



## دراسة نظام التعليق لنموذج ثنائي البعد لمركبة وتأثيرها على كرسي السائق والسرعة المحددة

سالم يحيى قاسم<sup>1</sup>

سيف مدحت عبد الستار<sup>2</sup>

<sup>2,1</sup> قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

### الخلاصة

الاهتزاز في المركبات غير مرغوب فيه لأنه يسبب عدم الراحة لركاب المركبة، ويمكن أن يؤدي أيضا إلى التعب، وفشل لبعض أجزاء المركبة. ولذلك، فإن دراسة وتحليل حركات تعليق المركبة جزء لا يتجزأ في أي وقت مضى لبحوث المركبات منذ اختراعها. ويرتبط اهتزاز المركبة براحة الراكب والسلامة والاستقرار للمركبة. وقد حلل الباحثون العديد من اهتزاز المركبات من خلال النظر في نماذج مختلفة مثل نموذج ربع مركبة (Quarter Car Model)، ونصف عربية (Half Car Model) و نماذج لعربة كاملة (Full Car Model) مع أنواع مختلفة من الإثارات التي تتعرض لها المركبة ويقصد هنا الإثارة هي مجموعة القوى الخارجية المترتبة من التضاريس الأرضية. هذا البحث يتضمن نموذج نصف مركبة خطي لأربع درجات من الحرية زائد واحد (4+1DOF) أي بعد إضافة درجة حرية كرسي السائق/الراكب يصبح النظام ذو خمسة درجات من الحرية، كذلك تم اعتبار جسم المركبة صلب (Rigid Body) وأخذ بنظر الاعتبار الارتداد (Bounce) والتأرجح (Pitch). تم تشكيل المعادلات الحركية الحاكمة باستخدام طريقة العناصر المحددة، وقد انشأ لهذا الغرض برنامج حاسوبي بلغة فورتران الذي استخدم في عملية التشبيه (Simulation) والوقوف على تقييم الأداء وتحليل ركوب المركبة في مرحلة التصميم والوقوف على مدى تأثير سائق المركبة بمؤثرات الطريق من خلال إجراء دراسة على موضع ونوعية مقعد السائق وقد تم استخدام معيارين من معايير الراحة المستخدمة منها معيار معدل الطاقة الممتصة (Average Absorbed Power) لكي يكون هو المعيار على مدى راحة السائق من عدمه والمعيار الثاني هو معامل مقياس الراحة المتمثل بمعدل مربع الجذر المتوسط للتعبيل العمودي كون السائق يمثل أهم حلقة في عملية استخدام المركبات لأنه صاحب القرار والمسيطر على توجيه حركة المركبة.

الكلمات الدالة: معيار معدل الطاقة الممتصة، نموذج نصف مركبة، أربع درجات من الحرية، راحة السائق

## Theoretical Study of Suspension System for Two-Dimensional Model of the Vehicle and its Effects on limiting speed and Driver Comfort

### Abstract

Vibration in cars is undesirable because it causes discomfort to passengers, and can also lead to fatigue and failure of some parts of the vehicle. Therefore, the study and analysis of comments movements cart embedded in ever to research vehicles since the invention. And associated vibration cart passenger comfort, safety and stability of the vehicle. The researchers analyzed several vibration of vehicles by looking at different models, such as quarter wagon model, and Half Car Model and full vehicle model with different types of excitement experienced by the vehicle and intended here excitement is a set of external forces arising from the terrain. This research includes a half vehicle linear model, written for four degrees of freedom plus one (4 + 1 DOF) after addition degree of freedom which is driver / passenger seat system becomes a five degrees of freedom, also the vehicle body is assumed as a rigid body and taking into account the Bounce and Pitch. The system governing equations of motion are formulated by using the finite element method (FEM). A Fortran language computer program has been established for this purpose and used in the process covering (Simulation) and stand on the performance evaluation and analysis riding cart at the design stage and stand on the impact driver way through a study on the subject and the quality of the driver's seat, Two criterion of standards of comfort has been used, such as standard rate of absorbed energy (Average Absorbed Power) to be the norm over the driver comfort or not. And the comfort factor which is the vertical acceleration root mean square is used as an indication for the ride comfort. In fact

the driver is the most important link in the process of using vehicles because the decision-maker and dominant direct the movement of vehicle.

**Key word:** Average absorbed power, half vehicle, 4DOF, driver comfort.

## المقدمة

كلنا يعلم ان المركبة التي تسير على الطريق تتعرض الى عدة اهتزازات بفعل اثاره الطريق منها الاهتزاز الطبيعي و الاهتزاز العابر والاهتزاز القسري وتأثير هذه الاهتزازات تختلف من طريق الى اخر و من مركبة الى اخرى ومن انظمة تعليق الى اخرى. اذ تنقسم اهتزازات جسم المركبة الى عدة حقول من الترددات بالاعتماد الى عدة عوامل منها تردد حالات الرنين التي تحدث لجسم المركبة والعجلات وانظمة التعليق، وقسم اخر يعتمد على تأثير الانسان بالاهتزاز. ومن حيث الترددات تنقسم الى اربعة حقول حقل الترددات الواطئة من (1.5-2.5Hz) وحقل الترددات المتوسطة من (10-20Hz) وحقل الترددات فوق المتوسطة من (20-60Hz) وحقل الترددات العالية من (60-250Hz)[1]. ان الحقل الاول من الترددات يخص اهتزازات جسم المركبة بصورة عامة والاهتزاز الشاقولي بصورة خاصة. فتأثير الاهتزاز على راحة السائق المعرض الى الاهتزاز الطبيعي او العابر او القسري يمكن تقييمه في مدى التردد من (0.5 الى 80 هرتز). لمعرفة تأثيره على راحة السائق، باختلاف اتجاهات الاهتزاز[2]. وجاءت الحاجة لنظام التعليق في المركبات الخفيفة والثقيلة لتعليق هيكل جسم المركبة والمحرك ومجموعات نقل الحركة فوق العجلات وذلك باستخدام النوابض المختلفة في الامام وفي الخلف للمركبة، ويهدف نظام التعليق في المركبة الى امتصاص الصدمات لتحقيق الراحة للراكب، ويتم تحقيق ذلك باستخدام النوابض و ممتصات الاهتزاز حيث يتم تصميم النوابض التي تستخدم في سيارات الركوب او سيارات النقل بأشكال ومقاسات مختلفة و تتضمن اشكال مختلفة منها النوابض الورقية و الحلزونية والهوائية وقضبان الالتواء، وان من اهم وظائف منظومه التعليق هي تحقيق الراحة والامان اثناء القيادة وامتصاص الصدمات وحماية هيكل المركبة من انتقال الاهتزاز اليه [3].

