مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

# دراسة وحساب البارامترات المؤثرة على حركة السيارة، وتماسك العجلات مع سطح الطريق

**هيام وظيف حسن***

**(تاريخ الإيداع 30 / 12 / 2013. قُبِل للنشر في 14/ 5 / 2014)**

## □ ملخّص □

تزداد صناعة السيارات في الوقت الحاضر تواقاً مع زيادة الطلب على نقل الركاب والحمولات، وتسعى الشركات الصانعة إلى توفير الاستقرار والانسيابية لحركة السيارات وإمكانية توجيهها في الظروف والأنظمة المختلفة لاستثمارها، وهنا تلعب أنظمة التعليق والتوجيه الدور الأكبر في تحقيق تلك المتطلبات؛ لذلك يهدف هذا البحث إلى وضع طريقة لاختيار المميزات المثلى لأنظمة التعليق ودراسة ردود الأفعال على الدواليب الموجهة للسيارة.

تبين من خلال البحث أن لمؤشرات العناصر المرنة والمخمدة في أنظمة التعليق دوراً كبيراً في تقليل الاهتزازات الحاصلة، وفي المحافظة على تماسك العجلات مع سطح الطريق، كما تبين أن زيادة القوى المؤثرة المتعلقة بتوجيه السائق للعجلات تؤدي الى نشوء عزوم انعطاف للسيارة حول محورها خصوصاً عند عدم انتظام عملية الفرملة على الدواليب.

**الكلمات المفتاحية:** أنظمة التعليق، انسيابية السيارة، تماسك العجلات، ردود الأفعال، الدواليب الموجهة.

* مشرفة على الأعمال – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

# Studying and calculating the impact parameters on car movement and wheels steady on road surface.

**Hiam Wazeef Hasan***

**(Received 30 / 12 / 2013. Accepted 14 / 5 / 2014)**

## □ ABSTRACT □

At present time the cars manufacturing increase the compatibility with the maximum demand on passengers and load transmission, the manufacturing companies involved to make the stability and smooth cars movement available and the ability of it's orientation in proper direction in various circumstances and systems to invest the same. The direction and suspensions systems are playing the main role to achieve these requirement , Hence, the research purposed to put a way for choosing the optimal characteristics of suspensions systems and studying the reaction on the car wheels.

This paper shows that the proportion of elastic and slowdown of elements in suspensions systems own a big role in reducing the happening vibrations which saving the wheels steady on road surface, and it's show also that the increasing of impact forces relevant to direct the driver by the wheels leading into creating turning moments of the car around it's axis, particularly when the breaking process of wheels is not regular.

**Key words** : Suspensions systems, smoothness of motion , wheels steady , reactions, directed wheels.

***Work supervisor, Mechanical Power Engineering Department in Electro – mechanical faculty in Tishreen university - Lattakia-Syria.**

## مقدمة:

تزداد صناعة السيارات في وقتنا الحاضر لزيادة الطلب على نقل الركاب والحمولات وتأمين مستلزمات النشاطات البشرية المختلفة ،حيث تسعى الشركات الصانعة إضافة إلى إنتاج سيارات تستجيب بمواصفاتها للمتطلبات الاقتصادية والبيئية فهي تسعى إلى تأمين راحة التنقل والسلامة ووثوقية الحركة في الظروف المختلفة. وتتطلب عملية تصميم السيارات الحديثة وإنتاجها دراسة واسعة للبارامترات المؤثرة على حركة السيارة وتوجيهها في الظروف والأنظمة المختلفة لاستثمار السيارات، حيث تمنح تلك الدراسات إمكانية اختيار بارامترات أنظمة السيارات وتجهيزاتها، ومن أهم ما يتعلق براحة الركوب، وأمان الحركة، وإمكانية التوجيه، والتحكم أي أنظمة التعليق والفرملة والتوجيه. ويجب أن تؤمن البارامترات المذكورة بالإضافة إلى انسيابية الحركة اللازمة للسيارة، تماسك العجلات مع سطح الطريق ،تلك الخاصية التي تعد أساساً لاستقرار حركة السيارة وإمكانية توجيهها. ومن أجل هذا فإنه من المفضل الحصول على إمكانية الاختيار المثالي للبارامترات في مرحلة التصميم مع المحافظة على المتطلبات التي تمَ ذكرها، وهو ما يقدمه هذا البحث. تقدم النماذج والموديلات الرياضية لدراسة حركة السيارة وسلوك أنظمتها المختلفة في حال وضع البرامج الملائمة على أساسها إمكانية الدراسة الواسعة لتأثير البارامترات المختلفة على حركة السيارة واختيار القيم المثلى بجهد متواضع وزمن قصير ،وبحيث يصبح تصميم وإنتاج التجهيزات مقتصراً على ما تمَ التحقق من صلاحيته وجدواه حسابياً ليتم لاحقاً تأكيد ذلك من الاختيارات والتجارب العملية الواقعية، وهذا ما يوفر الجدوى الاقتصادية في الإنتاج والصناعة للسيارات وتجهيزاتها وفق أفضل المؤشرات (1).

