

دراسة التأثيرات التي يتركها نظام التعليق الفعال ، على أداء أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات

الدكتور محسن داود*

الدكتور فادي متوج**

نزار محمد***

(تاريخ الإيداع 22 / 11 / 2016 . قُبِلَ للنشر في 17 / 7 / 2016)

□ ملخص □

نسعى في هذه الدراسة إلى التنبؤ بالضرر الذي سريتركه استخدام أنظمة التعليق الفعال في سيارات الركاب الحديثة على أداء أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط لإطارات ، التي تحدد حالات انخفاض الضغط إما عن طريق تحليل إشارات سرعة دوران العجلات ، أو عبر تحليل بيانات الاهتزاز الخاصة بالسيارة .
فأنظمة التعليق الفعال المستخدمة بهدف زيادة راحة الركاب ، تطبق مقدار إضافي من الحمولة الشاقولية على بعض العجلات ، والذي قد يسبب اختلافاً في سرعة الدوران بين عجلات السيارة الأربعة ، جراء التباين الحاصل في حمولة الإطارات (وبالنتيجة نصف قطرها الفعلي) . كما من المحتمل أن تتسبب بتغيير معدل الاهتزازات التي يخضع لها جسم السيارة خلال القيادة ، إلى درجة قد يصبح من الصعب أو الخطأ فيها الاعتماد على إشارات الاهتزاز للتنبؤ بحالات انخفاض الضغط . وفي كلتا الحالتين ، من المتوقع حدوث تغيير في أداء أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات .

أظهرت هذه الدراسة أن أنظمة مراقبة الضغط المعتمدة على إشارات سرعة دوران العجلات ستبقى قادرة على العمل بوجود نظام التعليق الفعال وسيقتصر التأثير الناتج على جودة إشارات التحذير الصادرة عنها. بينما ستفشل أنظمة مراقبة الضغط المعتمدة على تحليل الاهتزازات إذا كانت معطيات الاهتزاز التي تعالجها تمثل إشارات التسارع الشاقولي للعجلات .

الكلمات المفتاحية: أنظمة مراقبة ضغط الإطارات (TPMS) ، نظام تعليق فعال ، المنظم الخطي التريبيعي ، مخطط كثافة الطيف .

* أستاذ - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

** مدرس - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

*** طالب ماجستير - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

Study of The Effects Caused by Active Suspension System on Indirect Tire Pressure Monitoring Systems Performance .

Dr. Mohsen Dawood *
Dr. Fadi Motawej **
Nizar Mohammad ***

(Received 22 / 11 / 2016. Accepted 17 / 7 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this work ,we try to predict the disadvantages will be caused by active suspension system on indirect tire pressure monitoring systems (TPMS) which rely on analysis either rotational speed signals of wheels or vehicle body vibration signals.

Active suspension systems that aim to increase passengers comfort apply some additional vertical loads on vehicle's wheels which may cause difference in its rotational speed due to the resulting load difference. also it may change the vibration level of the vehicle during driving so the usage of vibration signals for monitoring tire pressure could be difficult or impossible . in both cases the performance of TPMS may be changed.

This study showed that TPMS which rely on rotational speed signals will still able to work and the effects of active suspension system will confine on the quality of the resulting warnings while the TPMS which depend on vibration analysis will conk if the analyzed vibration data was the vertical acceleration signals of wheels .

Key words : Tire Pressure Monitoring Systems (TPMS), Active Suspension System , Linear Quadratic Regulator (LQR) , Power Spectral Density (PSD) .

* Professor , Department of Mechatronic , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia , Syria

** Assistant Professor, Department of Mechatronic , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia , Syria

*** Postgraduate Student , Department of Mechatronic , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia , Syria

مقدمة :

تشكل الإطارات رقعة الاتصال الوحيدة بين السيارة و سطح الطريق ، والتي يعبر من خلالها معظم الإجهادات المطبقة على العربة . يلعب ضغط نفخ الإطارات دوراً مهماً في تحديد خصائص رقعة الاتصال هذه مما يكسبه أهمية خاصة عند الحديث عن متطلبات القيادة الآمنة والمريحة والاقتصادية . لقد ثبت أن 75% من شقوق الإطارات ناتجة عن نقصان ضغط النفخ ، وأن استهلاك الوقود يزداد و عمر الإطارات ينخفض بمعدل 20% لكل 0.2 بار انخفاض بضغط النفخ [1] . ومما يزيد المشكلة سوءاً عدم تنبّه السائق إلى حدوث تغيرات في ضغط الإطارات إلا بعد مضي فترة زمنية طويلة عدا عن عدم قدرته على ملاحظة هذه التغيرات ما لم تكن كبيرة بمقدار كافٍ . إن كل ما سبق يؤكد الدافع لظهور أنظمة مراقبة ضغط الإطارات والتي تندرج تحت صنفين رئيسيين هما :

(1) أنظمة المراقبة المباشرة لضغط الإطارات : توصف هذه الأنظمة بالمباشرة لأنها تنتبأ بالضغط عن طريق قياسه بشكل مباشر بواسطة حساسات الضغط . حيث يتم تزويد كل إطار بحساس ضغط مع مرسل راديوي يعمل بالبطارية ويرسل لاسلكياً القيم المقاسة للضغط إلى وحدة معالجة مركزية تعالج بدورها هذه القيم وتعرضها على شاشة رقمية أمام السائق . يتطلب هذه النوع من الأنظمة مراعاة دائمة في كل مرة يتم فيها إصلاح أو تبديل الإطارات ، كما يتطلب تصليحاً زائداً بسبب كثرة أعطال الحساسات التي تخضع لشروط عمل قاسية داخل الإطارات و صيانة إضافية بسبب الحاجة إلى تبديل بطاريات المرسل الراديوي عند استنفادها [1] ، [2].

(2) أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات : تنتبأ هذه الأنظمة بانخفاض الضغط دون استخدام حساسات الضغط . فإما أن تعتمد على إشارات سرعة دوران العجلات وعندها ستحدد الإطار ذو الضغط المنخفض من خلال دورانه بسرعة أعلى من بقية الإطارات لأن محيطه المتدحرج أقل (نصف قطرها أصغر)، أو أن تلجأ إلى تحليل اهتزازات جسم السيارة لتحديد ترددات الرنين الخاصة بالإطارات (العجلات) الأربعة . حيث تبدي الإطارات رد فعل مشابه للناضب عندما يتم تهيجها بواسطة نتوءات سطح الطريق وسيؤدي انخفاض ضغط النفخ في إحدى الإطارات إلى نقصان صلابته وبالتالي انخفاض تردد الرنين الخاص به . و بسبب الحساسات الإضافية التي تمتاز بها أنظمة المراقبة غير المباشرة (عدم الحاجة إلى حساسات إضافية و الصيانة طويلة المدى) فقد تم الاعتماد عليها بكثرة في الآونة الأخيرة حيث قامت Audi بتضمينها بدءاً من العام 2010-2011 في الموديلات Audi A3, A4, A5 , A6, A8, Q5, Q7 وكذلك قامت Volkswagen بتضمين هذه الأنظمة في الموديلات Volkswagen's Golf , GTI , Jetta [2] .

يمكن أن نجد نوعين من أنظمة التعليق المستخدمة في السيارات الحديثة هما نظام التعليق السلبي ، ونظام التعليق الفعال . في نظام التعليق السلبي ، يتم تركيب نابض مع ماص صدمات (متمد) بين هيكل السيارة وكل عجلة من العجلات الأربعة . تكون النوابض و ماصات الصدمات المستخدمة ذات خصائص محددة وثابتة مما يمنع نظام التعليق السلبي من التكيف مع التغيرات المؤقتة في شروط تشغيل العربة ومن انجاز كل التوقعات المرجوة منه . لتلافي هذه المشكلة ولتأمين مزيد من الراحة خلال القيادة يتم استخدام نظام التعليق الفعال ، الذي يتضمّن بالإضافة إلى المكونات السابقة مشغلاً هيدروليكيّاً (أسطوانة هيدروليكية) بين هيكل السيارة وكل عجلة من العجلات الأربعة . من خلال هذه المشغلات وباستخدام حلقة تغذية عكسية مناسبة يتم التحكم بقيم الحمولات المطبقة على كل عجلة من عجلات السيارة .

أهمية البحث و أهدافه :

نسعى خلال هذه الدراسة إلى التنبؤ بأداء أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات في ظل وجود أنظمة التعليق الفعال . بحيث نكون قادرين في النهاية على تقييم صلاحية استخدام أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات في سيارات الركاب المزودة بنظام تعليق من النوع الفعال . إن الأهمية التي يمتاز بها هذا البحث تأتي من محاولته تعزيز مصداقية أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات ، فقد ينبه لبعض الحالات الجديدة التي لا يصلح فيها استخدام هذه الأنظمة خوفاً من الحصول على نتائج خاطئة . كما قد يكشف عن مشاكل إضافية تعاني منها أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات والذي يشكل البحث عن حلولها دافعاً لتطوير أداء هذه الأنظمة .

طرائق البحث ومواده :

يتطلب إجراء هذه الدراسة توفير نوعين أساسيين من المعطيات هما : الإشارات المحددة لسرعة دوران عجلات السيارة الأربعة (w_1, w_2, w_3, w_4) ، بالإضافة إلى الإشارات الممثلة للاختلافات الحاصلة لجسم السيارة . إن استخلاص هذه المعطيات من عربة اختبار حقيقية يتطلب البحث عن سيارة ركاب مجهزة بنظام تعليق فعال ، ثم القيام بعمليات قياس متكررة مرة بوجود نظام التعليق الفعال ومرة أخرى دون وجود نظام تعليق فعال ومن أجل ضغوط نفخ مختلفة للإطارات وهذا أمر صعب ومعقد . بالإضافة إلى الصعوبات المرتبطة بجمع الإشارات المطلوبة ، والحفاظ عليها من الضجيج ، و الكلفة الكبيرة . إن الطريقة البديلة يمكن أن تكون عبر بناء نموذج SIMULINK لسيارة الاختبار ، مناسب لغرض الدراسة ، وقادر على تأمين جميع الإشارات المطلوبة . إن المرونة التي تبديها هذه الطريقة من حيث السهولة في التنفيذ و التكرار غير المحدود للاختبارات عند شروط مختلفة للقيادة وبارامترات مختلفة للسيارة ، بالإضافة إلى الكلفة المعدومة شكلاً السبب الذي دفعنا إلى اعتماد هذه الطريقة على الرغم من التعقيد و الجهد الإضافي اللازم لبناء النماذج المطلوبة والتي عملنا على جعلها أقرب ما يمكن للنظام الحقيقي وذلك لضمان جودة النتائج و صلاحية استخدامها .