وبدون اي شك ان تصميم انظمة التعليق الملائمة هي الاكثر تأثيرا للحصول على اهداف راحة الراكب. ولهذا استخدمت انظمة التعليق نصف النشط (semi-active) لغرض تحسين راحة السائق[3]. قام الباحث (Li Xueying) وآخرون في عام 2012، بدراسة النموذج الهندسي المضبوط لنظام التعليق، لتحليل خواص الاهتزاز المرسل من نموذج تعليق متعدد صلب ونموذج تعليق متعدد مرن، حيث تم اجراء مقارنة لإيجاد الاختلاف بين النموذج الصلب والنموذج المرن حيث ان خصائص الاهتزاز بحثت بكلا الطريقتين النظري والتجريبي. تظهر الترددات البالغة الذروة لنموذج نظام التعليق الصلب محددة بشكل رئيسي ضمن 70 هيرتز، وفي هذه الاثناء اغلب الترددات البالغة الذروة من نموذج نظام التعليق المتعدد المرن توزع في مدى اعلى من

100 هيرتز، لهذا اظهرت النتائج ان النموذج المتعدد المرن يمكن ان يعكس بدقة اكثر خصائص اهتزاز نظام التعليق في مدى التذبذب العالي والوسط [4].

وفي عام 1986 قام الباحث (Newell R. Murphy) وآخرون بدراسة تأثير اهتزاز المركبة واستجابة السائق لها حيث تم وضع معيارين لراحة السائق/الراكب، اولا الطاقة الممتصة (A.P) والثانية مربع جذر المتوسط (RMS). وان هدف هذه الدراسة اجراء مقارنة بين نسبة الطاقة الممتصة (Absorbed Power) وتعجيل جذر المربع المتوسط (RMS) كإجراءات مفيدة لمعرفة مدى الراحة للسائق. واستنتجوا ان الطاقة الممتصة ومربع الجذر المتوسط فعال في تميز بيئة الاهتزاز الانسانية في الاتجاه العمودي[5].

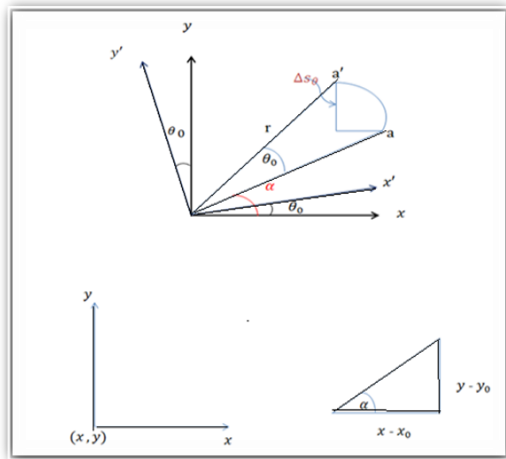
وفي عام 2006 قدم الباحث (Ahmad Faheem) دراسة تم فيها تحليل ديناميكية التعليق في المركبة. وهذا البحث يهدف الى التحقق في ردود الاستجابات لربع مركبة ونصف مركبة ويتم تقييم الاداء بشكل عام لركاب المركبة في مرحلة التصميم من خلال محاكاة استجابة المركبة لإثارة الطريق، حيث قام الباحث في تغيير مقدار التخميد للاستدلال على الحل الامثل لتحسين راحة الراكب [6].

## الجانب النظري

إن المعادلات الديناميكية لنظام التعليق يمكن صياغتها باستخدام قانون نيوتن الثاني للحركة (Newton's Equation) لكل عنصر تعليق[7]، وطريقة الاشتقاق تكون صعبة لو اعتبرنا البدن مرن (flexibility). الطريقة البديلة مبنية على مفهوم التقسيم لطريقة العناصر المحدودة (FEM) التي ستستخدم في هذه الدراسة. ونماذج تعليق العربة يمكن تقسيمها الى ثلاثة انواع: ربع مركبة و نصف مركبة و نموذج مركبة كاملة، ففي النموذج ربع المركبة يأخذ النموذج التأثير بين ربع جسم المركبة ولعجلة واحدة وحركة نموذج ربع المركبة تكون في الاتجاه العمودي فقط اما نموذج نصف المركبة يأخذ التأثير بين جسم المركبة والعجلات وأيضا بين كلتا نهايات جسم المركبة التأثير الاول في نموذج نصف المركبة سببه الحركة العمودية والتأثير الثاني سببه حركة زاوية، وفي النموذج مركبة كاملة التأثير يكون بين جسم المركبة والعجلات الاربع الذي ينتج الحركة العمودية بين جسم المركبة وحركة اليمين واليسار الذي يعطي حركة زاوية تسمى التمايل (roll) وبين جسم المركبة والعجلات الامامية والخلفية الذي يسبب حركة التآرجح (pitch).

