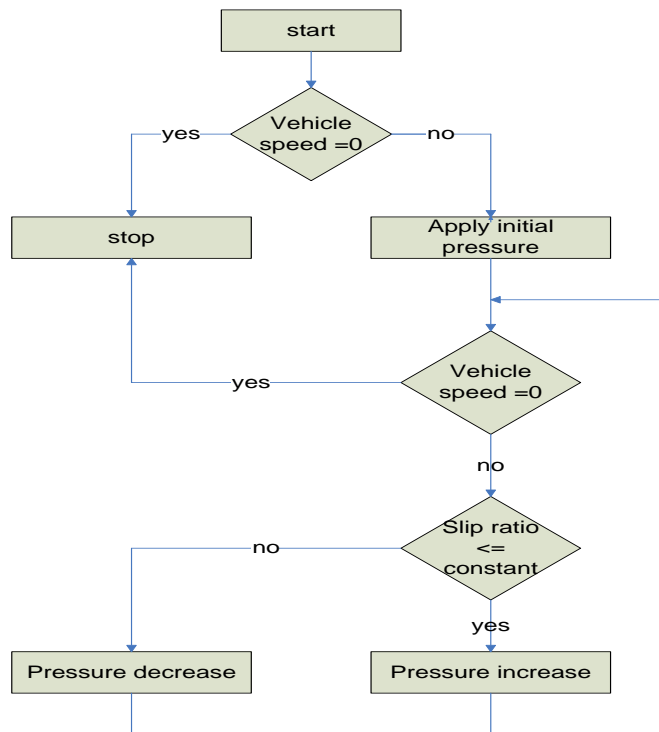
- أربع أفنية - أربعة حساسات (4 Channels - 4 Sensors): يعتبر النمط الأكثر تطوراً، في هذا النوع يوجد لكل إطار حساس لقياس السرعة وصمام مستقل للتحكم بالضغط المطبق عليه.
- ثلاث أفنية - ثلاث حساسات (3 Channels - 3 Sensors): تم تخصيص حساس سرعة وصمام للتحكم بكل من الإطارين الأماميين بشكل مستقل بينما يتم التحكم بالإطارين الخلفيين بصمام وحيد.

• قناة واحدة - حساس واحد (One Channel - One Sensor): وهو النوع الأكثر بساطة ويتحكم بالإطارين الخلفيين فقط ويكثر استعماله في الشاحنات [4].

6- خوارزمية عمل النظام: [6]

يبين الشكل (7) خوارزمية عمل النظام، تبدأ عملية المحاكاة باختبار سرعة السيارة، إذا كانت سرعة السيارة مساوية للصفر فهذا يعني أن السيارة قد توقفت ومن ثم أوقف عملية المحاكاة، أما إذا لم تكن مساوية للصفر نقوم بتطبيق الضغط الابتدائي ثم نختبر سرعة السيارة من جديد، إذا كانت مساوية للصفر نوقف المحاكاة وإلا نقوم بحساب نسبة انزلاق الإطار.

وجد تجريبياً أن معامل الاحتكاك يكون أكبر ما يمكن عندما تكون نسبة الانزلاق قريبة من القيمة 20% ، ومن ثم عندما تكون نسبة الانزلاق أصغر من هذه القيمة المحددة سلفاً نقوم بزيادة الضغط وهذا يؤدي إلى تناقص سرعة الإطار ومن ثم زيادة نسبة الانزلاق، أما عندما تكون نسبة الانزلاق أكبر من القيمة المطلوبة فإننا نقوم بإنقاص الضغط المطبق على الإطار وبذلك تزداد سرعته مما يجعل نسبة الانزلاق أقل. نعود بعد ذلك إلى اختبار سرعة السيارة من جديد ونكرر الخطوات السابقة نفسها.