## أهمية البحث وأهدافه:

تُعَدُّ وثوقية حركة السيارات التي تضمن استقرارها على الطريق وإمكانية توجيهها من المؤشرات المهمة لراحة التنقل والقيادة ومن ثم تشكل عاملاً مهماً في تجنب الكثير من الحوادث على الطرق. وتحقيق هذه المؤشرات يتطلب إيجاد التصميم الأمثل لتلك الأنظمة المتعلقة بحركة السيارة وتوجيهها، وهذا ما يتحقق بإيجاد طريقة لدراسة التصاميم المختلفة، ومن أجل ذلك فإن هذا البحث يهدف إلى وضع طريقة لاختيار البارامترات المثالية لأنظمة التعليق ودراسة القوى وردود الأفعال المؤثرة على دواليب السيارة عند حركتها وتوجيهها بهدف تقليل الاهتزازات في هيكل السيارة، والمحافظة على تماسك العجلات مع سطح الطريق، وتوفير إمكانية التوجيه والقيادة المريحة.

## طرائق البحث ومواده:

اعتُمدَ في البحث طريقة تحليلية علمية استندت على مراجعة كثير من الأبحاث والمنشورات في مجال دراسة أنظمة التعليق في السيارات والعوامل المؤثرة على استقرار حركتها وتوجيهها.

استناداً إلى ما سبق تم وضع طريقة لاختيار المميزات المثلى لأنظمة التعليق، ودراسة ردود الأفعال على الدواليب الموجهة للسيارة.

**– طريقة الاختيار الأمثل لمميزات أنظمة التعليق:**

يتأثر توجيه السيارة واستقرارها تأثراً كبيراً بعدة عوامل منها الشكل الهندسي للسيارة، وتوضع مركزي ثقلها وانقلابها، مورونة وإخماد أنظمة التعليق والإطارات، كذلك نظام القيادة وطريقتها، ولهذا فإنه عند تصميم أنظمة التعليق في السيارات يتم حل ثلاث مسائل أساسية هي:

– اختيار الخصائص المثالية للعناصر المرنة والمخمدة والموجهة.

– تحديد التصاميم والأشكال المثلى وأبعاد عناصر أنظمة التعليق.

– تأمين وثوقية العمل المطلوبة وعمر الخدمة الكافي لكل العناصر.

تتضمن الطريقة المؤلفة من n مرحلة للاختيار الأمثل لبارامترات أنظمة التعليق [2] من أجل حماية هيكل السيارة من الاهتزازات والمحافظة على تدحرج الدواليب متماسكة دائماً مع سطح الطريق، تتضمن المراحل الآتية:

– وضع المجال الأولي لقيم البارامترات التي تجري مفاضلتها مع كامل حقل المتغيرات الممكنة لبارامترات الدخل ( الأولية).

– حساب البارامترات المثلى بوجود جميع الحالات المشتركة لقيم بارامترات الدخل.

– تحديد القيم المثلى لتطابق بارامترات المفاضلة مع كل من بارامترات الدخل i .

– تحدد القيم الموصى بها لكل من بارامترات الدخل i.

– تحسب بارامترات المفاضلة الموافقة لكل من بارامترات الدخل i الموصى بها بالتوافق مع جميع الاحتمالات لقيم بارامترات الدخل الأخرى.

– تحدد القيم المثلى لبارامترات المفاضلة تبعاً لكل من بارامترات الدخل i .

– تحدد القيم الموصى بها لبارامتر الدخل i .

– تكرر العملية من أجل بارامتر آخر للدخل i.

ولتطبيق مراحل الطريقة المذكورة ووفقاً للهدف من الدراسة حول اهتزاز هيكل السيارة [3] وتماسك عجلاتها مع سطح الطريق، تم اختيار بعض بارامترات المفاضلة اللابعدية الملائمة هي:

1– عامل انقطاع العجلات (تماسك العجلات مع السطح):

$$k_{ot} = \frac{t_n}{t_e} \qquad (1)$$

حيث:

$t_n$ – زمن وجود الدولاب دون تماسك مع سطح الطريق عند عبوره مكان لا سوية واحدة له على سطح الطريق.

$t_e$ – الزمن الكلي لعبور الدولاب مكان عدم السوية في الطريق .