## نظام الإحداثيات (Coordinate System)

يتم تحديد عدد من درجة الحرية (DOF) في أي نظام من قبل عدد من الإحداثيات المستقلة المطلوبة لوصف شكل كل كتل النظام. وفي هذا العمل تم استخدام



الشكل (2) تأثير الدوران حول المحور Z

وبنفس الطريقة لكن باشتقاق السرعة ( $U'$ ) في معادلة (2) نستطيع الحصول على التعجيل ( $U''$ ):

$$U''_{(y,z,t)} = U''_0 + [(x - x_0) \cos \theta - (y - y_0) \sin \theta] \theta''_0 + [(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta] [\theta_0'] \dots \dots \dots (3)$$

ان فرضيات العمل هي:-

- البدن صلب (Rigid).
  - التغير خطي اي  $\theta$  صغيرة.
  - الحركة بالاتجاه العمودي فقط.
- وعليه:-

$$\sin \theta \cong \theta, \quad \cos \theta \cong 1 \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} = \theta_0$$

$$U(x, y, t) \cong U_0 + (x - x_0) \theta_0 \dots \dots \dots (4)$$

$$U'(x, y, t) \cong U'_0 + (x - x_0) \theta'_0 \dots \dots \dots (5)$$

$$U''(x, y, t) \cong U''_0 + (x - x_0) \theta''_0 \dots \dots \dots (6)$$

بما ان العمل ذات اربع درجات من الحرية (4DOF) فان من المتوقع ان نحصل على اربع معادلات حركية وعليه فانه:- (ملاحظة التفاصيل بالملحق 1)

#### المعادلة الاولى (First Equation)

تمثل هذه المعادلة حركه البدن في الاتجاه ( $y$ ). اذ ان مجموع القوة المؤثر في البدن في الاتجاه  $y$ :-

$$F_y^{(n)} = c^{(n)} [U'_0 + (x - x_0) \theta'_0 - U'^{(n)}] + k^{(n)} [U_0 + (x - x_0) \theta_0 - U^{(n)}] \dots \dots \dots (7)$$

#### المعادلة الثانية (Second Equation)

تمثل هذه المعادلة معادلة الحركة الزاوية التي لها علاقة باتجاه الحركة حول ( $Z$ ). حيث ان مجموع العزوم المؤثرة في البدن باتجاه ( $Z$ ) يمكن حسابها بالشكل التالي:

اربعة من انظمة الاحداثيات المنفصلة كما مبين في الشكل (1).

#### تأثير الدوران حول الاحداثي Z

نعتبر الدوران صلب (rigid) للبدن فيما يتعلق بالمحور  $Z$  ويزاوية مقدراتها ( $\theta$ ). وعلى اعتبار ان النقطة ( $a$ ) في البداية هي نقطة في الفضاء، كما موضح في الشكل (2)، وبسبب ذلك الدوران ينتقل الى النقطة ( $a'$ )، ويمكن وصف حركته في الاتجاه ( $y$ ) كما يلي:-

$$\Delta s_\theta = r \sin(\theta_0 + \alpha) - r \sin \alpha$$

$$= r(\sin \theta_0 \cos \alpha + \cos \theta_0 \sin \alpha) - r \sin \alpha$$

وعلى فرض ان:-

$$r \sin \alpha = (y - y_0)$$

$$r \cos \alpha = (x - x_0)$$

ويمكن ان نستنتج ان  $\Delta s_\theta$  تساوي

$$\Delta s_\theta = (x - x_0) \sin \theta_0 + (y - y_0) \cos \theta_0 - (y - y_0)$$

$$= (x - x_0) \sin \theta_0 - (y - y_0)(1 - \cos \theta_0)$$

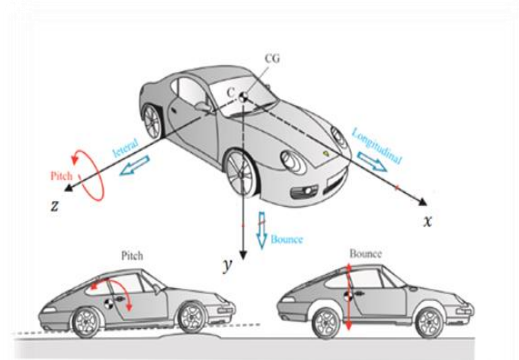
الحركة في الاتجاه ( $y$ ) في الهيكل (C.G) نستطيع التعبير عنها بالصيغة التالية:

$$U_{(y,z,t)} = U_0 + (x - x_0) \sin \theta_0 - (y - y_0)(1 - \cos \theta_0) \dots \dots \dots (1)$$

معادلة (1) تصف التعبير الخاص بالإزاحة العمودية ( $U_0$ ) بسبب التآرجح (pitch). وباشتقاق المعادلة رقم (1) نستطيع الحصول على السرعة ( $U'$ ):

$$U'_{(y,z,t)} = U'_0 + (x - x_0) \cos \theta_0 \theta'_0 - (y - y_0) \sin \theta_0 \theta'_0$$

$$= U'_0 + [(x - x_0) \cos \theta_0 - (y - y_0) \sin \theta_0] \theta'_0 \dots \dots \dots (2)$$



الشكل (1) يوضح نظام الإحداثيات

$$A.P = \sum_{i=1}^m K_i A_i^2 \dots\dots\dots(11)$$

حيث ان

$A_i^2$ ....مربع متوسط التعجيل في التردد ( $i$ )  
 $K_i$ ...المعامل المعتمد في توجيه الجسم فيما يتعلق في  
 المدخلات والتردد ( $i$ )  
 $m$ ... عدد نقاط البيانات

وفي مجال الزمن

$$A.P = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t F(t) V(t) dt \dots\dots(12)$$

حيث

$F(t)$ ....القوة الانية في نقطة تطبيق مدخلات الحركة.  
 $V(t)$  السرعة الانية في نقطة تطبيق مدخلات الحركة  
 ككمية عددية الطاقة الممتصة يمكن ان تجمع في انظمة  
 درجات الحرية المتعددة للمركبة لحساب استجابة  
 الانسان.