الشكل (7) خوارزمية عمل النظام [6]

7- شبكات بتري الملونة:

بدأ العمل على شبكات بتري في الستينات والسبعينات، وسرعان ما تم الاعتراف بأنها واحدة من أكثر اللغات ملائمة لوصف وتحليل الاتصالات والتزامن وتقاسم الموارد بين العمليات المتزامنة. ومع ذلك، فإن محاولات استخدامها قد اصطدمت بعقبتين أساسيتين، الأولى هي عدم وجود مفهوم واضح للبيانات مما جعل النماذج كبيرة جداً لأن كل

المعلومات يجب أن تمثل بشكل مباشر في الشبكة، والثانية عدم توافر مفهوم الهرمية ومن ثمَّ عدم القدرة على تقسيم النموذج الكبير إلى مجموعة من النماذج الجزئية الأصغر. بدأ تطوير شبكات بتري عالية المستوى في نهاية السبعينات وشبكات بتري الهرمية في نهاية الثمانينات للتخلص من المشكلتين السابقتين.

تندرج شبكات بتري الملونة (CP-net , CPN) ضمن شبكات بتري عالية المستوى، حيث تجمع كل من هيكلية البيانات والتحليل الهرمي بدون المساس بقدرات شبكات بتري الأصلية [7].

استعملت شبكات بتري الملونة في العديد من المجالات [8]:

1- البروتوكولات والشبكات.

2- البرمجيات.

3- في مجال معالجة الأعمال.

4- في مجال مكونات الأجهزة الإلكترونية.

5- أنظمة التحكم.

6- الأنظمة العسكرية، وغيرها.

1-7- تعريف شبكات بتري الملونة غير الهرمية: تشتمل على تسعة حقول مترابطة فيما بينها:

$$CPN = (P, T, A, \sigma, V, C, G, E, I)$$

حيث:

P مجموعة منتهية من المواضع (Places).

T مجموعة منتهية من النواقل (Transitions).

A مجموعة منتهية من الأسهم (Arcs).

σ مجموعة منتهية من المجموعات الملونة (Colour Sets).

V مجموعة منتهية من المتغيرات ذات الأنواع (الألوان) (Typed Variables).

$C: P \rightarrow \sigma$ تابع مجموعة ملونة (Colour Set Function) يربط كل حالة (Place) بمجموعة ملونة.

$G: T \rightarrow \text{EXPR}_v$ تابع مراقبة (Guard Function) يقوم بتخصيص رقيب (تعبير منطقي) لكل ناقل

(Transition).

$E: A \rightarrow \text{EXPR}_v$ تابع خاص بالتعبير الموجود على السهم (Arc Expression Function) مهمته

تخصيص تعبير لكل سهم.

$I: P \rightarrow \text{EXPR}_\emptyset$ تابع الحالة الابتدائية (Initialization Function) يقوم بإعطاء تعبير ابتدائي لكل

حالة [9].

2-2- المكونات الأساسية لشبكات بتري الملونة غير الهرمية: تتألف شبكات بتري الملونة كأداة رسومية من

الأجزاء التالية:

1. المواضع (Places): ويعبر عنها بدائرة أو قطع ناقص، وتستعمل لوصف حالة النظام، تحتوي عدداً غير

سالبة من الرموز (Tokens) التي تحمل المعلومات.

2. النواقل (Transitions): ويعبر عنها بمستطيل، وتستعمل لوصف الأحداث التي يمكن أن تحدث في النظام، وتقوم بإزالة أو إضافة عدد محدد من الرموز من وإلى المواضع التي تتصل بها.
3. الأسهم (Arcs): تربط الأسهم بين المواضع والنواقل، وتملك أوزان (Weights) تحدد نوع المعلومات التي يمكن أن تنتقل عبرها [9,10,11].

7-3- قاعدة إطلاق الناقل (Firing Rules):

- يُطلق الناقل عندما تنتقل المعلومات من الموضع (place) الذي يقع في دخله إلى الموضع الذي يقع في خرجه وبهذا تتغير حالة النظام، لكي يتحقق ذلك يجب أن تتوافر الشروط الآتية:
1. نقول عن ناقل إنه مفعّل إذا كان كل مكان في دخل هذا الناقل يحتوي على معلومات حجمها على الأقل هو $w(p,t)$. حيث $w(p,t)$ هو الوزن المرتبط بالسهم الذي يصل الناقل بالموضع الموجود في دخله.
 2. يمكن أن يُطلق هذا الناقل المفعّل أولاً يُطلق تبعاً لحصول الحدث المرتبط بهذا الناقل أو عدم حصوله.
 3. عندما يُطلق الناقل المفعّل تُستهلك المعلومات ذات الوزن $w(p,t)$ من الموضع الواقع في دخل هذا الناقل، وتُضاف المعلومات ذات الوزن $w(t,p)$ إلى الموضع الواقع في خرج هذا الناقل.
- حيث $w(t,p)$ هو الوزن المرتبط بالسهم الذي يصل الناقل بالموضع الموجود في خرجه [10].