2–عامل شدة اهتزاز هيكل السيارة:

$$k_v = \frac{X_{m\,max}}{A} \qquad (2)$$

حيث:

$X_{m\,max}$ – السعة العظمى لاهتزاز الهيكل بالاتجاه الشاقولي.

$A$ – أعظم قيمة لارتفاع عدم سوية سطح الطريق.

أما بالنسبة لبارامترات الدخل الأولية فإنه يمكن اعتبار:

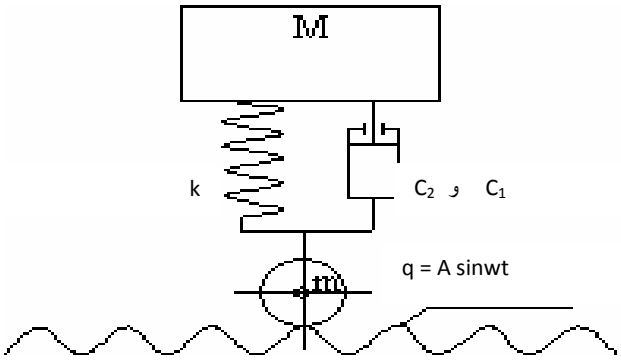
1–سرعة السيارة.

2–صلابة العناصر المرنة.

3–مقاومة المخمدات في حالة انضغاطها.

4–مقاومة المخمدات في حالة تمددها.

وقد استخدمنا في التحليل الذي نجريه على اهتزاز السيارة النموذج البسيط المبين على الشكل (1) والذي يعكس أهم مكونات النظام المدروس:




**الشكل (1) النموذج الحسابي لاهتزاز السيارة**

حيث:

M – الكتل الخاضعة للمرونة.

m – الكتل غير الخاضعة للمرونة.

$C_1$ ,$C_2$ – الإخماد في النظام.

K – المرونة في النظام.

وباعتبار أن الاهتزاز يتم في الاتجاه الشاقولي، فإنه يمكن وصف حركة الدولاب في الاتجاه نفسه وفقاً لنيوتن بالمعادلة الآتية :

$$mX''_m = F_w + F_{km} + F_{cm} - m.g \qquad (3)$$

تعطى قوة رد الفعل الناظمي لسطح الاستناد والمؤثرة على دولاب واحد $F_w$ بالعلاقة:

$$F_w = \left(\frac{M}{i_k} + m\right) g + m.A.w^2.\sin wt \qquad (4)$$

حيث:

$i_k$ – عدد أجهزة التعليق في السيارة.

$g$ – تسارع الجاذبية.

$t$ – الزمن.

$w$– تردد التأثير المحرض لازاحة الدواليب والمتعلق بعدم سوية الطريق.

$A$– سعة ارتفاع عدم سوية الطريق.

كما تعطى قوة رد الفعل الناظمي للعناصر المرنة في أنظمة التعليق على الدولاب الواحد $F_{km}$ بالعلاقة:

$$F_{km} = -k\{X_{st} - |X_m \mp X_M|\} \qquad (5)$$

حيث:

$k$– عامل صلابة العناصر المرنة.

$X_{st} = \frac{W}{k}$– الانتقال أو الانزياح الستاتيكي في العناصر المرنة، باعتبار أن $W$ الوزن المؤثر عليها و $k$ عامل صلابتها.

$X_m$ – الانتقال الشاقولي للدولاب.

$X_M$ – الانتقال الشاقولي للصندوق أو هيكل السيارة.

بينما تعطى قوة مقاومة المخمدات التي تؤثر على الدولاب $F_{cm}$ بالعلاقة:

$$F_{cm} = \mp C_{1,2}.\dot{X}_m^n \qquad (6)$$

حيث:

$C_1, C_2$ – عوامل مقاومة المخمدات في حالتي الانضغاط والتمدد على التوالي.

$\dot{X}_m$ – السرعة الخطية لحركة الدواليب شاقولياً.

n – مؤشر النسبة في مميزات المخمدات المستخدمة.