#### مقعد السائق (Driver Seats)

ان المقعد او المشغل نقطة مشتركة بالمركبة مسؤولة  
 عن كمية الاهتزاز المرسل الى مقعد المركبة. والعديد من  
 المحاولات اجريت مؤخرًا لتقليل الاهتزاز المرسل الى  
 السائق، ومثل هذه التطورات على أية حال لا يجب ان  
 تكون على حساب قدرة السائق أي عدم المبالغة بجعل  
 مقعد كرسي السائق مرنا، لكن السائق يجب ان يكون في  
 الحالة الافضل مقارنة بأفراد المركبة الاخرين ليتمكن من  
 السيطرة على السرعة، ولملاحظة العقبات امام المركبة  
 هنالك طريقتان لاتصال مقعد السائق او أي راكب في  
 المركبة بأرضية المركبة :-

الاولى - هي وصلة المقعد الصلبة والتي لا تحتوي على  
 أي نوع من التخميد لتلافي الهزات.  
 الثانية- وصلة المقعد المرنة التي هي شائعة الاستعمال في  
 الوقت الحاضر والتي تتميز باختوائها على مواد ذات  
 طبيعة ماصة للصدمات مثل المطاط والاسفنج والنوابض  
 وغير ذلك.

#### وصلة المقعد الصلبة (Rigid Seat Link)

في حالة المركبة التي تحتوي على وصلة المقعد  
 الصلبة يتم تحويل التعجيل والازاحة والسرعة من مركز  
 المركبة (C.G) الى السائق او أي موقع من مواقع افراد  
 المركبة، صيغة الوصلة الصلبة للسرعة النسبية  
 حيث ان الازاحة العمودية ( $U_y$ ) نعتبرها فقط ل

(C.G)

ونستطيع ان نثبت ذلك:

$$(U_x)_d = \dot{\phi} z_d \dots\dots\dots(13)$$

$$(U_y)_d = -\dot{\theta} z_d \dots\dots\dots(14)$$

$$(U_z)_d = U_z + \dot{\theta} y_d - \dot{\phi} x_d \dots\dots(15)$$

وبنفس الطريقة ، نستنتج بأن سرعة مقعد السائق هي :

$$(\dot{U}_x)_d = \dot{\phi} z_d \dots\dots\dots(16)$$

$$M_x^{(n)} = c^{(n)}(x_n - x_0) [U'_0 + (x_n - x_0)\theta'_0 - U'^{(n)}] + k^{(n)}(x_n - x_0) [U_0 + (x_n - x_0)\theta_0 - U^{(n)}] \dots\dots\dots(8)$$

#### المعادلة الثالثة (Third Equation)

تمثل هذه المعادلة معادلة حركة عجلة الطريق في  
 الاتجاه  $y$  . والقوة المؤثرة في عجلة الطريق يمكن  
 حسابها بالشكل التالي:-

$$F_y = m^{(n)} U''^{(n)} + [c^{(n)} + c_T^{(n)}] U'^{(n)} - c^{(n)} [U'_0 + (x_n - x_0)\theta'_0] - c_T^{(n)} U_T^{(n)} + [k^{(n)} + k_T^{(n)}] U^{(n)} - k^{(n)} [U_0 + (x_n - x_0)\theta_0] - k_T^{(n)} U_T^{(n)} \dots\dots\dots(9)$$

#### المعادلة الرابعة (Fourth Equation)

هذه المعادلة مبنية على اساس موازنة نقطة اتصال  
 عجلة الطريق بالأرض، والقوة المؤثرة على نقطة  
 الاتصال هي:

$$(R_y)_n = c_T^{(n)} [U_T'^{(n)} - U'^{(n)}] + k_T^{(n)} [U_T^{(n)} - U^{(n)}] \dots\dots\dots(10)$$

لتكن  $(\Delta x_n) = (x_0 - x_n)$  وعلية يمكن كتابة  
 كل من مصفوفة ثابت التخميد ومصفوفة ثابت النوابض  
 على الشكل التالي:-

$$c^{(n)} = \begin{bmatrix} c & \Delta x_n c & -c & 0 \\ \Delta x_n c & (\Delta x_n)^2 c & -\Delta x_n c & 0 \\ -c & -\Delta x_n c & c + c_T & -c_T \\ 0 & 0 & -c_T & c_T \end{bmatrix}$$

$$K^{(n)} = \begin{bmatrix} k & \Delta x_n k & -k & 0 \\ \Delta x_n k & (\Delta x_n)^2 k & -\Delta x_n k & 0 \\ -k & -\Delta x_n k & k + k_T & -k_T \\ 0 & 0 & -k_T & k_T \end{bmatrix}$$

#### مقياس معدل الطاقة الممتصة

الطاقة الممتصة هي مقياس نسبة الطاقة الاهتزازية  
 الممتصة من قبل جسم الانسان، وهي كمية تستعمل  
 لتحديد تحمل الانسان الى الاهتزاز عندما تتعرض  
 المركبة للتضاريس الوعرة. الطاقة الممتصة للمدخلات  
 معينة تعتمد على قوة المدخلة وسعة التردد. وفي أي تردد  
 معين من الطاقة التي يمتصها الجسم يعتمد الجسم على  
 المكون الحقيقي للمقاومة الميكانيكية للجسم لذلك النمط  
 المعين او وفقاً لظروف الجسم[8]. في مجال التردد معدل  
 الطاقة الممتصة يمكن تعريفها بالصيغة التالية:-