7-4- مثال توضيحي :

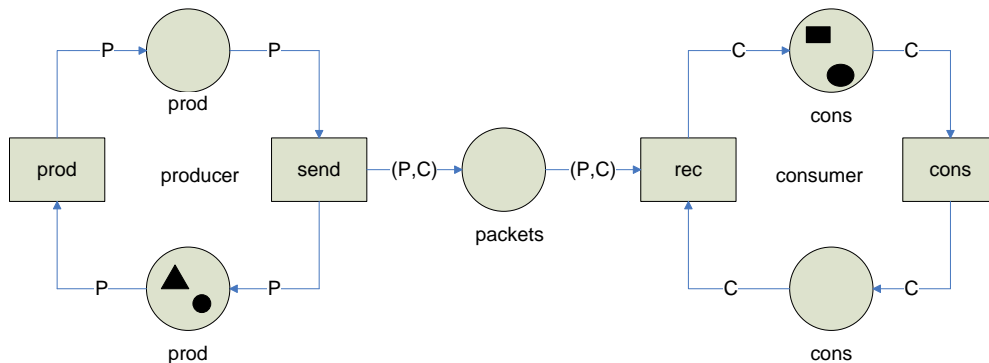
يبين الشكل (8) مثال توضيحي لشبكات بتري الملونة (المنتج-المستهلك)، حيث تم تعريف المجموعات الملونة والمتغيرات الآتية:

Colset Prod = {circle, triangle}; Colset Cons= {square, oval};

Colset Packets=product Prod * Cons;

Var P:Prod ; Var C:Cons ;

نقوم في هذا المثال باستخدام موضع من النوع (اللون) Packets ليقوم بدور المخزن المؤقت وعنصر الربط بين النوعين (اللونين) المختلفين في قسمي الشبكة، حيث استعمل النوع Prod في قسم المنتج من الشبكة ونوع Cons في قسم المستهلك. أي وضعنا النوعين (اللونين) المختلفين الموجودين في قسمي الشبكة (Prod,Cons) ضمن موضع واحد من النوع (Packets) وهذا ما لم نكن نستطيع فعله في شبكات بتري التقليدية.



الشكل (8) مثال توضيحي - المنتج والمستهلك

7-5- مفهوم الهرمية في شبكات بترية الملونة: يوجد عدة أسباب لاستعمال مفهوم الهرمية ومن أهمها ازدياد حجم الأنظمة وتعقيدها بحيث يصبح من غير المجدي رسم نموذج كامل للنظام على صفحة واحدة. تقدم الهرمية المرونة اللازمة للنموذج لكي يركز على مستويات مختلفة من التفصيل ضمن النموذج، بحيث يمكن إما الحصول على نظرة عامة للنظام أو نظرة مفصلة.

تعتمد الهرمية على مفهومين أساسيين هما :

- 1) الناقل البديل (Substitution Transition): هو عبارة عن ناقل يعبر عن جزء كامل من بيئة النظام.
- 2) المجموعات المتحدة (Fusion Sets): تسمح المجموعات المتحدة بتبادل المعلومات بين الصفحات المختلفة، وذلك عن طريق ربط المواضيع في مختلف الصفحات مع بعضها بحيث تصبح بمنزلة مكان واحد [9].