بناء نموذج Simulink لسيارة الاختبار :

يمكن أن نجد في المراجع عدة نماذج رياضية مفيدة لموضوعنا كما في [3] و [4] و [5] ، ولكن بما أننا نعمل ضمن بيئة Simulink في برنامج MATLAB فإننا سنبحث عن نموذج يستفيد من بلوكات المكتبة الفرعية " Vehicle Components " الموجودة في MATLAB . إن النموذج " four-wheel drive dynamics " المخزن ضمن مكتبة نماذج MATLAB والممثل لسيارة رباعية الدفع ذات محرك احتراق داخلي يعمل بالبنزين يبدو مناسباً بعض الشيء لغرض الدراسة ، ولهذا تم استخدامه كحجر أساس للحصول على النموذج النهائي المنشود لسيارة الاختبار عن طريق إجراء التعديلات التالية :

1 : استبدال البلوك الممثل للإطار الهوائي بأخر مناسب أكثر لإجراء هذه الدراسة :

توفر النسخ المتعاقبة من MATLAB نماذج مختلفة للإطار الهوائي تتدرج من البسيطة إلى المعقدة . يعتبر

بلوك

الإطار المستند على نموذج الصيغة السحرية (Magic Formula) الأفضل بينها من حيث القدرة على إعطاء

سلوك قريب جداً من سلوك الإطار الحقيقي . ولكنه يبقى يعاني من مشكلة جوهرية تحول دون إمكانية استخدامه لإجراء هذه الدراسة وتتمثل في عدم قدرته على تضمين كل التأثيرات الناتجة عن تغير ضغط نفخ الإطار . فعلى سبيل المثال لا يستطيع هذا البلوك أن يحاكي زيادة سرعة الدوران الناجمة عن انخفاض ضغط النفخ أو زيادة حمولة الإطار)

والذي يعتبر أمراً ضرورياً وجوهرياً خلال دراستنا ومثبت تجريبياً حسب المرجع [8] . وهذا ما دفعنا إلى بناء بلوك جديد للإطار يستند على نموذج رياضي مُعدّل عن نموذج الصيغة السحرية [7] ، وقادراً على ملائمة تغيرات ضغط النفخ ، وعلى تضمين الأثر الناتج عن زاوية إمالة العجلات ، وعلى محاكاة عملية الكبح . إن المعادلات الخاصة بهذا البلوك مبينة بالتفصيل في المراجع [3],[6],[7],[8],[11] .

2 : نمذجة نظام التعليق الخاص بالسيارة :

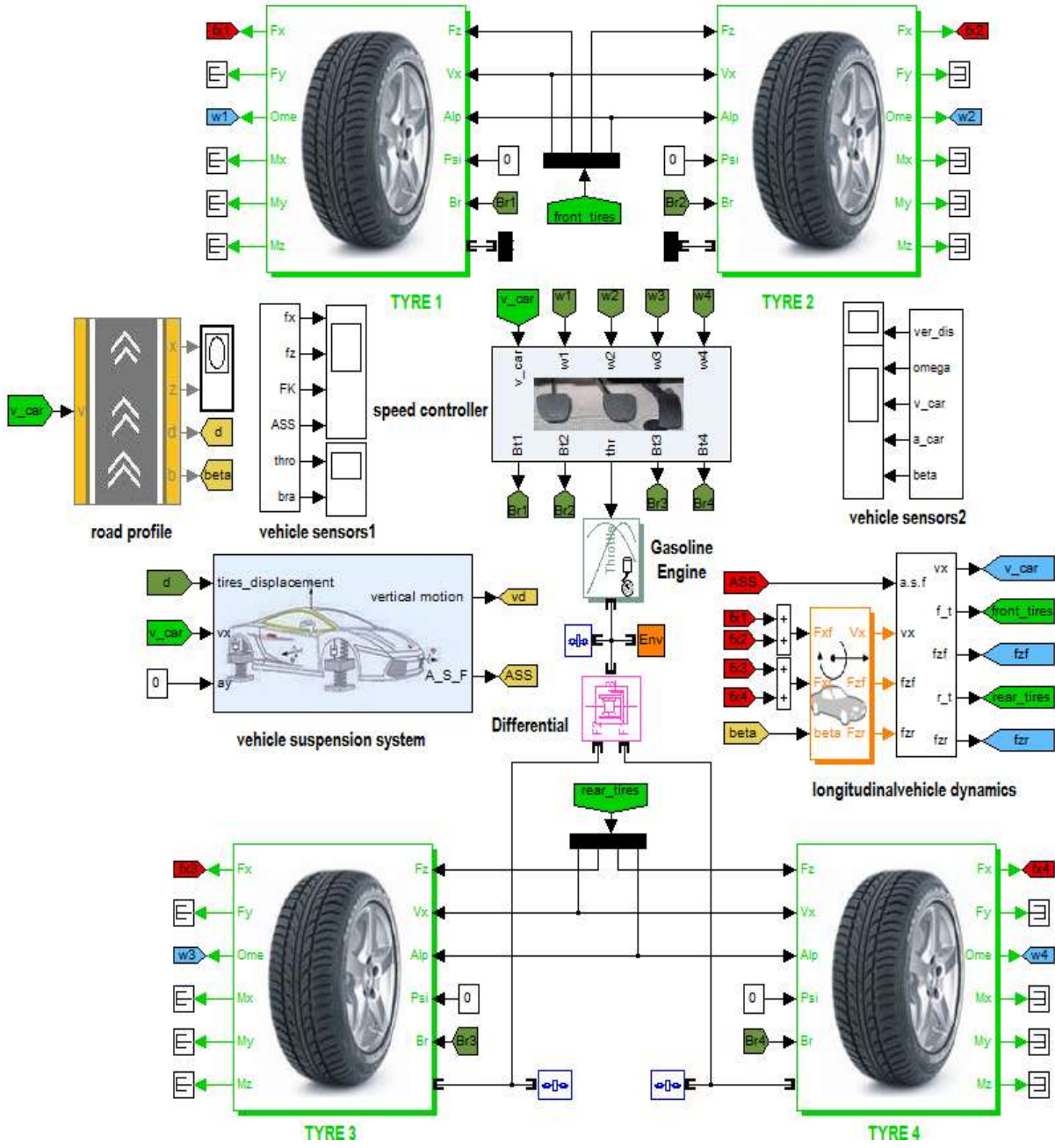
لقد كان الدافع الأساسي لإضافة البلوك " Vehicle Suspension System " الممثل لنظام تعليق السيارة هو توفير الإشارات المعبرة عن الاهتزازات التي تخضع لها السيارة خلال القيادة ، وحساب قيمة القوى الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعّال على العجلات . يستند هذا البلوك على المعادلات الممثلة للنموذج " Full Car Model [3] ، ويمتلك درجات الحرية السبع التالية : الإزاحة الشاقولية لمركز الثقل ، الإزاحة الزاوية حول المحور الطولي للسيارة (Vehicle Roll) ، الإزاحة الزاوية حول المحور العرضي للسيارة (Vehicle Pitch)، الإزاحات الشاقولية الخاصة بالكتل الممثلة للإطارات الأربعة . يستطيع هذا النموذج أن يصف بشكل دقيق السلوك الاهتزازي للسيارة المحرض بتأثير كلاً من : نتوءات سطح الطريق ، التسارع الطولي للسيارة ، التسارع الجاني للسيارة . وهو قادر على العمل في نمطين مختلفين حيث يمكنه أن يعمل إما في نمط التعليق السلبي ، أو في نمط التعليق الفعّال . أما لحساب قيمة القوى التي تطبقها المشغلات الخاصة بنظام التعليق الفعّال على العجلات ، فقد تم نقل النموذج السابق إلى فضاء الحالة و إجراء تغذية عكسية باستخدام المنظم الخطي التريبيعي LQR [14] . إن المعادلات التي اعتمدنا عليها في بناء هذا البلوك وكذلك كود MATLAB المخصص لحساب ربح التغذية العكسية للمتحكم مستندة على المراجع [3],[12],[13],[14] .

3 : توفير خاصية اختيار سرعة القيادة المرغوبة :

من المفيد أن يوفر النموذج المشكّل لسيارة الاختبار ميزة اختيار السرعة المرغوبة خلال أي جولة قيادة نحن بصدد محاكاتها . ولهذا فقد تم إضافة البلوك " speed controller " الذي يحاكي تماماً عمل السائق الذي يراقب سرعة سيارته ويبقيها عند الحدود المرغوبة باستخدام دواستي الوقود و الفرامل . يحتوي هذا البلوك ضمن بنيته الداخلية على نظامي تحكم بفتحة الصمام وبعزم الكبح المطبق على العجلات . يقوم نظام التحكم بالصمام الخائق بمراقبة سرعة السيارة ، فإذا كانت أقل من الحد المرغوب فإنه يزيد فتحة الصمام الخائق وبالتالي كمية الوقود المقدّمة للمحرك والعكس صحيح . إن نظام التحكم بفتحة الصمام الخائق غير قادر لوحده على الحد من الزيادة الحاصلة في سرعة السيارة في حالات النزول . وهذا ما أوجب علينا إنشاء نموذج لنظام الكبح مستند على [13] ، و بناء نظام تحكم يحدد قيمة عزم الكبح المطلوب تطبيقه من قبل نظام الكبح على عجلات السيارة لإبقائها عند السرعة المرغوبة . إن جميع المعادلات المستخدمة في نمذجة نظام الكبح مبينة بالتفصيل في المرجع [13] .