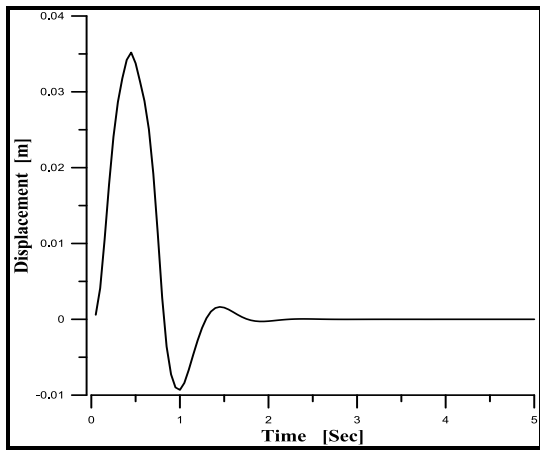
$K_s$ .....ممانعة نابض المقعد  
 $U_d, \dot{U}_d$ ....سرعة وازاحة الاثارة التي نستطيع  
 الحصول عليها من وصلة المقعد الصلب  
 $F$ .... قوة الاثارة

#### النتائج والمناقشة

ان النتائج التي تم الحصول عليها في تحليل ودراسة نموذج مركبة ثنائي البعد والتي تمثلت بنتائج الازاحات والسرعة والتعجيل الشاقولي ومعيار راحة الراكب.

#### تحليلات الاستجابة

ان نتائج تحليلات الاستجابة تعرض وتناقش في هذا الجزء. حيث تتفاوت سطوح الطريق من مكان الى اخر، وسطوح الطريق تكون في فترة وعرة واحيانا توجد فيه فتحات، عندما المركبة تمر على هذه المطبات والحفر تتحفز مدخلات الاثارة (استجابة الخطوة) الذي يؤدي الى الاهتزاز العامودي في المركبة. لذلك مهندسو التصميم صمموا ممتصات الصدمات المختلفة لاستعادة الموقع الاصلي في المركبة في اقصر وقت ممكن، وان الوقت الذي يستغرقه للإعادة التوازن الى موقعة الاصلي يدعى وقت الاستقرار (settling time)، اذ يجب ان يكون وقت الاستقرار في المركبة اقل من عشر ثوان [10]. توضح الاشكال (4) و (5) و (6) علاقة الازاحة مع الزمن والسرعة مع الزمن والتعجيل مع الزمن ولمركز ثقل المركبة ولسرعة مقدارها 35 كم/ساعة، ويلاحظ من الاشكال ان وقت الاستقرار هو اقل من 2 ثا وهذا يعني استقرار المركبة اثناء مرورها من خلال موجة نصف جيبية ارتفاعه (0.05 m). ويتوافق ذلك مع ما توصل اليه الباحث (Ahmad Faheem[6]).



الشكل (4) علاقة الازاحة مع الزمن لمركز ثقل الكتلة المعلقة (سرعة المركبة 35 كم/ساعة) ولحاجز ارتفاعه 0.05m

$$(\dot{U}_x)_d = -\dot{\theta} z_d \dots\dots\dots(17)$$

$$(\dot{U}_z)_d = \dot{U}_z + \dot{\theta} y_d - \dot{\theta} x_d \dots\dots\dots(18)$$

وأیضا تعجيل مقعد السائق هو:

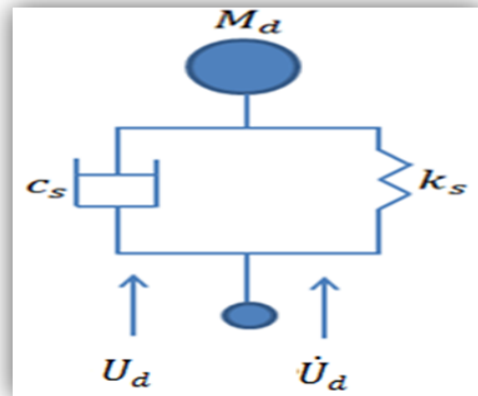
$$(\ddot{U}_x)_d = \ddot{\theta} z_d + y_d \ddot{\theta} \dot{\theta} x_d \dot{\theta}^2 \dots\dots\dots(19)$$

$$(\ddot{U}_y)_d = \ddot{\theta} z_d + x_d \ddot{\theta} \dot{\theta} y_d \dot{\theta}^2 \dots\dots\dots(20)$$

$$(\ddot{U}_z)_d = \ddot{U}_z + \ddot{\theta} y_d - \ddot{\theta} x_d - z_d \ddot{\theta}^2 - z_d \dot{\theta}^2 \dots\dots\dots(21)$$

#### وصلة المقعد المرنة

اصبح من الضروري لحماية السائق او افراد المركبة من شدة الاهتزاز العالية التي لا يمكن تجنبها ان نستعمل وصلة المقعد المرنة، والوصلة المرنة يعني عزل السائق باستخدام احدى العوازل المتمثلة بالإسفنج و النوابض مع عدم المبالغة في تضخيم مرونة المقعد. وفي عام 1972 اجريت دراسة تجريبية تظهر بأن الرغوة و المساند النابضة يميلان الى تضخيم حركة المساهمة في مستوى الترددات الواطئ لأي رجل حساس حيث استدلت التضاريس ان اهتزاز المركبة يميل الى ان يكون مركزا. المقاعد المعلقة اقترحت للتغلب على مثل هذه المشاكل حيث تدمج النوابض (hydropneumatica) والمخمّد اللزج. وتستخدم المقاعد المعلقة أيضا لتخفيف كل من الاهتزاز العامودي (vertical) والاهتزاز الى الامام والخلف (fore-aft). المعادلة التفاضلية لحركة المقعد المعلق المعروض في الشكل (3) لشخص كتلته ( $M_d$ ) يمكن التعبير عنها بالصيغة التالية:-