النتائج والمناقشة:

1- نموذج نظام مانع الانغلاق الدوراني:

في هذا النموذج تم اعتماد الفرضيات الآتية:

- 1- تتحرك السيارة على طريق مستقيم .
 - 2- تم إهمال مقاومة الهواء .
 - 3- تم فرض سرعة السيارة الابتدائية .
 - 4- سيبدأ النظام بحساب سرعة الإطار بالاعتماد على قيمة الضغط الابتدائي المطبق من قبل السائق.
 - 5- تم حساب عزم الإطار الابتدائي بفرض تغير بسيط للسرعة خلال زمن صغير جداً (لحساب التباطؤ) ثم استعمال قانون نيوتن الثاني لحساب القوة ومنها العزم المطلوب .
- الثوابت في النظام:

الجدول (2) الثوابت المستخدمة في النموذج

Quarter Vehicle Mass	250 KG
Wheel Radius	0.32 m
Initial Velocity	90 km/h
Initial Pressure	20 bar
Moment of Inertia of the Wheel	1.7 kg.m ²
Piston Area	6.8 cm ²

2- الصفحة الرئيسية:

تعطي الصفحة الرئيسية نظرة عامة للنظام كما هو مبين في الشكل (9)، حيث استعملنا ثلاثة نواقل بديلة الأول لحساب سرعة الإطار والثاني لحساب سرعة السيارة والثالث لحساب نسبة انزلاق الإطار.

ويظهر في أعلى الصفحة المؤشرات التي تدل على وجود صفحات أخرى جزئية ضمن النظام.

3- حساب سرعة الإطار:

يبين الشكل (10) الصفحة المستعملة لحساب سرعة الإطار. قمنا في هذه الصفحة باختيار قيمة ابتدائية للضغط المطبق على الفرامل وهي 20 bar لنبدأ منها حساب سرعة الإطار، ثم حصلنا على القوة المطبقة على المكبس الموجود داخل أسطوانة الإطار (wheel Cylinder) من خلال ضرب قيمة الضغط بمساحة هذا المكبس.

4- حساب نسبة الانزلاق: يبين الشكل (11) طريقة حساب نسبة الانزلاق، حيث استعملنا لحسابها كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار وفق القانون التالي: $\lambda = \frac{V-W.R}{V}$.

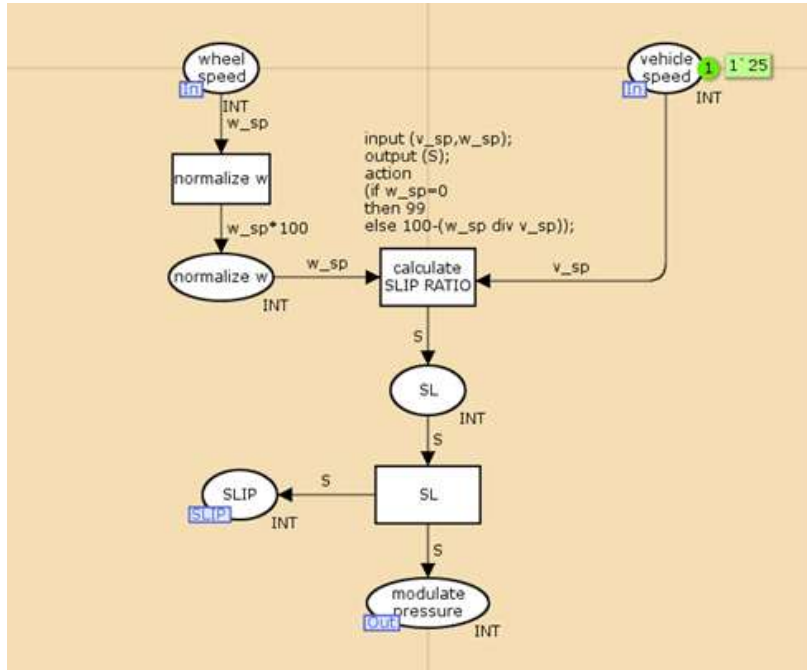
5- حساب سرعة السيارة:

يوضح الشكل (12) طريقة حساب سرعة السيارة.

استعملنا في هذه الصفحة ناقلاً بديلاً جديداً لمعرفة معامل الاحتكاك بين الطريق والإطار كما هو موضح في الشكل (13) حيث يتم اختيار معامل الاحتكاك وضربه بوزن السيارة للحصول على قوة الاحتكاك بين الطريق والإطار. بالعودة إلى الشكل (12)، بضرب قوة الاحتكاك بنصف قطر الإطار نحصل على العزم الدوراني للإطار. نطبق قانون نيوتن الثاني وذلك بتقسيم قيمة قوة الاحتكاك على كتلة السيارة للحصول على تباطؤ السيارة وبمكاملة هذا التباطؤ نحصل على سرعة السيارة.