4 : اختيار الشكل المرغوب لمسار الاختبار :

لزيادة سهولة اختبار النموذج الناتج ، تم إضافة البلوك " road profile " الذي يسمح بتوليد مسار قيادة يمكن أن يتضمن عدة أجزاء جيبيية ، مطبات ، جزءاً منحدرًا ، مقداراً من الضجيج العشوائي يعبّر عن عدم انتظام سطح الطريق وكلها ذات خصائص محددة حسب الرغبة . خلال عملية المحاكاة سنقوم السيارة باجتياز جزئٍ محدد من هذا الطريق يتناسب طوله مع سرعة تحركها عليه و زمن المحاكاة المنقضي . بعد إجراء هذه التعديلات نكون قد حصلنا على النموذج النهائي لسيارة الاختبار المستخدمة لإجراء الدراسة و المعروض في الشكل (1) .



الشكل (1) : النموذج النهائي لسيارة الاختبار و المستخدم لإجراء الدراسة .

بناء نماذج SIMULINK الخاصة بأنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات :

تعد خوارزمية PRW من أشهر خوارزميات المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات المعتمدة على مقارنة سرعة دوران العجلات [8] . ولهذا فقد اختيرت لإجراء الدراسة عليها وتم بناء نموذج SIMULINK لها . يوضح المخطط المعروض في الشكل (2) آلية عمل هذه الخوارزمية ، ففي البداية تخضع المعطيات المقاسة لسرعة دوران العجلات إلى عملية تقييم يتم بموجبها رفض المعطيات المقاسة لسرعة دوران العجلات في الحالات التالية خوفاً من الحصول على نتائج خاطئة [8] :

(1) قيادة السيارة بسرعة منخفضة جداً .

(2) خضوع السيارة لتسارع طولي أو جانبي حاد جداً.

(3) القيادة على طريق ذو شروط حرجة (تشمل حالات القيادة على طريق ذو درجة خشونة مفرطة ،

أو له زاوية انحدار عالية جداً ، وكذلك حالة وجود اختلاف في شروط الطريق بين زوجي العجلات اليمينية و اليسارية).

(4) مناورات القيادة الحرجة .

بعد عملية التقييم هذه سيخضع الجزء المقبول من معطيات سرعة الدوران إلى عمليات التصحيح التالية [8] :

• **Offset correcting** : تهدف عملية التصحيح هذه إلى تعويض الفرق الطبيعي في السرعة الدورانية بين العجلات الأمامية والخلفية ، والذي قد يرجع إلى اختلاف أبعاد الإطارات الأمامية عن الخلفية ، أو إلى اختلافات الصغيرة بضغط النفخ ، و يتم عادةً استخدام قيم مختلفة للتصحيح بناءً على سرعة القيادة .

• **Cornering correcting** : تهدف عملية التصحيح هذه إلى تعويض فرق السرعة الدورانية الحاصل بين

العجلات اليمينية واليسارية عند انعطاف السيارة .

أما في المرحلة الثالثة يتم حساب قيم المتحولات التالية والتي بناء عليها يجري تحديد الإطار ذو الضغط

المنخفض [8] :

• المتحول **Diag** : يحسب من خلال مقارنة سرعة دوران العجلات القطرية مع بعضها البعض ويعطى

بالعلاقة :

$$\text{Diag} = \left(\frac{w1+w4}{w2+w3} - 1 \right) * 100 \dots \dots \dots (1)$$

• المتحول **Lr** : يحسب من مقارنة سرعة دوران العجلات اليمينية واليسارية ويعطى بالعلاقة :

$$\text{Lr} = \left(\frac{w1 + w3}{w2 + w4} - 1 \right) * 100 \dots \dots \dots (2)$$

• المتحول **Fr** يحسب من مقارنة سرعة دوران العجلات الأمامية والخلفية ويعطى بالعلاقة :

$$\text{Fr} = \left(\frac{w1 + w2}{w3 + w4} - 1 \right) * 100 \dots \dots \dots (3)$$

وفي المرحلة الأخيرة يتم تحديد الإطار ذو الضغط المنخفض وإطلاق التحذير المناسب وفقاً للجدول رقم (1)

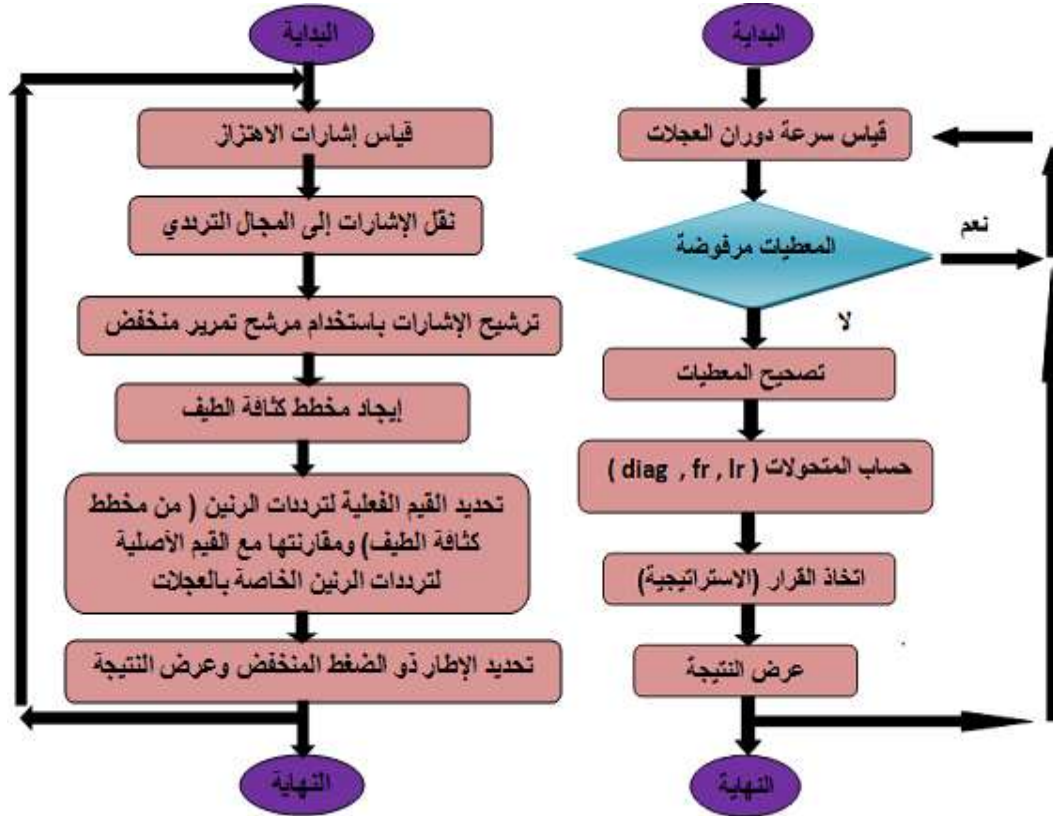
الذي يشير فيه الرمز Thr إلى قيمة العتبة الخاصة بالمتحول Diag ، والتي ضُبِّطت خلال هذه الدراسة إلى القيمة 0.2

الجدول (1) : الإستراتيجية المتبعة في خوارزمية PRW من أجل تحديد الإطار ذو الضغط المنخفض .

| | F L Warning الإطار الأمامي اليساري يعاني انخفاضاً بالضغط | F R Warning الإطار الأمامي اليميني يعاني انخفاضاً بالضغط | R L Warning الإطار الخلفي اليساري يعاني انخفاضاً بالضغط | R R Warning الإطار الخلفي اليميني يعاني انخفاضاً بالضغط |
|------|--|--|---|---|
| Diag | >Thr | <-Thr | <-Thr | >Thr |
| Fr | >0 | >0 | <0 | <0 |
| Lr | >0 | <0 | >0 | <0 |

أما فيما يخص النوع الثاني من أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات ، والتي تعتمد على تحليل اهتزازات جسم السيارة لتحديد الإطارات ذات الضغط المنخفض ، فهي تستفيد من التأثير المتبادل بين ضغط الإطارات

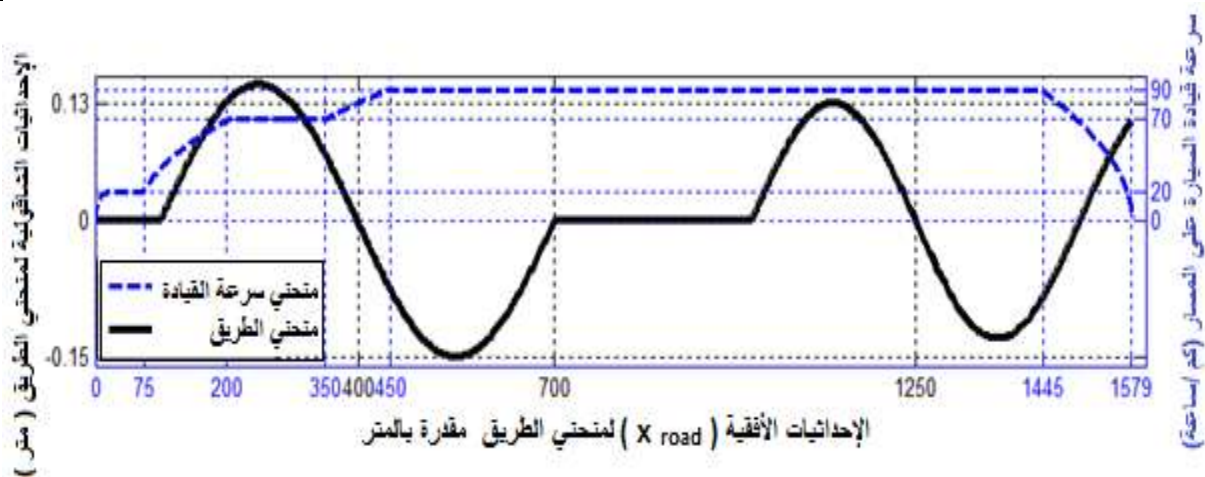
وترددات الرنين الخاصة بالعجلات ، والتي تتخفض بانخفاض الضغط نتيجة لانخفاض الصلابة الشاقولية للإطار مما يؤثر على السلوك الديناميكي لنظام التعليق وكل الأقسام التي يحملها . إن القيام بهذا يتطلب نقل إشارات الاهتزاز إلى المجال الترددي ، ومن ثم تحليلها باستخدام مخطط كثافة طيف القوة . وهذا ما يوضحه المخطط الصندوقي الممثل لأنظمة مراقبة الضغط المعتمد على تحليل الاهتزازات والمبين في الشكل (2) .