الشكل (3) نموذج بسيط لنظام تعليق السائق

$$M_d \ddot{U}_d(t) + c_s \dot{U}_d(t) + K_s U_d(t) = F(t) \dots\dots\dots(22)$$

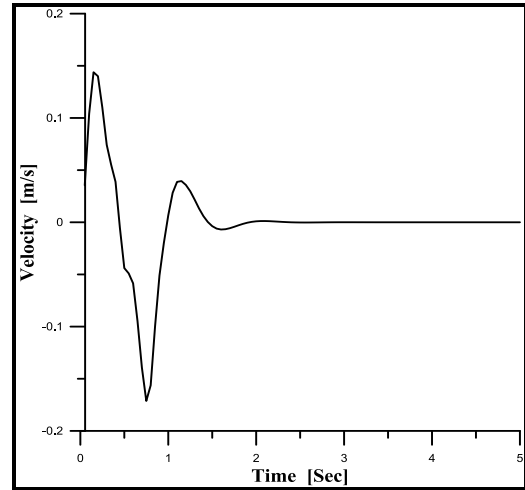
عندما

.....معامل التخميد للمقعد  $c_s$

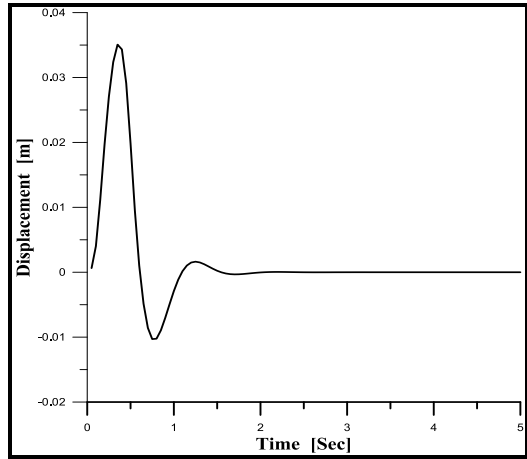
الاتصال الصلب عما عليه في الاتصال المرن وذلك بسبب الحركة الاهتزازية الناتجة من الصدمة الاولى، اما في الاشكال (14) و(15) فان قيم التعجيل والسرعة فهما اقل وذلك ناتج من وجود عامل التخميد الداخلى في مواصفات المواد المستخدمة في كرسي السائق وهي نتيجة منطقية، ويلاحظ من الشكل (16) ان اقصى تعجيل شاقولي تحت كرسي السائق يزداد كلما ابتعدنا عن مركز ثقل المركبة مع تحديد ثبوت ارتفاع الكرسي بمقدار (0.3 m).

**الجدول (1)** البيانات المدخلة لمحاكات السائق والمقعد [8]Kiran Autony

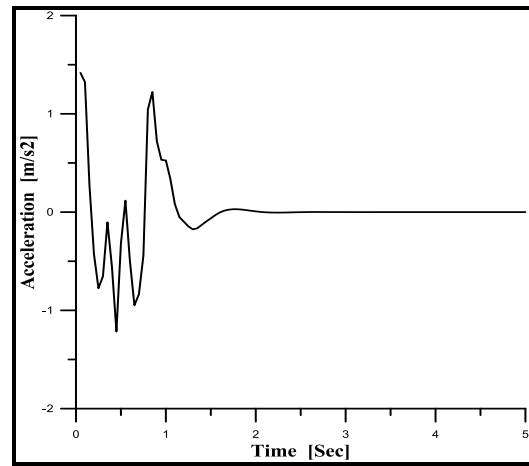
$M_d$ - seat and driver mass	90Kg
$C_d$ - Damping ratio of the seat suspension	3000Ns/m
$K_d$ - seat suspension spring stiffness	8000N/m



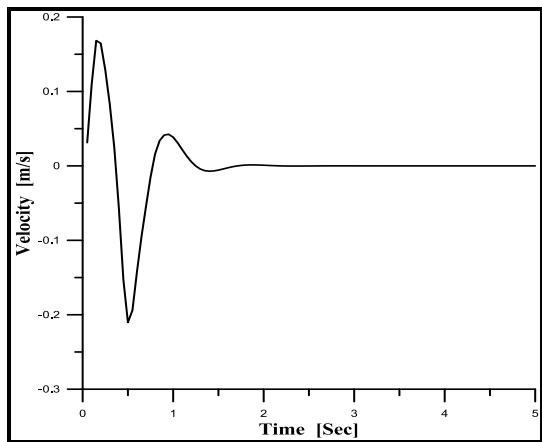
**الشكل (5)** علاقة السرعة مع الزمن لمركز ثقل الكتلة المعلقة (سرعة المركبة 35 كم/ساعة) ولحاجز ارتفاعه 0.05m



**الشكل (7)** علاقة الازاحة مع الزمن تحت كرسي السائق (سرعة المركبة 60 كم/ساعة)



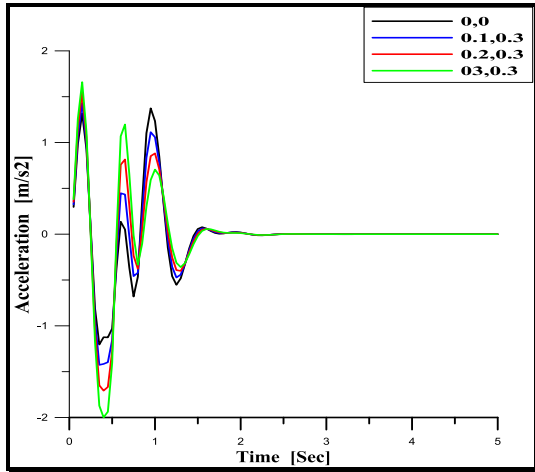
**الشكل (6)** علاقة التعجيل مع الزمن لمركز ثقل الكتلة المعلقة (سرعة المركبة 35 كم/ساعة) ولحاجز ارتفاعه 0.05m