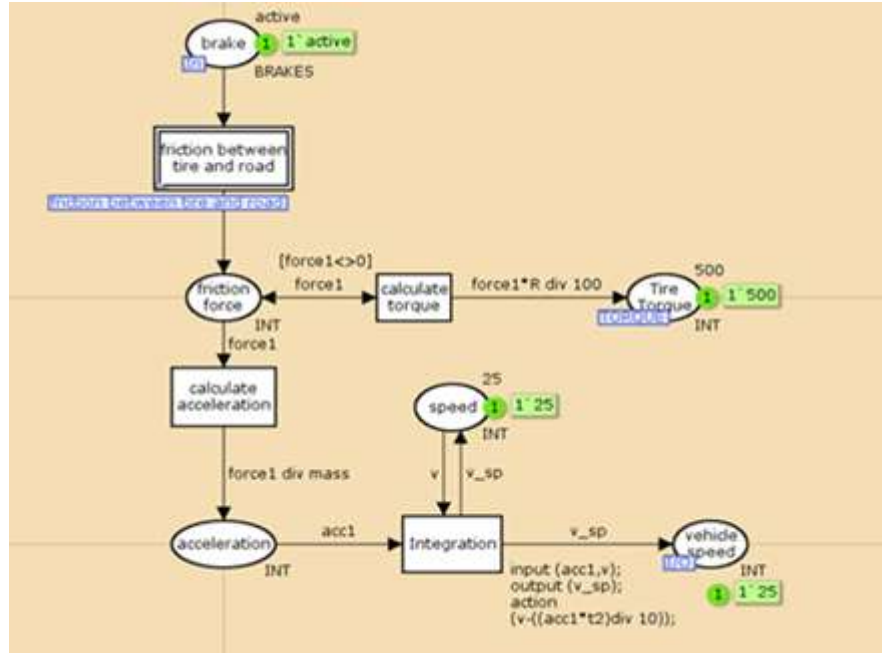
6- طريقة عمل النموذج:

فرضنا قيمة ابتدائية معلومة لسرعة السيارة لذلك سيبدأ النموذج العمل في المرة الأولى من الصفحة الخاصة بحساب سرعة الإطار الشكل (10)، بعدها ننتقل إلى حساب نسبة انزلاق الإطار بعد أن نكون قد عرفنا كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار كما هو مبين في الشكل (11)، يتم اختيار قيمة معامل الاحتكاك تبعاً لقيمة نسبة الانزلاق المحسوبة كما هو مبين في الشكل (13)، ثم ننتقل إلى حساب سرعة السيارة في اللحظة التالية كما هو مبين في الشكل (12).

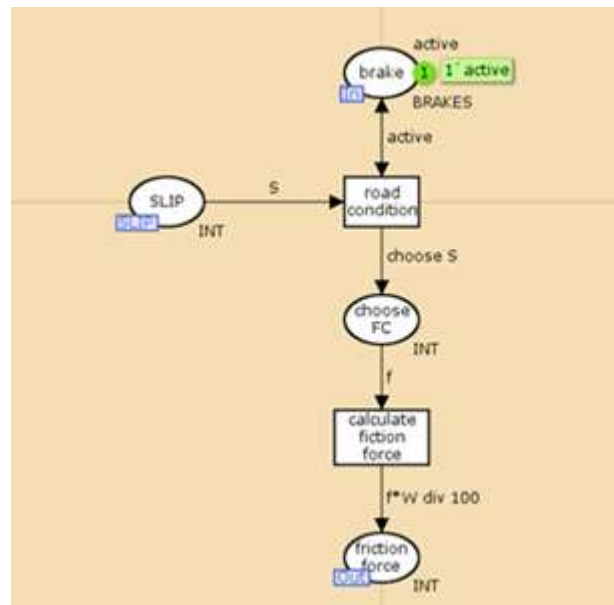


الشكل (11) حساب نسبة الانزلاق

يتم اختيار قيمة الضغط الواجب تطبيقه على الفرامل تبعاً لقيمة نسبة الانزلاق المحسوبة مسبقاً كما هو مبين في الشكل (10)، وهكذا يتم حساب سرعة الإطار الجديدة وسرعة السيارة الجديدة ومنهما تحسب نسبة الانزلاق الجديدة وهكذا تتكرر العملية حتى تقف السيارة.