يمكن وصف حركة صندوق السيارة أو هيكلها في الاتجاه الشاقولي بالعلاقة:

$$M.\ddot{X}_M = F_{kM} + F_{CM} \qquad (7)$$

حيث تعطى قوة رد الفعل الناظمي للعناصر المرنة لنظام تعليق واحد تحت الصندوق $F_{kM}$ بالعلاقة:

$$F_{KM} = K\{X_{st} - |X_m \mp X_M|\} \qquad (8)$$

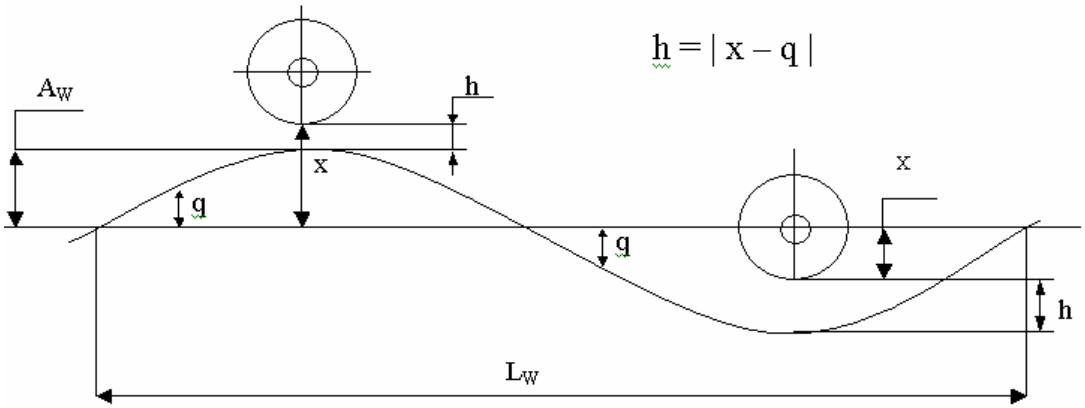
كما تعطى قوة مقاومة المخمدات على الصندوق أو الهيكل $F_{CM}$ بالعلاقة:

$$F_{CM} = \mp C_{1,2}.\dot{X}_M^n \qquad (9)$$

حيث:

$\dot{X}_M$ – السرعة الخطية لحركة الصندوق شاقولياً.

توفر نتائج الحسابات بهذه الطريقة معرفة انزياح الدواليب بالاتجاه الأفقي $X_m$ وانزياح الصندوق بالاتجاه نفسه أيضاً $X_M$ ويمكن بمعرفة $X_m$ إيجاد قيمة انقطاع الدواليب عن سطح الطريق $h_i$ والذي يقيم البارمتر الأول من بارامترات المفاضلة التي نجريها ( تماسك العجلات مع سطح الطريق) بينما يمكن بمعرفة $X_M$ تقييم البارمتر الثاني من بارامترات المفاضلة ( اهتزاز هيكل السيارة ). يمكن استخدام المخطط الحسابي الموضح على الشكل (2)، واعتماد الطريقة الحسابية المبينة على نموذج لحركة سيارة نقل للركاب ذات البارمترات الآتية:




**الشكل (2) مخطط حركة الدولاب على طريق غير مستوية**

– الكتلة الخاضعة للمرونة M=16616 Kg .

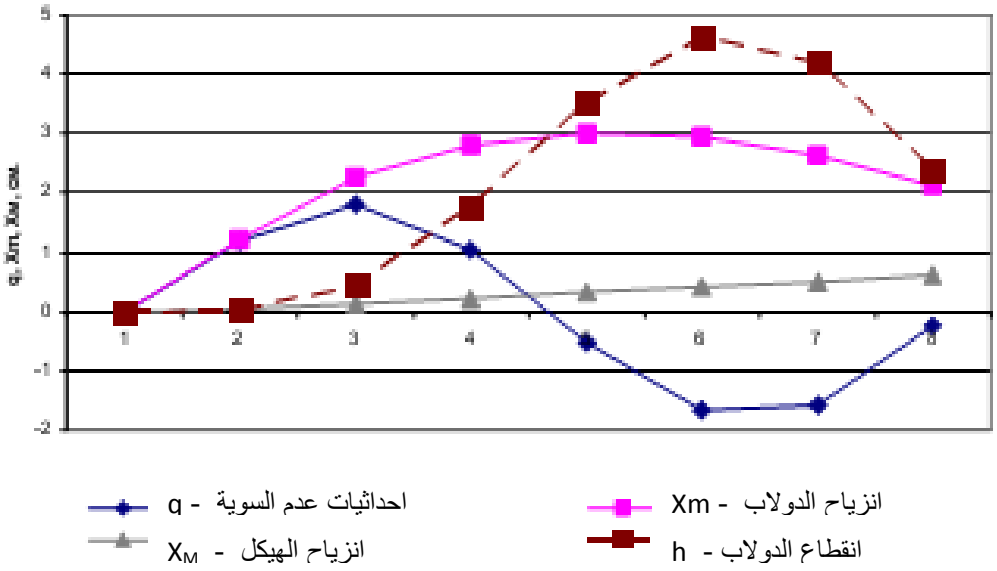
– الكتلة غير الخاضعة للمرونة والتي تخص دولاب واحد من أنظمة التعليق الأمامية M=352 kg.