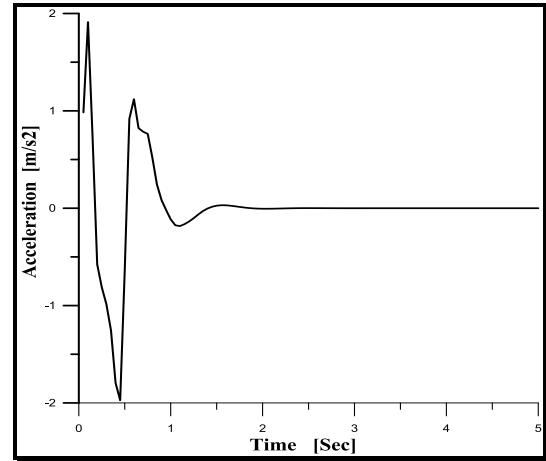
**الشكل (8)** علاقة السرعة مع الزمن تحت كرسي السائق (سرعة المركبة 60 كم/ساعة)

#### تحليلات الراكب مع معيار الراحة

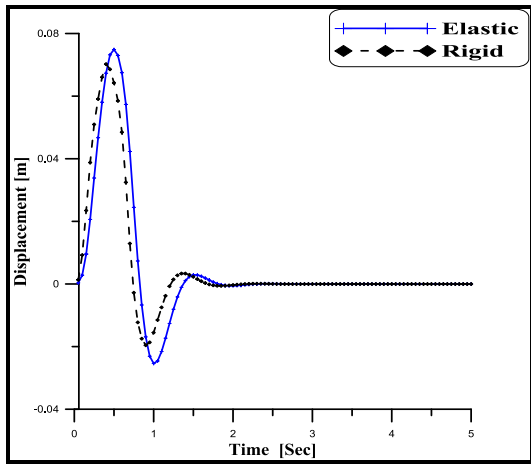
إن النتائج التي حصلنا عليها من تحليلات الراكب مع معيار الراحة التي تخص كل من الازاحة والسرعة والتعجيل والطاقة الممتصة. تبين الاشكال (7) الى (8) علاقة كل من الازاحة والسرعة والتعجيل مع الزمن تحت كرسي السائق، حيث اخذت بيانات السائق ومقعده من الجدول (1)، وتظهر النتائج سعة اهتزاز قليلة مع زمن استقرار حوالي 1.5 ثانية، وهذا يبين ان سائق المركبة في موضع مريح. وتبين الاشكال (10) الى (12) علاقة الازاحة والسرعة والتعجيل مع الزمن لمواقع مختلفة لكرسي السائق، حيث اننا قمنا بأخذ مواقع مختلفة لكرسي السائق من مركز المركبة وعلى طول المحور (X). وتظهر النتائج انه كلما كان موقع كرسي السائق قريب من مركز المركبة كانت سعة الاهتزاز اقل. هنالك طريقتين وكما اسلفنا لربط كرسي السائق مع بدن المركبة وهي الاتصال الصلب و الاتصال المرن حيث يبين الشكل (13) ان الازاحة العمودية تحت كرسي السائق اقل في



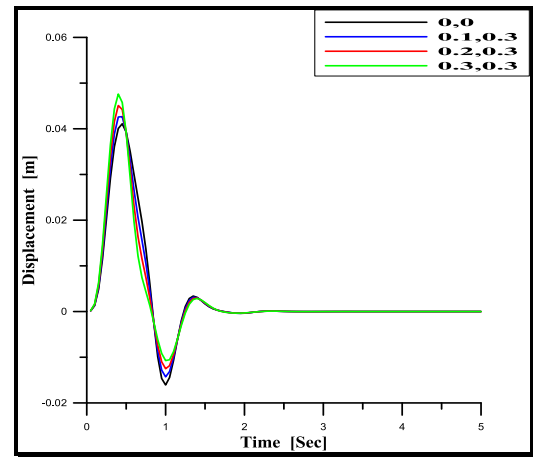
الشكل (12) علاقة التعجيل مع الزمن تحت كرسي السائق ولمواقع مختلفة لكرسي السائق



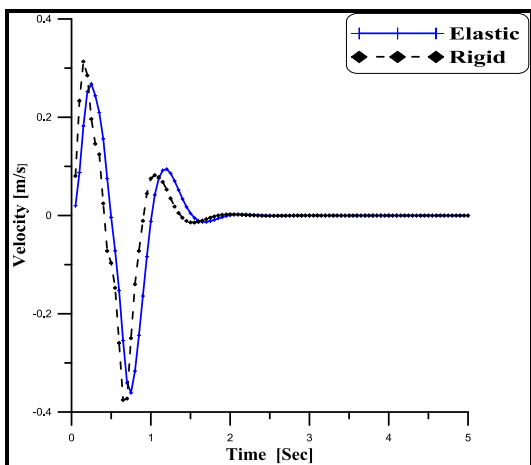
الشكل (9) علاقة التعجيل مع الزمن تحت كرسي السائق (سرعة المركبة 60 كم/ساعة)



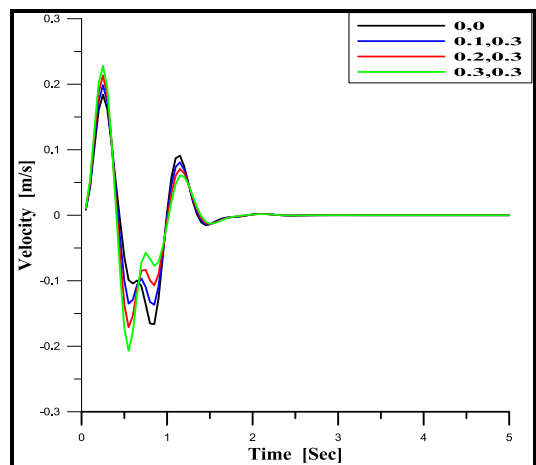
الشكل (13) علاقة الإزاحة مع الزمن في حالة المقعد المرن و الصلب عندما يكون في مركز ثقل المركبة