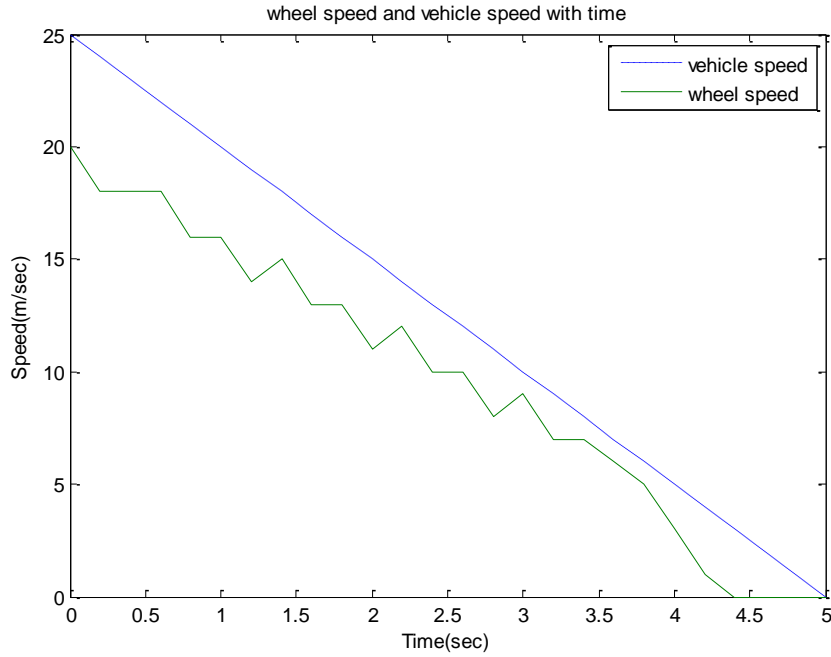
الشكل (12) حساب سرعة السيارة



الشكل (13) اختيار معامل الاحتكاك

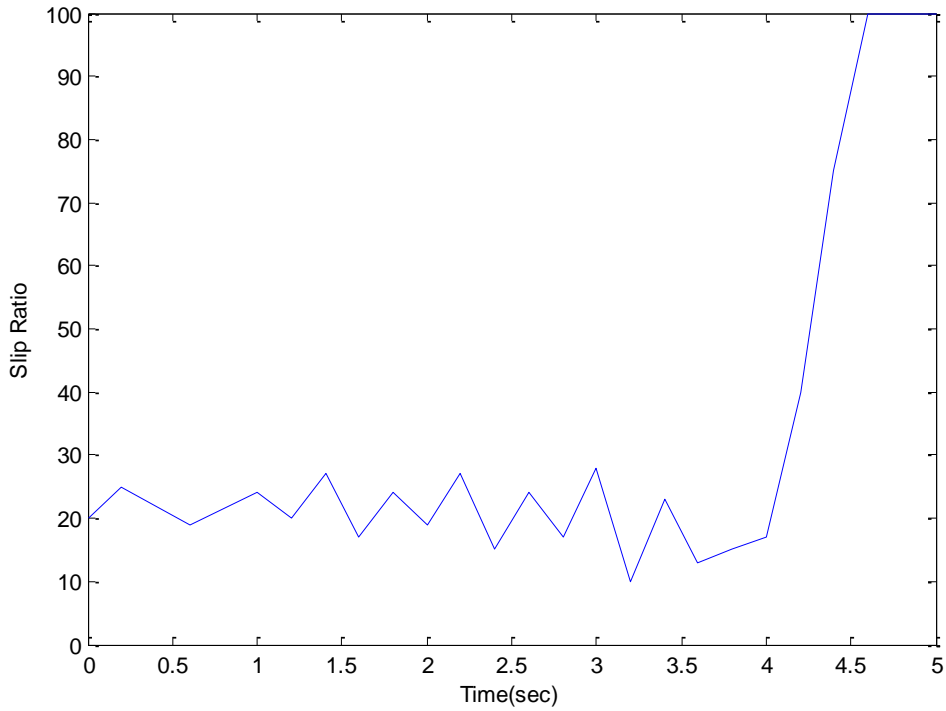
7- نتائج عملية المحاكاة:

يبين الشكل (14) تغير كل من سرعة السيارة وسرعة الإطار مع تغير الزمن من أجل القيم المفروضة سابقاً. نلاحظ تناقص سرعة السيارة بشكل خطي حتى تبلغ الصفر، أما بالنسبة لسرعة الإطار فنلاحظ أنها تثبت على قيمة معينة لفترة زمنية صغيرة (أي يكون التباطؤ مساوياً للصفر) كما يمكن أن تزداد قليلاً بدون أن تتجاوز سرعة السيارة (أي سرعة الإطار دائماً أقل من سرعة السيارة) ثم تتابع التناقص حتى تقف السيارة.



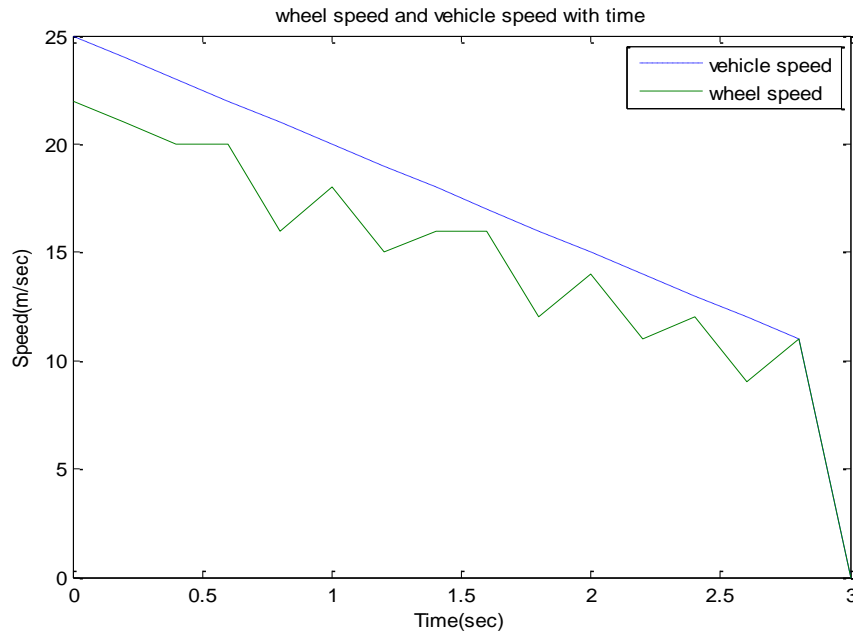
الشكل (14) سرعة السيارة وسرعة الإطار بدلالة الزمن

يوضح الشكل (15) تغير نسبة الانزلاق مع تغير الزمن، حيث نلاحظ تأرجح قيمة نسبة الانزلاق حول القيمة 0.2 وتزايدها مع تناقص كل من سرعة السيارة والإطار حتى تقف المركبة، لكن هذا التزايد لا يعتبر خطراً على توازن المركبة لأن سرعتها ستكون قد انخفضت كثيراً.



الشكل (15) تغير نسبة انزلاق الإطار مع الزمن

8- تأثير تغيير أحد بارومتريات السيارة على أداء النظام: تغيير نصف قطر الإطار: قمنا بتكبير نصف قطر الإطار، بحيث يصبح مساوياً $R = 40 \text{ cm}$ ، ثم أعدنا تنفيذ عملية المحاكاة وحصلنا على النتائج التالية: من أجل نفس قيم الضغط المطبق على الإطار نلاحظ توقف السيارة خلال زمن أقل لكن هذا ليس بالضرورة أمر جيد لأن المركبة ستتوقف بشدة وهذا يمكن أن يشكل خطراً على السائق.