الشكل (2) : مخطط عمل أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات(خوارزمية PRW و طريقة تحليل الاهتزاز) .

النتائج و المناقشة :

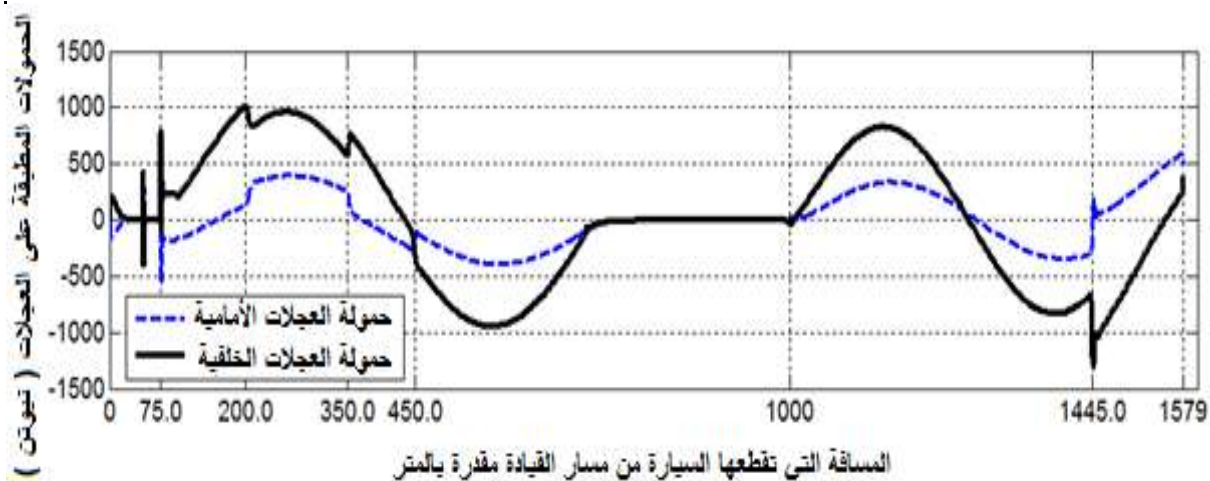
أولاً: تأثير استخدام أنظمة التعليق الفعال على أداء خوارزمية PRW للمراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات : بعد بناء النماذج السابقة ، قمنا بمحاكاة عدة جولات قيادة على مسارات اختبار مختلفة الأشكال ، ومع قيم مختلفة لسرعة القيادة ولضغط نفخ الإطارات ، مرة بوجود نظام تعليق سلبي ومرة أخرى بوجود نظام تعليق فعال ، وذلك بغرض معرفة التغيرات الحاصلة في قدرة خوارزمية PRW على كشف حالات انخفاض الضغط المحتملة للإطارات. لنفترض أن السيارة تعبر مسار القيادة الجيبي الموضح في الشكل (3) مع سرعة اجتيازها لهذا المسار .



الشكل (3) : مسار القيادة رقم 1 مع سرعة اجتياز السيارة لهذا المسار .

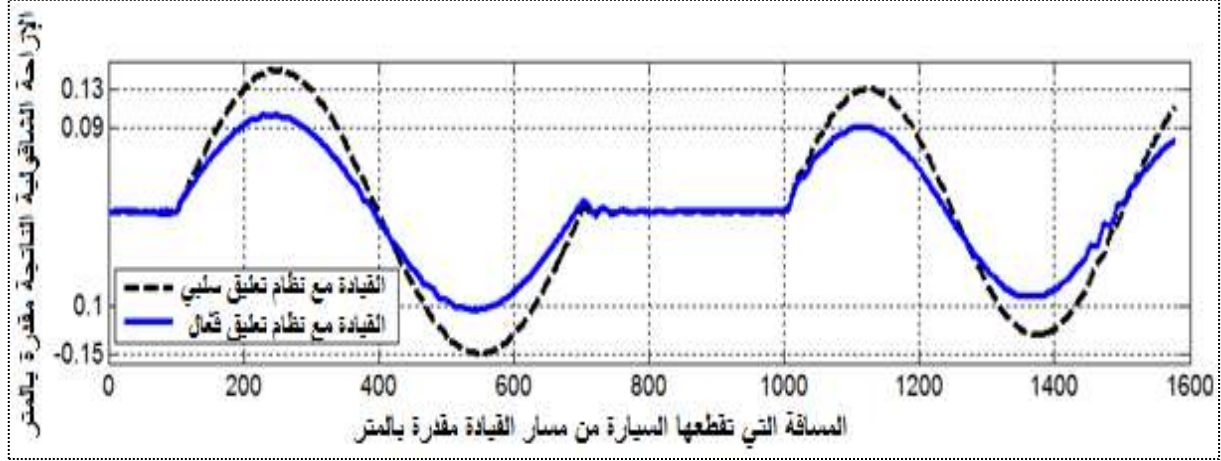
عندئذ ستكون الحمولات الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعال على الإطارات (العجلات) موضحة في

الشكل (4) .



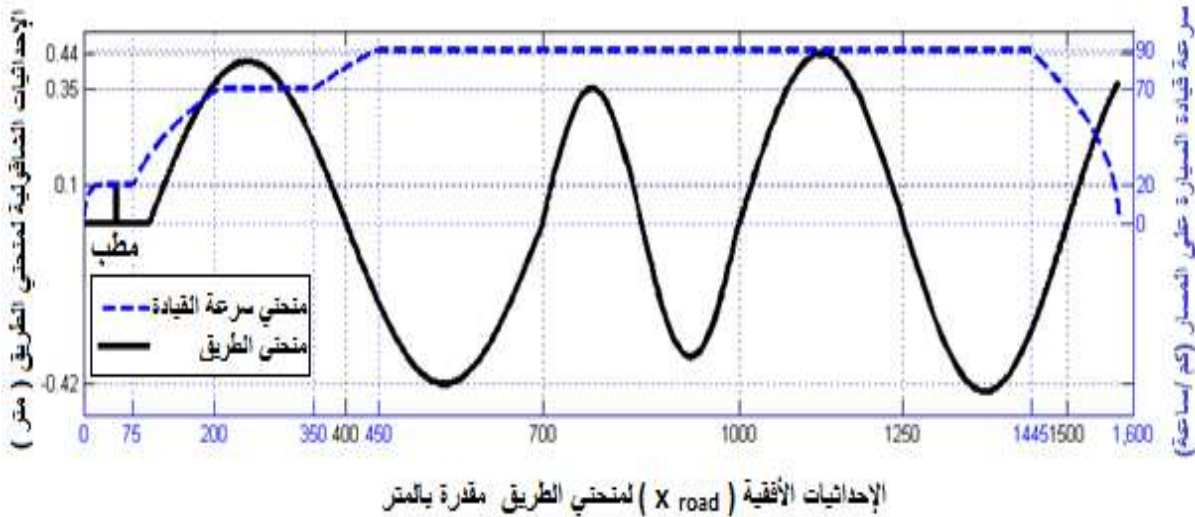
الشكل (4) : الحمولات الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعال على العجلات الأمامية و الخلفية عند عبور مسار القيادة رقم 1 .

من خلال تطبيق هذه الحملات الإضافية ينجح نظام التعليق الفعال في الحد من الاهتزازات (الإزاحة الشاقولية) التي يتعرض لها السائق خلال القيادة ، وهذا ما يوضحه الشكل (5) الذي يعرض قيمة هذه الإزاحة من أجل حالتي التعليق السلبي و الفعال عند عبور مسار القيادة رقم 1 .

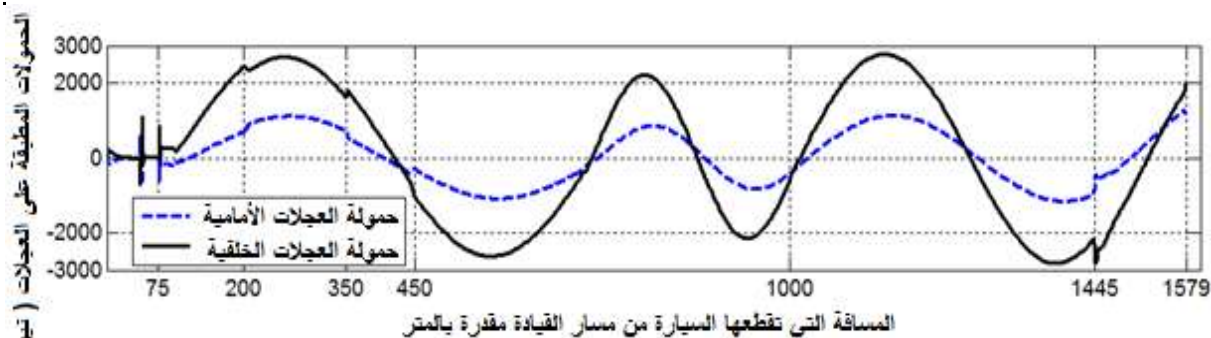


الشكل (5) : الإزاحة الشاقولية لجرة السيارة عند عبورها مسار القيادة رقم 1 من أجل حالتي التعليق السلبي و الفعال.