– صلابة العناصر المرنة K=182400 N/m.

– عامل مقاومة المخمدات عند انضغاطها $C_1$=19120 N.s/m، وعند تمددها $C_2$=5545 N.s/m.

– مؤشر النسبة في خواص المخمد المستخدم خلال انضغاطه $n_1$=1، وتمدده $n_2$=1، عدد أجهزة التعليق في السيارة $i_k$=6 .

أجري الحساب لطريق ذي تغطية إسفلتية وفقاً لقيمة وسطية لعدم سويتها، وقد مكنت نتائج الحساب من إيجاد علاقة البارمترات: $q = f(t),\ X_m = f(t),\ X_M = f(t)$ المبينة على الشكل (3)، والتي تسمح بشكل واضح ملاحظة انقطاع دولاب السيارة عن سطح الطريق، وقيمة اهتزاز هيكل السيارة عند عبورها لمناطق عدم السوية من الطرقات.




**الشكل (3) علاقة المؤشرات $q = f(t),\ X_m = f(t),\ X_M = f(t)$**
**(من أجل سرعة $v_a$=85 Km/h)**

يتم في الدراسة تقييم تأثير عامل السرعة ببارمتر الدخول $v_a$ ، وهو السرعة الخطية للسيارة، ويقيم عامل خصائص مرونة أنظمة التعليق بالبارمتر K وهو قساوة أو صلابة العناصر المرنة، بينما يقيم عامل خصائص الإخماد في أنظمة التعليق ببارامترات الدخل الأولية $C_1$، $C_2$، وهي عوامل مقاومة المخمدات في حالتي الانضغاط والتمدد. نعطي من خلال مجال القيم الممكنة لبارمترات الدخل عشرة قيم لكل منها ونقوم لاحقاً بحساب كل الخيارات الممكنة لتوافق قيم بارمترات الدخل جميعها، ثم ننشئ مخططاتٍ تمثل علاقة بارامترات المفاضلة $k_{OT}$ ، $k_V$ المدروسة مع كل من بارامترات الدخل أي يكون لدينا:

$$k_{ot} = f(C_1),\quad K_{ot} = f(C_2),\quad K_{ot} = f(k),\ K_{ot} = f(v_a)$$
$$K_V = f(C_1),\ K_V = f(C_2),\ K_V = f(k),\ K_V = f(v_a)$$

بما أن كلاً من بارامترات الدخل يتوافق مع عدد كبير من بارامترات الدخل الأخرى، فإننا نحصل على مجال واسع جداً لقيم البارامترت المدروسة. نحدد منها ثمانية، أربعة منها لبارامتر المفاضلة الأول $k_{OT}$، وأربعة أخرى لبارامتر المفاضلة الثاني $k_V$. ننشئ في المرحلة الأولى من الحسابات المجالات الأولية لقيم بارامترت المفاضلة، والتي تفاضل

قيمها عند بارامترات الدخول نفسها وذلك للحصول على القيمة المثالية لبارامتر الدخول الذي يعطي أقل فرق في قيم البارامترات التي تجري مفاضلتها. كما يتم في المرحلة الثانية إنشاء مجال قيم بارامترت المفاضلة بوجود القيم الثابتة المفضلة لبارامتر الدخل، وكل التوافقات مع قيم بقية بارامترات الدخل، وهكذا فإن عدد مراحل الاختيار يكون مختلفاً تبعاً للمسألة المدروسة.

**- تقييم الاستقرار والتوجيه لحركة السيارة.**

من أجل تقييم والثوقية والاستقرار لحركة السيارة وتوجيهها في ظروف عملها المختلفة (انسيابية الحركة، الفرملة عند التوقف، استقامة الاتجاه عند التسارع، الحركة على المنعطفات، وذلك عند حمولات مختلفة)، فانه يتطلب معرفة ردود الأفعال الجانبية من سطح الاستناد على الدواليب لأنها تؤثر بشكل كبير على تماسك العجلات مع سطح الطريق، وزوايا الانحراف عن استقامة اتجاه الحركة، مع مؤشرات الاهتزازات الجانبية للدواليب الموجهة، وهي معاً تحدد سلوك السيارة[4] .

في الحالة العامة تؤثر على دواليب السيارة ذات المحورين ردود أفعالٍ جانبية من سطح الطريق، يعطى مجموعها بالعلاقة:

$$R_{\Sigma y} = R_y + R_{y\delta} + R_{y\,lenk} + R_{y\,mixt} + R_{y\theta} \qquad (10)$$

حيث:

$R_y$- رد الفعل على القوى الجانبية الثابتة والمؤثرة على السيارة.