الشكل (16) سرعة السيارة وسرعة الإطار بدلالة الزمن بعد تغيير نصف قطر الإطار

الاستنتاجات والتوصيات:

نظراً لاهتمام العديد من الباحثين والمصنعين بنظام مانع الانغلاق الدوراني فقد تم بناء نموذج له باستعمال برنامج الماتلاب (MatLab) [12]. يبين الجدول التالي الفروق الموجودة بين النموذجين :

الجدول (3) مقارنة بين النموذج المبني بشبكات بتري الملونة مع المبني بالماتلاب

نموذج الماتلاب	نموذج شبكات بتري الملونة
ينقل القارئ من قيمة إلى أخرى.	يسمح للقارئ الانتقال بين الحالة والحدث بشكل سلس من خلال المواضيع والنواقل مما يؤمن فهم أعمق للنظام.
يعطي النتيجة النهائية لعملية المحاكاة بدون أن نتمكن من معرفة ما يجري داخل النظام.	يسمح لنا البرنامج بإجراء عملية محاكاة تفاعلية حيث نستطيع رؤية التغييرات التي تطرأ على النظام بعد حصول كل حدث من خلال واجهة رسومية واضحة.
لا يقدم مثل هذه الخاصية .	يسمح لنا البرنامج بمعرفة وتحليل كل الحالات التي يمكن أن يصل إليها النظام والتي قد لا توضحها عملية المحاكاة من خلال رسم فضاء الحالة للنظام المدروس.
البارومتريات المستعملة والنتائج تحتاج إلى تدقيق ومراجعة.	تم أخذ بارومتريات سيارة حقيقية والنتائج التي حصلنا عليها منطقية.

يمكن من خلال هذا النموذج فهم طريقة عمل نظام مانع الانغلاق الدوراني، وإجراء عملية محاكاة لأي نوع من المركبات وذلك بتغيير البارامترات المدروسة (مثل نصف قطر الإطار ووزن المركبة)، وبالتالي دراسة تأثير هذا التغيير على أداء النظام والمركبة بشكل عام.

قدمت شبكات بتري الملونة بيئة مرنة للنمذجة والمحاكاة قمنا فيها بالاستفادة من مفهوم الهرمية الذي يسمح بتقسيم النظام المدروس على عدد من الصفحات، واستخدمنا طريقة المحاكاة التفاعلية التي تسمح لنا بالتحكم بكل خطوة والاختيار بين النواقل المفعلة.

يمكن إدخال تقنيات ذكية على النموذج لتحسين أداء النظام، وبما أن نظام مانع الإقفال الدوراني يتصف باللاخطية يعتبر المنطق العائم أحد التطبيقات التي يمكن أن تستعمل لتحديد قيم الضغط الواجب تطبيقه على الإطارات للحصول على أفضل النتائج الممكنة.

المراجع:

- 1- FRESE, T.; HEUSER, G. *Testing of Existing Anti-Lock Braking System (ABS)*. version2, Institute of Traffic Safety Department Safety Research and Development, Report 02-946 EL 001 , 2002, 55.
- 2- JIANG, F.; GAO, Z. *An application on Nonlinear PID control to a Class of Truck ABS Problems*.
- 3- HAMZAH, N.B. *Antilock braking Control Using Robust Control Approach*. Faculty of Electrical Engineering University Teknologi Malaysia, Malaysia, 2006, 96.
- 4- BURTON, D.; DELANEY, A.; NEWSTEAD, S. ; LOGAN , D.; FLIDES , B. *Evaluation of Anti-Lock Braking System Effectiveness* . Report No. 04/01, Royal Automobile Club of Victoria (RACV) Ltd, 2004, 85.
- 5- *Electronic Braking System*. Renault ,2002.
- 6- OZDALYAN, B.; BLUNDELL, M.V. "Anti-Lock braking System Simulation and Modelling in ADAMS." *International Conference on Simulation Conference Publication No.457*. (1998):140.
- 7- JENSEN, K. *History of Petri Nets*, Aarhus University, 2010, access time 6 Dec. 2010. <http://cs.au.dk/cpnets/intro/>.
- 8- JENSEN, K. *Industrial use*, Aarhus University, 2010, access time 6 Dec.2010. <http://cs.au.dk/cpnets/industrial-use/>.
- 9- JENSEN, K.; KRISTENSEN, M.L. *Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Springer, 2009, 382.
- 10- TADAO MURATA, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications." *IEEE VOL 77, NO.4*. (1989): 541.
- 11- JENSEN, K. *An Introduction of the Practical Use of Coloured Petri Nets*. The course material will be published in Lecture Notes in Computer Science Springer-Verlag, 1996.
- 12- Mat Lab R 2008a.