إن احتمال أن يتسبب وجود نظام التعليق الفعال بظهور فروق معتبرة في سرعة الدوران بين الإطارات ، وبالتالي إحداث خلل في أداء خوارزمية PRW يتوقف على قيمة القوى الإضافية التي ستطبق على العجلات ، و التي بدورها تتعلق بمدى اضطرابات سطح الطريق وبشدة التسارع الذي تخضع له السيارة خلال جولة القيادة . فمن أجل مسار قيادة أكثر اضطراباً (المسار رقم 2 المبين في الشكل (6)) والذي يحتوي مطب وحيد ويمتاز بارتفاع أعلى وبمطال أكبر للموجات الجيبية (سيرتفع سقف القوى التي يطبقها نظام التعليق الفعال وهذا ما يوضحه الشكل (7)) .

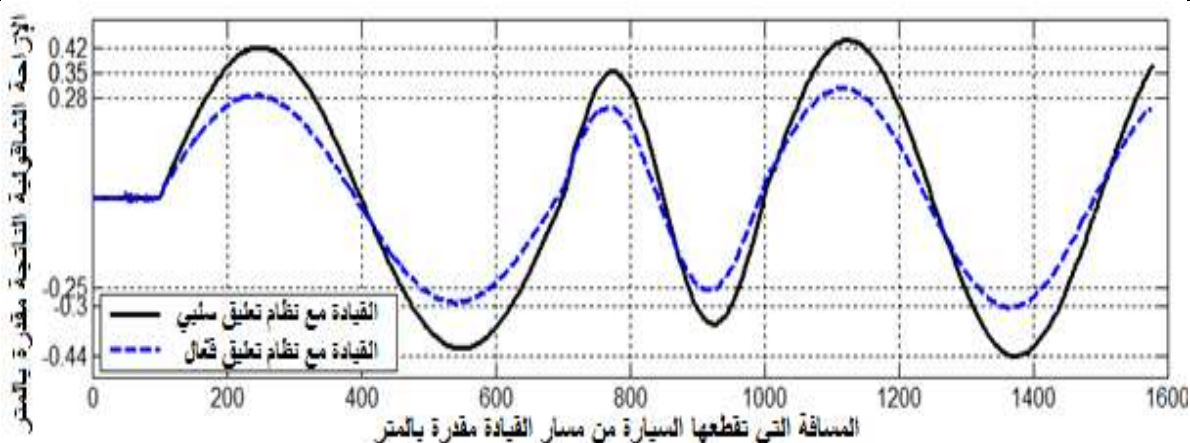


الشكل (6) : مسار القيادة رقم 2 مع سرعة اجتياز السيارة لهذا المسار .



الشكل (7) : الحمولات الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعال على العجلات الأمامية و الخلفية عند عبور مسار القيادة رقم 2.

سينتج أيضاً الأثر نفسه عند زيادة شدة التسارع التي تخضع لها السيارة خلال جولة القيادة . فبالاستعانة بالشكلين (4 و 7) يمكن أن نلاحظ أن القفزات المفاجئة في قيمة القوى الإضافية المطبقة على العجلات قد ظهرت في المناطق التي حدث فيها تغيرات مفاجئة بسرعة القيادة ($x_{road}=200m$, $x_{road}=350m$, $x_{road}=1445m$).
ومرة أخرى فإن الشكل (8) يثبت صحة وكفاءة النموذج المبني لنظام التعليق الفعال في الحد من الإزاحة الشاقولية التي يتعرض لها جسم السيارة (وبالتالي السائق و الركاب) عند عبورها لمسار القيادة رقم 2 .



الشكل (8) : الإزاحة الشاقولية لحجرة السيارة عند عبورها مسار القيادة رقم 2 من أجل حالتَي التعليق السلبي و الفعال .

من الجدير بالذكر أن من بين جميع الحالات التي يطبق فيها نظام التعليق الفعال حمولات إضافية على العجلات ، تستطيع خوارزمية PRW أن ترفض (تعزل) فقط الحالات الموافقة لوجود تسارع حاد جداً . كما أنه من غير المضمون أن تنتج عمليات التصحيح المتبعة في تعويض فروق سرعة الدوران الناتجة عن نظام التعليق الفعال ولاسيما إذا طبقت الحمولات الإضافية على العجلات بشكل غير متناظر ، وهذا سيعزز إمكانية ظهور الأخطاء في أداء خوارزمية PRW .

تجدر أيضاً الإشارة إلى أن حدود القوى العظمى التي يُسمح لنظام التعليق الفعال بتطبيقها تتعلق بمؤشرات

الأداء الموضوعية عند تصميم المتحكم الخاص بنظام التعليق الفعال ، وإن التقيد بمؤشرات الأداء هذه

(Vehicle Pitch=1°Max , Vehicle Roll=1°Max , Sprung mass acceleration 0.98 m/s²) هو الذي

فرض رفع سقف القوى التي يُسمح لنظام التعليق الفعال بتطبيقها إلى هذا المستوى [14] .

بغية التأكد من قدرة خوارزمية PRW على كشف حالات انخفاض الضغط في ظل الحمولات الإضافية التي

يطبقها نظام التعليق الفعال ، فقد تم تشغيل النموذج المشكّل لها في حالتَي التعليق الفعال و السلبي ومن أجل قيم

مختلفة لضغط الإطارات .

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن العتبة (Thr) الخاصة بخوارزمية PRW قد ضبطت إلى القيمة 0.2 بحيث

يحاكي النموذج المشكّل لها النظام الحقيقي بشكل تام ولاسيما القدرة على كشف انخفاض الضغط الحاصل بمقدار

30% أو أكثر على أي من الإطارات (تكافئ ضغط أصغر أو يساوي 1.54 بار مقارنة بضغط النفخ الاسمي الذي

يساوي 2.2 بار) عندما يكون نظام التعليق الخاص بالسيارة سلبياً .

كما نشير إلى أن الفروق في سرعة الدوران بين العجلات الأمامية والخلفية قد ضمنت بشكل مناسب من أجل

كل اختبار قيادة سواءً في حالة التعليق السلبي أو الفعال بحيث يتم الإبقاء فقط على فروق السرعة الناتجة عن

انخفاض الضغط لأنّ قيم التصحيح هذه تُحسب بالاعتماد على سرع دوران الإطارات الأربعة وبالتالي من المفترض أن

تبقى صالحة حتى عند القيادة بوجود نظام التعليق الفعال .

ونشير أخيراً إلى أن جميع الاختبارات التي أجريت خلال هذه الدراسة كانت على مسار مستقيم (لا يحوي

منعطفات) مما ينفي الحاجة إلى تعويض فروق السرعة الدورانية التي تحصل بين العجلات اليمينية واليسارية عند

الانعطاف .

أظهرت نتائج المحاكاة أن التأثير الحاصل يعتمد بالدرجة الأولى على قيمة القوى الإضافية المطبقة من قبل

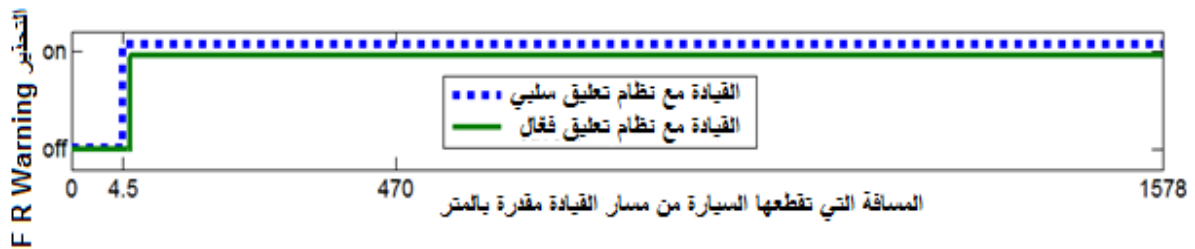
نظام التعليق الفعال على العجلات . فمن أجل مسار القيادة الأول (الحمولات الإضافية صغيرة نسبياً) لم تظهر

الاختبارات حصول أي اختلاف في أداء خوارزمية PRW بين حالتَي التعليق السلبي و الفعال عند وجود انخفاض

ضغط بمقدار 30% أو أكثر في أي من الإطارات الأربعة .

يبين الشكل (9) إشارة التحذير F R Warning الصادرة عند اجتياز مسار القيادة الأول بوجود إطار أمامي

يميني يعاني انخفاضاً بالضغط مقداره 30% في حالتَي التعليق السلبي والفعال .

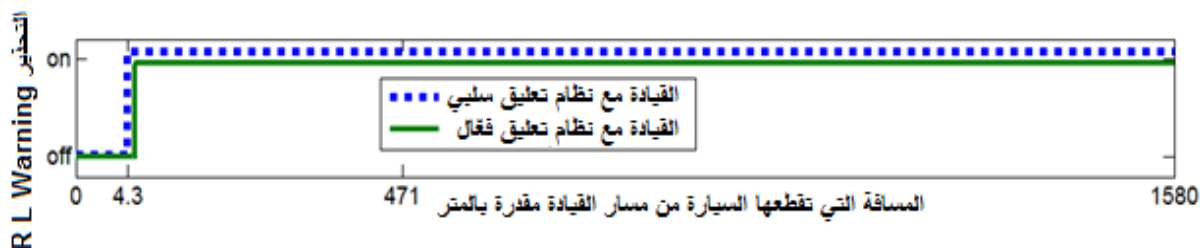


الشكل (9) : التحذير الصادر عن خوارزمية PRW عند اجتياز مسار القيادة الأول

في حالتَي التعليق السلبي والفعال (ضغط الإطار الأمامي اليميني = 1.54 بار) .