$R_{y\delta}$- رد الفعل على القوى النابذة عند حركة السيارة على طريق منعطف بنصف قطر معين.

$R_{ylenk}$ - رد الفعل على تغير زاوية الدواليب الموجهة بتدخل السائق.

$R_{ymixt}$- رد الفعل على القوتين اللتين تحددان عزم انعطاف السيارة حول مقدمتها.

$R_{y\theta}$ - رد الفعل على القوى النابذة عند الاهتزازات الزاوية للدواليب الموجهة

نستعرض تأثير كل من حدود العلاقة (10) وأهميتة في تشكيل رد الفعل الكلي: تتحدد القوة الجانبية الثابتة المؤثرة على السيارة والتي تحدد رد الفعل $R_y$ من المركبة الجانبية لقوة الوزن عند الميل العرضي للطريق أو من القوة الجانبية لتأثير الرياح، وتؤثر هنا أيضاً طبيعة تغطية سطح الطريق، بهذا الشكل فإنه تؤثر على السيارة عند حركتها على طريق ذي تغطية محددة قوة جانبية نتيجة الميل العرضي للطريق وتكون متجهة باتجاه الميل وقيمتها تساوي وسطياً %( 4 – 1,5 ) من وزن السيارة ( الحمولة الناظمية )، و للطرق الإسفلتية والبيتونية عادةً %( 2 – 1,5)، وتؤدي هذه القوة إلى نشوء ردود أفعال جانبية على دواليب السيارة معاكسة لاتجاهها. وتتحدد القيم النسبية للقوى النابذة المؤثرة على السيارة إلى الحمولة الناظمية عند الحركة بسرعة معينة على طريق ذات تغطية مختلفة وبانحناءات ومنعطفات ذات استدارة محددة في المجال % ( 23 – 19) أي بحدود وسطية % 20، ويكون رد الفعل على تلك القوى $R_{y\delta}$ موجهاً دوماً إلى مركز الانعطاف أو الاستدارة في مخطط الطريق. يتمثل توجيه السائق للسيارة وتأثيره على وضعية الدواليب الموجهة تمثل في التغير المناسب لزاوية دورانها وهو ما يحدد نصف قطر التفاف السيارة [5] :

$$R_a = \frac{B_a}{\theta_t} \qquad (11)$$

حيث:

$B_a$ – قاعدة السيارة.

$\theta_l$ – الزاوية الوسطية لدوران الدواليب الموجهة اليمينية واليسارية.

لهذا وعندما يقوم السائق بتوجيه السيارة المتحركة بسرعة معينة $v_a$ باتجاه محدد، تنشأ قوة نابذة إضافية متغيرة تعطى بالعلاقة:

$$P_{y\,lenk} = 2(m_1 + m_2)v_a^2 \frac{\theta_l}{B_a} \qquad (12)$$

حيث:

$m_1$، $m_2$ – الكتل التي تخص جانباً واحداً من المحور الأمامي والخلفي على التوالي.

تؤدي هذه القوة المذكورة إلى نشوء رد فعل على كل من الدواليب الموجهة:

$$R_{y\,lenk} = \frac{m_1 + m_2}{2} v_a^2 \frac{\theta_l}{B_a} \qquad (13)$$

قد تكون قيمة نسبة رد الفعل $R_{y\,lenk}$ الى الحمولة الناظمية بحدود 5% ولكنها مع صغرها فهي تحدد شروط التماسك الجانبي للعجلات مع سطح الطريق. تنشأ قوة رد الفعل $\mathbf{R}_{y\,mixt}$ والمؤثرة على الدواليب عند الفرملة عن زوج القوى $P_{y\,mixt}$ والمعادل لعزم الانعطاف $M_{mixt}$ عند زيادة رد الفعل الطولي لسطح الاستناد على أحد الجوانب نسبة الى الجانب الآخر. وقد تكون تلك الزيادة ناتجة عن عدم تساوي عزوم الفرملة وتوزعها على العجلات في جانبي السيارة، لكن عدم الانتظام في هذا التوزع يكون كبيراً عند حدوث الانقلاب في وضع السيارة، ويبين الشكل (4) مخطط تشكل ردود الأفعال الجانبية لسطح الاستناد للسيارة عند الفرملة. ويمكن حساب العزم $M_{mixt}$ عند زيادة رد الفعل الطولي على أحد الجوانب دون الآخر بالعلاقة:

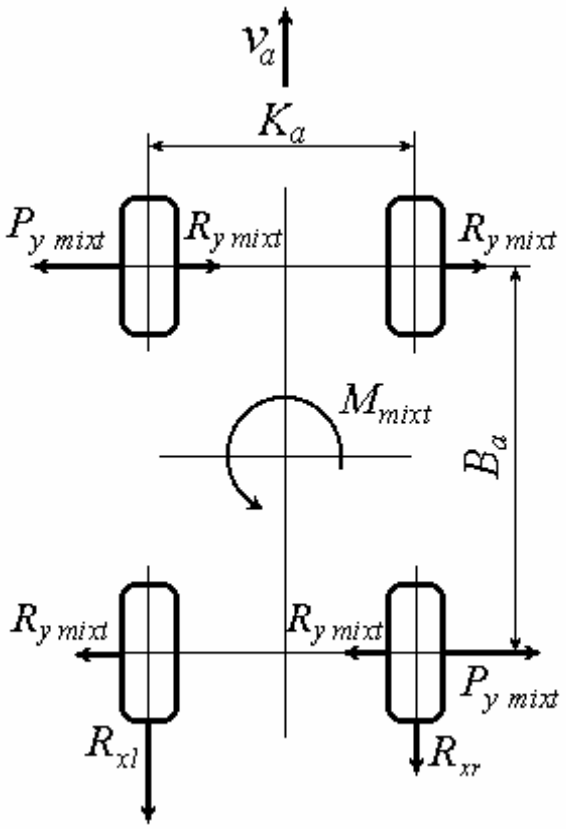
$$M_{mixt} = \Delta R_x \frac{K_a}{2} \qquad (14)$$

حيث:

$K_a$ – البعد بين دواليب السيارة.

$\Delta R_x = R_{xl} - R_{xr}$ – الزيادة في رد الفعل الطولي على أحد جوانب السيارة.

$R_{xl}$، $R_{xr}$ – رد الفعل الطولي لسطح الاستناد على الجانب اليساري واليميني على التوالي.




**الشكل (4) مخطط نشوء ردود الأفعال الجانبية لسطح الاستناد للسيارة عند الفرملة والانعطاف.**

من الملاحظ أنه يمكن تبديل عزم الانعطاف $M_{mixt}$ بقوتين كل منهما:

$$P_{y\,mixt} = \frac{M_{mixt}}{2B_a/2} = \frac{\Delta R_x B_a}{2B_a} \qquad (15)$$

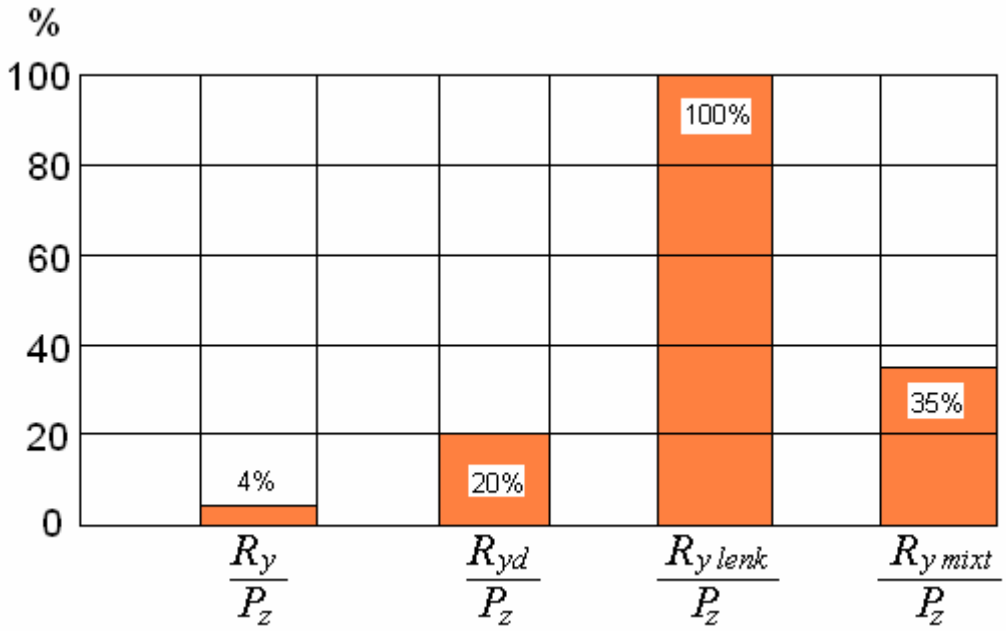
كما تولد كل من القوتين رد فعل إضافي على كل دولاب قدره:

$$R_{y\,mixt} = \frac{P_{y\,mixt}}{2} = \frac{\Delta R_x B_a}{4B_a} \qquad (16)$$

يمكن أن تبلغ قيمة نسبة رد الفعل $R_{y\,mixt}$ إلى الحمولة الناظمية على الدولاب الحدود من 0 – 35 % .