بينما يبيّن الشكل (10) إشارة التحذير R L Warning الصادرة عند اجتياز نفس المسار السابق وفي كلتا

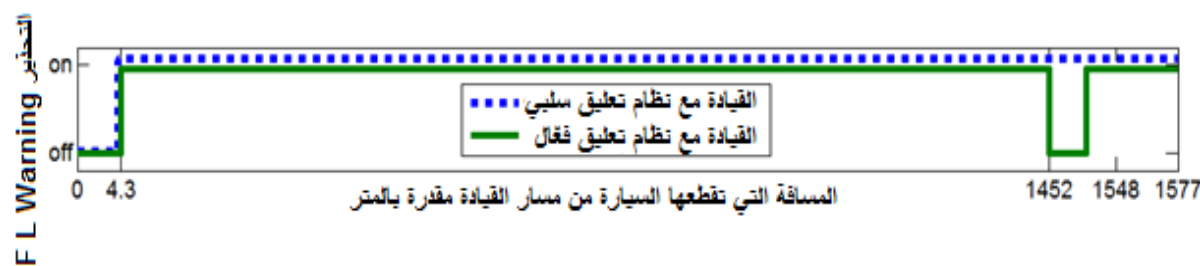
حالتَي التعليق ولكن عند انخفاض ضغط الإطار الخلفي اليساري بمقدار 41% (تكافئ ضغط مقداره 1.3 بار) .



الشكل (10) : التحذير الصادر عن خوارزمية PRW عند اجتياز مسار القيادة الأول

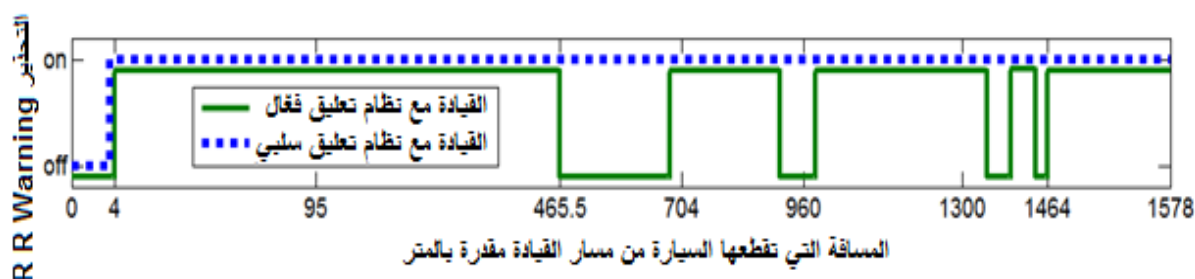
في حالي التعليق السلبي والفعال (ضغط الإطار الخلفي اليساري = 1.3 بار).

وعند ارتفاع مستوى القوى الإضافية المطبقة من قبل نظام التعليق الفعال إلى حدود عالية نسبياً (كما في حالة مسار القيادة الثاني) فإن نتائج المحاكاة تبين أن انخفاض الضغط بمقدار 30% (والذي كان يولد تحذيراً يستمر طيلة فترة المحاكاة عند القيادة بوجود نظام تعليق سلبي ومن أجل أي إطار من الإطارات الأربعة) أصبح ينتج تحذيراً منقطعاً عند القيادة بوجود نظام تعليق فعال حيث يبين الشكلين (11 و 12) بالترتيب إشارتي التحذير F L Warning و R R Warning الصادرة عند اجتياز مسار القيادة الثاني في حالي التعليق السلبي و الفعال مرة عند انخفاض ضغط الإطار الأمامي اليساري بمقدار 30% (الشكل 11) ومرة أخرى عند انخفاض ضغط الإطار الخلفي اليميني بمقدار 30% (الشكل 12) .



الشكل(11):التحذير الصادر عن خوارزمية PRW عند اجتياز مسار القيادة الثاني في حالي التعليق السلبي والفعال (ضغط الإطار

الأمامي اليساري = 1.54 بار) .



الشكل(12):التحذير الصادر عن خوارزمية PRW عند اجتياز مسار القيادة الثاني في حالي التعليق السلبي والفعال (ضغط الإطار الخلفي

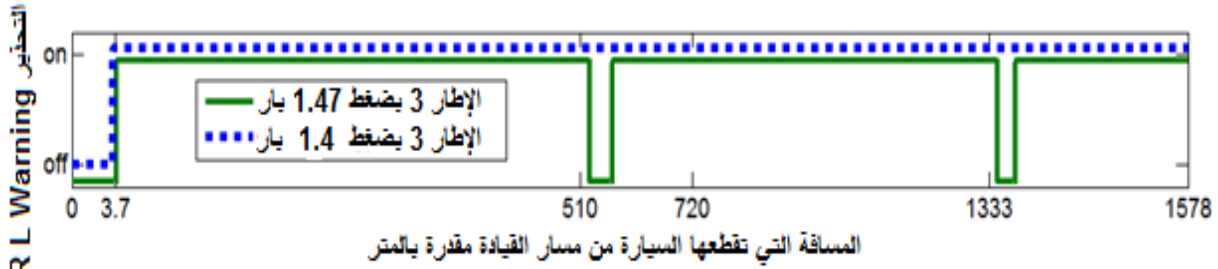
اليميني = 1.54 بار).

لقد كانت الحمولات الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعال على العجلات السبب الرئيسي في غياب التحذير خلال بعض الفترات الزمنية ، فبالاستعانة بالشكل (7) يمكن مثلاً أن نحلل اختفاء التحذير R R Warning من المجالات { $x_{road}=[1450, 1464]$, $x_{road}=[1352, 1400]$, $x_{road}=[900, 975]$, $x_{road}=[456, 704]$ } .

بأن نظام التعليق الفعال أنقص بشكل حاد حمولة الإطارات الخلفية ضمنها ملغياً بذلك الزيادة التي يمكن أن تطرأ على سرعة دوران الإطار عند انخفاض ضغطه و التي ستعتمد عليها خوارزمية PRW في إصدار التحذير .

كما أنّ اختلاف التأثير الناتج بين الإطارين الأمامي اليساري و الخلفي اليميني (والواضح من خلال الشكلين 11 و 12) يعزز اعتقادنا بدور الحمولات الإضافية المطبقة من قبل نظام التعليق الفعال حيث نلاحظ من الشكل (7) تفاوتاً واضحاً في مستوى هذه الحمولات بين العجلات الأمامية و الخلفية .

إن زيادة مقدار الانخفاض الحاصل بضغط الإطار يسمح بالحد من تأثير نظام التعليق الفعال على شكل إشارات التحذير الصادرة عن خوارزمية PRW لأنه يعزز الزيادة الحاصلة على سرعة دوران الإطار ذو الضغط المنخفض ، ويمكنه أن يلغي هذا الأثر بشكل كامل إذا سمح بإحداث زيادة كبيرة في سرعة الدوران إلى حد لا يستطيع التخفيض الحاصل على الحمولة أن يلغيها وهذا ما يمكن أن ندركه من الشكل (13) الذي يعرض إشارة التحذير R L Warning الصادرة عند اجتياز المسار الثاني في حالة التعليق الفعال من أجل قيمتين مختلفتين لضغط نفخ الإطار الخلفي اليساري هما 1.4 بار (انخفاض ضغط بمقدار 36%) و 1.47 بار (انخفاض ضغط بمقدار 33%).



الشكل (13) : التحذير الصادر عند اجتياز مسار القيادة الثاني في حالة التعليق الفعال من أجل قيمتين مختلفتين لضغط الإطار الخلفي اليساري (الإطار 3) .

وبالإضافة لذلك فإن التأثير الذي يتركه نظام التعليق الفعال سيتغير وفقاً لقيمة العتبة (Thr) التي ضبطت من أجلها خوارزمية PRW . حيث يحد التخفيض المستمر لقيمة العتبة من تأثير نظام التعليق الفعال على أداء خوارزمية PRW (لأنه يجعلها أكثر حساسية تجاه الفروق الحاصلة في السرعة الدورانية بين الإطارات) وصولاً إلى مرحلة يتم فيها إلغائه بشكل كامل .

وهذا ما يمكن ملاحظته من الشكل السابق رقم (12) و من الشكل (14) الذي يعرض إشارة التحذير R R Warning الصادرة عند اجتياز المسار الثاني في حالة التعليق الفعال بوجود إطار خلفي يميني يعاني انخفاضاً في الضغط بمقدار 30% ومن أجل قيمتين مختلفتين للعتبة الخاصة بالخوارزمية (Thr = 0.15 , Thr = 0.17) .



الشكل (14) : إشارة التحذير الصادرة عند اجتياز مسار القيادة الثاني في حالة التعليق الفعال بوجود إطار خلفي يميني يعاني انخفاضاً في الضغط بمقدار 30 % و من أجل قيمتين مختلفتين للعتبة (Thr) الخاصة بخوارزمية PRW (Thr = 0.15 , Thr = 0.17) .

وأخيراً ينبغي الإشارة إلى أنه بزيادة قيمة الحمولات الإضافية المطبقة من قبل نظام التعليق الفعال على العجلات سيتمكن نظام التعليق الفعال من التأثير على أداء خوارزمية PRW عند مستويات ضغط أكثر انخفاضاً (وبالتالي سيرتفع مقدار انخفاض الضغط الذي يكون كشفه منيعاً ضد التأثير بنظام التعليق الفعال) كما يعني الحاجة إلى إجراء مزيد من التخفيض على قيمة العتبة (Thr) الخاصة بالخوارزمية لكي يتم التخلص من تأثير نظام التعليق الفعال .

وبناءً على ما سبق يمكن أن نقول أن التأثير الذي يُتوقع أن يتركه نظام التعليق الفعال على أداء خوارزمية PRW للمراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات سيتغير تبعاً لقيمة الحمولات الإضافية المطبقة من قبل نظام التعليق الفعال على العجلات ، ولمقدار انخفاض الضغط الحاصل على الإطارات ، وللقيمة التي ضُبط عليها متحول العتبة (Thr) الخاص بالخوارزمية ، وهو بالمجمل تأثير محدود يقتصر على جودة إشارات التحذير الصادرة عن خوارزمية PRW ولا يمكنه تعطيل عملها بشكل كامل .

ثانياً : تأثير استخدام أنظمة التعليق الفعال على أداء أنظمة مراقبة الضغط المعتمدة على تحليل الاهتزازات : يعتمد النوع الثاني من أنظمة المراقبة غير المباشرة لضغط الإطارات على ملاحظة الإزاحة الحاصلة على تردد الرنين الموافق للإطار ذو الضغط المنخفض . يعطى هذا التردد المعروف بالمصطلح wheel hop frequency

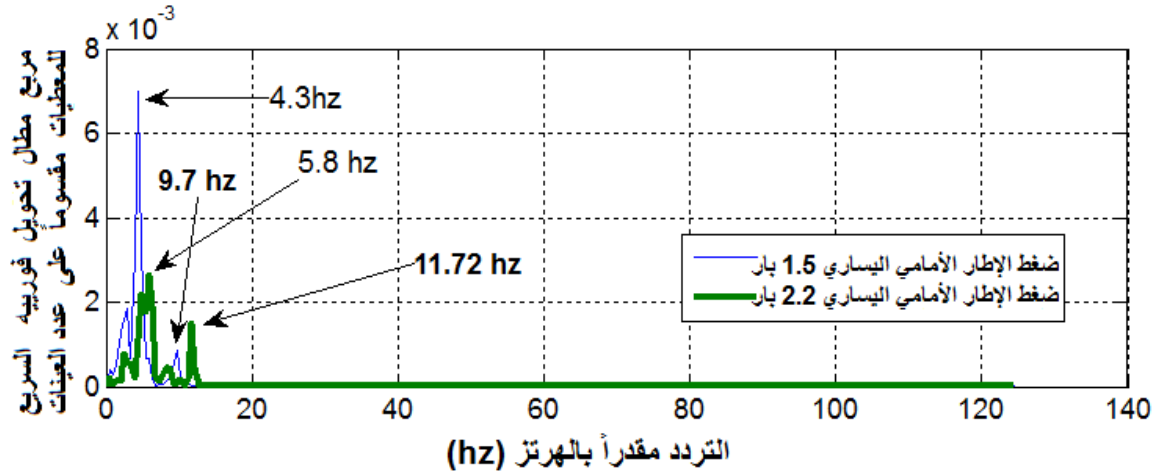
$$f_{wheel} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s + k_t}{m_{un}}} \dots \dots \dots (4) \quad [12]$$

حيث k_s : هي صلابة النابض العائد لنظام التعليق والموافق للعجلة المعنية [N/m] ، k_t : هي صلابة الإطار الخاص بالعجلة والمتعلقة بضغط الهواء داخله [N/m] ، m_{un} : هي الكتلة الإجمالية للعجلة [kg] . من خلال ملاحظة هذه العلاقة نجد أنه من غير المفترض أن يتأثر تردد الرنين هذا بالحمولات الإضافية التي يطبقها نظام التعليق الفعال على العجلات .

إن جميع الترددات الذاتية للسيارة المدروسة (الترددات المميزة أو ترددات الرنين) يمكن حسابها و التنبؤ بها عبر تطبيق طريقة لاغرانج على النموذج الديناميكي الممثل للسيارة المدروسة . إن التطبيق الكامل لهذه الطريقة وكذلك البرنامج المستخدم لإجراء عمليات المعالجة الكفيلة باستخلاص هذه الترددات من الإشارات المُعالَجة (والتي تتضمن عمليات الترشيح ، حساب مخطط كثافة الطيف ، إيجاد تردد الرنين الموافق للقمم الظاهرة في مخطط كثافة الطيف) يستند على المراجع [3] ، [12] ، [16] . لقد أعطت طريقة لاغرانج القيم التالية لترددات الرنين من أجل أربع إطارات سليمة النفخ { 11.805 ، 11.805 ، 12.39 ، 12.37 } wheel hop frequencies [Hz]= { 11.805 ، 11.805 ، 12.39 ، 12.37 } . والتي ستصبح عند انخفاض ضغط نفخ الإطار الأمامي اليساري إلى القيمة 1.5 بار مثلاً : wheel hop frequencies [Hz]= { 9.98 ، 11.806 ، 12.14 ، 12.38 } .

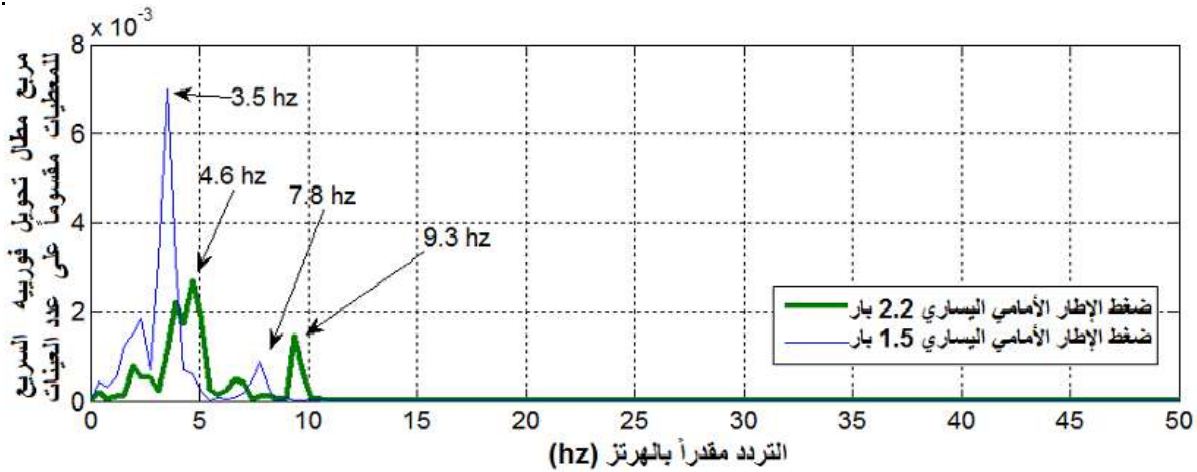
وفقاً للمرجع [8] يمكن لترددات الرنين الخاصة بالعجلات والتي تعتمد عليها أنظمة مراقبة ضغط الإطارات في كشف حالات انخفاض الضغط أن تظهر في:

1. إشارات التسارع الشاقولي للعجلات .
2. إشارة التسارع الشاقولي لمركز ثقل السيارة (حجرة الركاب) .
3. الإشارات المعيرة عن السرعة الزاوية للعجلات .



إن توفير النموذج المبني لسيارة الاختبار لجميع الإشارات السابقة من أجل أي جولة قيادة مكنتنا من حساب مخطط كثافة الطيف لهذه الإشارات جم يعها من أجل ضغوط نفخ مختلفة للإطارات ، وفي حالتي التعليق السلبي و الفعال على حد سواء ، و الذي بيّن بدوره أن إشارات التسارع الشاقولي للعجلات هي الأنسب لإظهار ترددات الرنين المطلوبة خلال هذه الدراسة . وحتى من أجل هذه الإشارات (ونظراً لحساسية هذا النوع من الأنظمة تجاه درجة خشونة الطريق

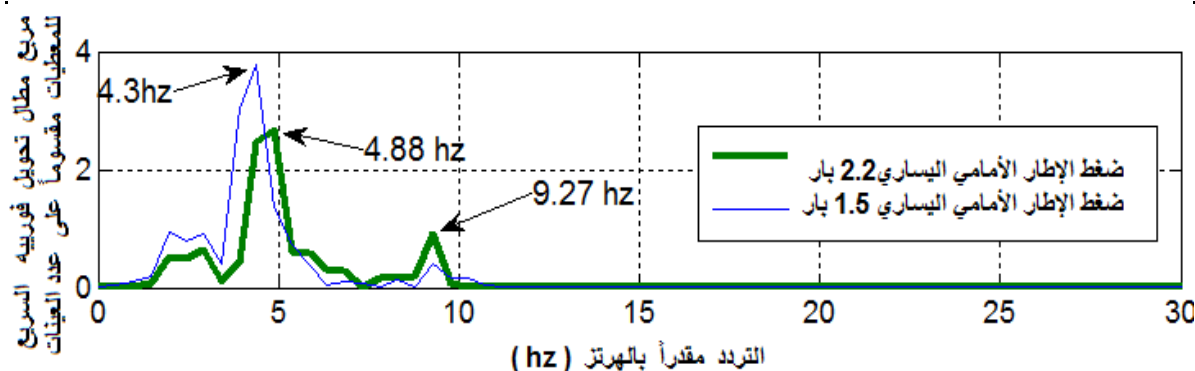
(كانت ترددات الرنين الظاهرة ضمن مخطط كثافة الطيف تختلف باختلاف شروط مسار القيادة المستخدم خلال المحاكاة . حيث كانت قريبة جداً من القيم المحسوبة بواسطة طريقة لاغرانج من أجل بعض مسارات القيادة (كما في مسار القيادة الأول) ، بينما كانت هذه الترددات من أجل مسارات قيادة أخرى (الأكثر اضطراباً كما في مسار القيادة الثاني) بعيدة بعض الشيء عن الترددات المحسوبة بواسطة طريقة لاغرانج . يوضح الشكل (15) مخطط كثافة الطيف المحسوب من إشارة التسارع الشاقولي المسجلة للعجلة الأمامية اليسارية عند اجتياز مسار القيادة الأول بوجود نظام التعليق السلبي ومن أجل حالتين مختلفتين لضغط الإطار الأمامي اليساري ، أما الشكل (16) فهو يوضح نفس الأمر السابق ولكن عند إجراء الاختبار على مسار القيادة الثاني .