ووفقاً للتوضع المبين على الشكل (4) لردود الأفعال الطولية على الجانب اليساري من السيارة، فإن رد الفعل الإضافي المتولد $R_{y\,mixt}$ يتجه نحو اليمين على الدواليب الأمامية ونحو اليسار على الدواليب الخلفية، كما يتجه عكس ذلك عندما تتوضع $\Delta R_x$ تحت الجانب اليميني من السيارة. وبالنسبة للحد الأخير من العلاقة (10) الذي يمثل رد الفعل على القوى النابذة عند الاهتزازات الزاوية لدواليب التوجيه فإنه يمكن إهماله لأن تلك الاهتزازات عالية التردد لا تؤثر على السيارة عند حركتها (أي لا تستطيع الاستجابة لتغير تأثيرها السريع جداً بتغيير نصف قطر الالتفاف ) .

نبين على الشكل (5) مخطط مجالات قيم المركبات التي تشكل مجموع ردود الأفعال لسطح الاستناد المؤثرة على دواليب السيارة ذات المحورين نسبة إلى الحمولة الناظمية على الدولاب.




**الشكل (5) مجال قيم مركبات مجموع ردود الأفعال الجانبية لسطح الاستناد المؤثرة على دولاب السيارة ذات المحورين ( نسبة إلى الحمولة الناظمية $P_z$).**

نلاحظ أن مجال القيم الأكبر يوافق القوى المتعلقة بعملية توجيه دواليب السيارة والتحكم بحركتها أي $R_{y\,lenk}$ بينما تتغير المركبات الأخرى في مجالات أقل تغيراً ملحوظاً، حتى إن رد الفعل المتعلق بتأثير القوى الجانبية $R_y$ لا يتجاوز 4 % من الحمولة الناظمية $P_z$. بشكل عام يمكن أن تتغير مركبات القوى المذكورة من الصفر وحتى قيمها الأعظمية عند التوافقات المختلفة لحالة سطح الطريق، وسرعة السيارة، ونصف قطر المنعطفات، وشدة تأثير السائق على وضع الدواليب الموجهة، عدم انتظام قوى الفرملة على الدواليب وكذلك علاقة البعد بين الدواليب وقاعدة السيارة. قد تكون القيم متساوية لتلك المركبات عند شروط مختلفة لذلك يجب أخذها معاً بالاعتبار عند الدراسة والنمذجة لديناميكية الدواليب في أنظمة الحركة المختلفة.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

سمحت الدراسة التي أجريناها حول أنظمة التعليق، وتوجيه حركة السيارة بالحصول على النتائج الآتية:

1-يؤمن استخدام الطريقة المقترحة البحث الأمثل عن مميزات أنظمة التعليق، الحصول على القيم المثلى للبارامتراتها الأولية ، وهي صلابة العنصر المرن وعوامل مقاومة المخمدات في حال انضغاطها وتمددها.

2-يساهم الحصول على تخفيض القيم العظمى لعامل انقطاع الدولاب عن سطح الطريق وعامل التضخيم الديناميكي لاهتزاز هيكل السيارة يساهم في زيادة من الأمان والانسيابية لحركتها وإمكانية توجيهها والتحكم بها.

3-يتعلق توجيه حركة السيارة بردود الأفعال من سطح الطريق على القوى المؤثرة، ويغلب تأثير قوة التوجيه من قبل السائق، والقوى التي تسبب انعطاف السيارة عند الفرملة.

4-تساهم الدراسة في اقتراح مجال السرعات المثلى لحركة الآلية مع المحافظة على وثوقية حركتها، واستقرارها وإمكانية توجيهها.

**التوصيات:**

- يوصى باستخدام الطريقة المقترحة لاختيار بارامترات أنظمة التعليق وحساب ردود الأفعال الجانبية على الدواليب الموجهة للسيارة على سيارات مختلفة وفي ظروفٍ وشروط لطرقٍ مختلفة لنضمن استقرار حركة السيارة وتوجيهها والتحكم بها.

## المراجع:


1- Тарасик, В.П. *Математическое моделирование технических систем*. Минск : дизайн, про. 2004.

2- Молибошко, Л. А. *Разработка теоретических основ проектирования трансмиссий автомобилеи с оптимальными динамическими храктеристиками*. Теория и практика машиностроения – 2005 $N_o$-1.

3- Dilip Kumar Adhwarjee "*Theory and applications of mecahanical vibrations*", Delhi - 2007.

4- Тарасик, В.П. *Теория движуния автомобиля*. петербург – 2006.

5- *Автомобильный справочник*. М: за рулем, 2004 – 992 с.