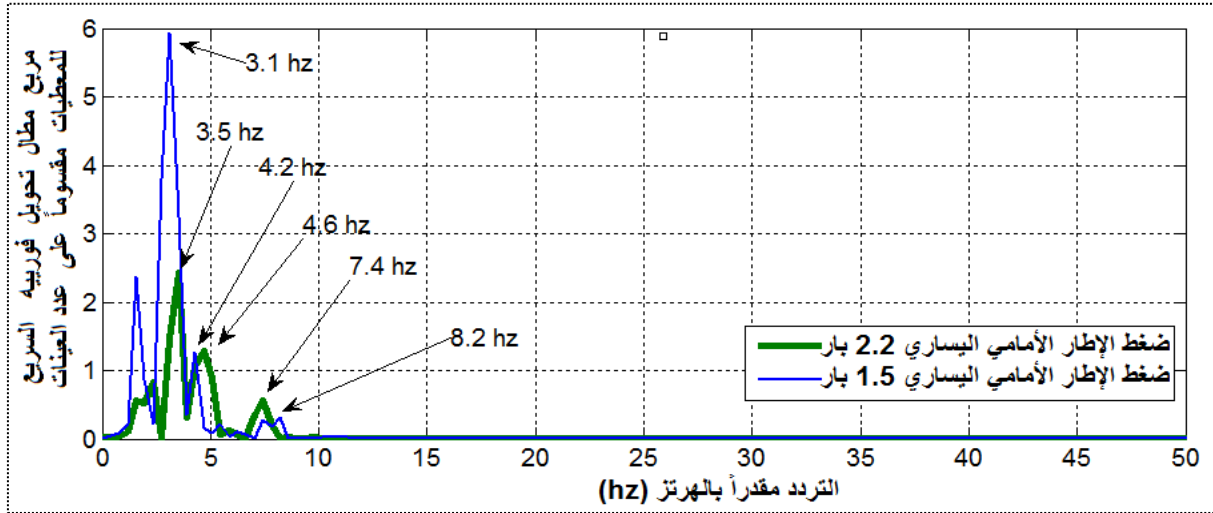
الشكل (15) : مخطط كثافة الطيف المحسوب من إشارة التسارع الشاقولي المسجلة للعجلة الأمامية اليسارية عند اجتياز مسار القيادة الأول بوجود نظام التعليق السلبي ومن أجل حالتين مختلفتين لضغط الإطار الأمامي اليساري (الإطار 1) .

الشكل (16) : مخطط كثافة الطيف المحسوب من إشارة التسارع الشاقولي المسجلة للعجلة الأمامية اليسارية عند اجتياز مسار القيادة الثاني بوجود نظام التعليق السلبي ومن أجل حالتين مختلفتين لضغط الإطار الأمامي اليساري (الإطار 1) .

من الشكل (15) نلاحظ انزياح القمة التي يُحتمل أن توافق تردد الرنين الخاص بالعجلة الأمامية اليسارية (من أجل مسار القيادة الأول) من 12.72 Hz إلى 9.7 Hz نتيجة لانخفاض ضغط الإطار الأمامي اليساري . بينما كان الانزياح الحاصل عند نفس الشروط ولكن من أجل مسار القيادة الثاني من 9.3 Hz إلى 7.8 Hz . إن افتراضنا أن تعبر الترددات الموافقة لهذه القمم عن ترددات الرنين المطلوبة مبني على أساس اقترابها من القيم المحسوبة بواسطة لاغرانج ، وعلى أساس الانخفاض الحاصل في المطال الموافق لها . وهذا يتوافق مع المرجعين [8] و [12] الذين يفترضان أن يترافق الانزياح الحاصل في تردد الرنين عند انخفاض الضغط مع انخفاض المطال الموافق لهذا التردد . وعند إعادة الاختبارات السابقة بوجود نظام تعليق فعال (الشكلين (17) و (18)) كان الأثر الأبرز الذي يمكن ملاحظته من مخططات كثافة الطيف المحسوبة لإشارة التسارع الشاقولي للعجلات هو ظهور معظم القمم الخاصة بهذه المخططات عند مستوى ترددات أقل (حتى في حالة ضغط النفخ السليم) . أما الشيء الأخطر الذي يمكن ملاحظته منها فهو اختفاء الإزاحة التي يفترض أن تحصل على ترددات الرنين عند انخفاض الضغط والتي يعتبر وجودها أمراً ضرورياً لعمل أنظمة مراقبة الضغط المعتمدة على تحليل الاهتزازات .



الشكل (17) : مخطط كثافة الطيف المحسوب من إشارة التسارع الشاقولي المسجلة للعجلة الأمامية اليسارية عند اجتياز مسار القيادة الأول بوجود نظام التعليق الفعال ومن أجل حالتين مختلفتين لضغط الإطار الأمامي اليساري (الإطار 1) .



الشكل (18) : مخطط كثافة الطيف المحسوب من إشارة التسارع الشاقولي المسجلة للعجلة الأمامية اليسارية عند اجتياز مسار القيادة الثاني بوجود نظام التعليق الفعال ومن أجل حالتين مختلفتين لضغط الإطار الأمامي اليساري (الإطار 1) .

الاستنتاجات و التوصيات :

- (1) لم يتسبب استخدام نظام التعليق الفعال بتعطيل عمل خوارزمية PRW المعتمدة على إشارات سرعة دوران العجلات لمراقبة ضغط الإطارات ، ولكنه أثر فقط على جودة إشارات التحذير الصادرة عنها . فبدلاً من ظهور التحذيرات المعبرة عن انخفاض الضغط بشكل مستمر طيلة فترة القيادة (كما في حالة استخدام نظام التعليق السلبي) أصبحت هذه التحذيرات تظهر بشكل متقطع عند استخدام نظام التعليق الفعال .
 - (2) إن هذا الأثر الذي خلفه استخدام نظام التعليق الفعال سيكون أكثر وضوحاً إذا كان انخفاض الضغط الذي يعاني منه الإطار بسيطاً و سيصبح هذا الأثر أقل وضوحاً مع زيادة مقدار انخفاض الضغط .
 - (3) يساهم ارتفاع مستوى القوى الإضافية المطبقة من قبل نظام التعليق الفعال على العجلات في تعزيز الأثر السابق كما يزيد إمكانية ظهور هذا الأثر عند قيم ضغط أكثر انخفاضاً .
- أما فيما يخص التأثير المحتمل لنظام التعليق الفعال على أداء أنظمة مراقبة الضغط المعتمدة على تحليل الاهتزازات فقد وجدنا ما يلي :

- (1) من بين كل الإشارات التي يوفرها النموذج المبني لسيارة الاختبار ، نجحت فقط إشارات التسارع الشاقولي للعجلات في إظهار الترددات المميزة للعجلات (ترددات الرنين) ، والتي كانت بدورها تتأثر بشروط مسار القيادة المستخدم.
- (2) كان الانزياح الحاصل على تردد الرنين الموافق للإطار ذو الضغط المنخفض (والذي يتم الاعتماد عليه في إطلاق التحذير) واضحاً عند القيادة بوجود نظام تعليق سلبي ولم تتمكن من رؤية مثل هذا الانزياح عندما كان نظام التعليق المستخدم من النوع الفعال .
- (3) في ظل ما سبق لا نستطيع أن نجزم إمكانية عمل أنظمة المراقبة هذه في ظل وجود نظام التعليق الفعال إذا كانت الإشارات الممثلة للتسارع الشاقولي للعجلات هي المعطيات التي يُعتمد عليها لكشف حالات انخفاض الضغط .

المراجع :

- [1] PERSSON , P ; GUSTAFSSON , F. *Indirect Tire Pressure Monitoring Using Sensor Fusion* . Department of Electrical Engineering , Linköping University , 2002 , 98 - 117.
- [2] SIVINSKI , R . *Evaluation of the effectiveness of TPMS in proper tire pressure maintenance* . Report No. DOT HS 811 681 , Washington , DC: National Highway Traffic Safety Administration , November 2012 , 1 - 39 .
- [3] JAZAR , R . N . *Vehicle Dynamics :Theory and Applications* . 2nd ed., Springer Science + Business Media, New York, USA , 2008 , 1022 .
- [4] RAJAMANI, R. *Vehicle Dynamics and Control* . 2nd ed., Springer Science + Business Media, New York, USA , 2006 , 470 .
- [5] GILLESPIE, T. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. 2nd ed., Springer Science + Business Media, New York, USA, 2006, 470 .
- [6] PACEJKA, H.B. *Tyre and Vehicle Dynamics* . 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford , UK, 2006, 642 .
- [7] BESSELINK,I.J. M;SCHMEITZ, A.J.C ;PACEJKA , H.B. *An improved Magic Formula /Swift tyre model that can handle inflation pressure changes* . *Vehicle System Dynamics* UK , Vol. 48, Supplement, 2010, 337 – 352 .
- [8] BERGDAHT,T. *tyre pressure monitoring using sensors*. Master's thesis, Lund University, April 2007 , 1-74 .
- [9] HOOPH,G.D. *implementing inflation pressure and velocity effects into the magic formula tyre model*. Master's thesis, TNO Automotive and Eindhoven University of Technology, April 2005 , 1- 61.
- [10] SCHMID,M. *Tire Modeling for Multibody Dynamics Applications*. Technical Report, University of Wisconsin-Madison , 2011 , 8-11 , 54-58 .
- [11] SMITH,D.N. M. *Understanding Parameters Influencing Tire Modeling* . Dynamics Colorado State University, 2004 , 2 .
- [12] HALL,M. *Is Vehicle Characterization in Accordance With Standard Test Procedures a Necessary Prerequisite for Validating Computer Models of a Test Vehicle?*. Master's thesis , Dublin Institute of Technology, 2014 , 1- 144 .
- [13] FERNÁNDEZ,G.J. *A Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators*. Master's thesis, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2012 , 109.
- [14] CREED, B ; KAHAWATTE, N ;VARNHAGEN , S .*Design of an LQR Control Strategy for Implementation on a Vehicular Active Suspension System*. MAE U.S.A, University of California , 2010 , 2 - 31.
- [15] : داود , محسن ; محمود , على . *التحكم الآلي الكهريائي (2)* . الطبعة الثانية , منشورات جامعة تشرين , اللاذقية , 2006 , 621 .
- [16] KAY, S . M. *Modern Spectral Estimation: Theory & Application* . Prentice Hall Signal Processing Series , 1987 , 1250.