الشكل (10) علاقة الإزاحة مع الزمن تحت كرسي السائق ولمواقع مختلفة لكرسي السائق

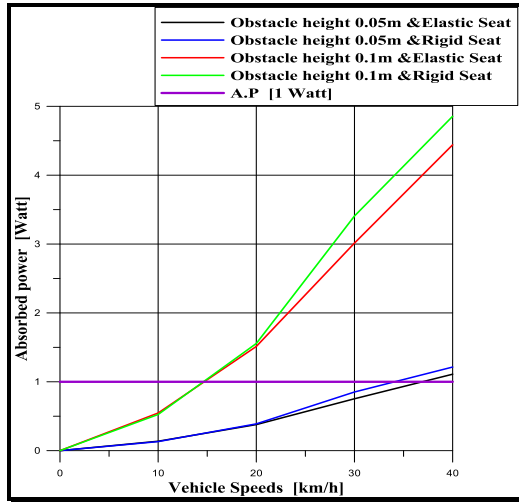


الشكل (14) علاقة السرعة مع الزمن في حالة المقعد المرن و الصلب عندما يكون في مركز ثقل المركبة

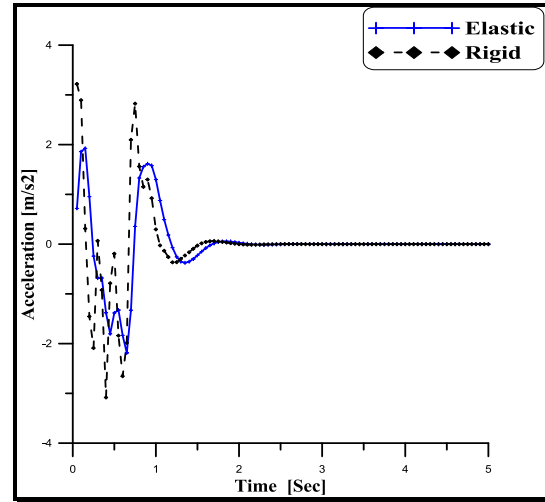


الشكل (11) علاقة السرعة مع الزمن تحت كرسي السائق ولمواقع مختلفة لكرسي السائق





الشكل (17) علاقة الطاقة الممتصة مع سرعة المركبة المختلفة



الشكل (15) علاقة التعجيل مع الزمن في حالة المقعد المرن و الصلب عندما يكون في مركز ثقل المركبة

#### الاستنتاجات

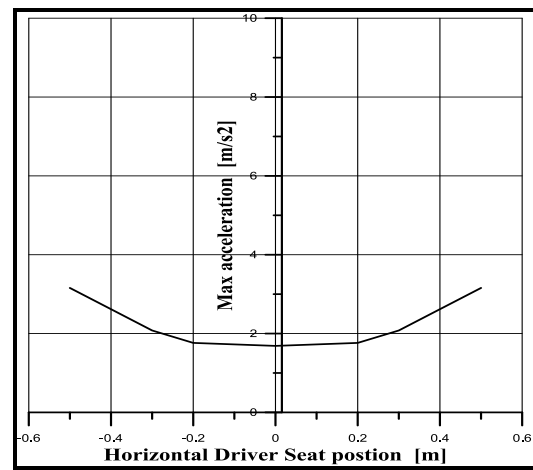
تم في هذا البحث الوصول إلى عدد من الاستنتاجات، وهي:

- 1 - النموذج ثنائي البعد خطي يمكن الاعتماد عليه في تخمين الاستجابات وإجراء التحليل لما يتميز به من سهولة ودقة في النتائج.
- 2- طريقة تشكيل المعادلات الحاكمة باستخدام طريقة العناصر المحدودة أعطت مرونة في العمل بحيث يتمكن من إجراء المحاكاة والتحليل لربع مركبة أيضا أو زيادة عدد المحاور.
- 3- النتائج التي تم الحصول عليها وبعد مقارنتها مع الدراسات والبحوث المنشورة أظهرت وجود تقارب مقبول مع تلك البحوث.
- 4- إمكانية تحديد السرعة القصوى للمركبة بجعل سرعة المركبة دالة لراحة السائق/المسافر في ظروف عمل من بيانات وقوى إثارة خارجية معروفة بالاعتماد على معيار (معدل الطاقة الممتصة) أو معامل الراحة .
- 5- البرنامج الذي تم بناءه لحل النموذج ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن اعتماده للاستخدام من قبل الباحثين والمهندسين للدراسة والتحليل في هذا المجال.

#### التوصيات

بهدف الوصول إلى كفاءة أعلى لراحة السائق، نوصي بما يلي:

- 1- استخدام موديل لا خطي (Nonlinear model).
- 2- اعتماد الاثارة العشوائية (Random excitation) لدرسه وتحليل نماذج لا خطية
- 3- اخذ مرونة بدن المركبة (Flexible vehicle body) بنظر الاعتبار.
- 4- استخدام موديل لعربة كاملة اي ثلاثي البعد (3-D).
- 5- اجراء دراسة عملية ومقارنتها مع النتائج التي تم الحصول عليها من حل النموذج الثنائي لغرض دعمها.



الشكل (16) علاقة أقصى تعجيل مع مواقع مختلفة لكرسي السائق و لمركز ثقل الكتلة المعلقة

#### الطاقة الممتصة وعلاقتها في تحديد سرعة المركبة

لقد حددت كمية الطاقة الممتصة للشخص الطبيعي المستخدم للمركبات بالاعتماد على تجارب عملية وكانت بتحديد أعلى طاقة ممتصة (6watt) للمركبات العسكرية، و(1watt) لمركبات الخدمة المدنية الصغيرة [8] وعليه تم بيان ذلك في الشكل (17) لتحديد السرعة القصوى للمركبة، وكما هو واضح فإن سرعة المركبة في حالتين المقعد الصلب والمرن لموجة نصف جيبية وبسعة (0.1m) وبطول (4.5m) كانت (15km/h)، اما في حالة موجة نصف جيبية وبسعة (0.05m) فإن سرعة المركبة القصوى ازدادت واصبحت في حالة المقعد المرن (38km/h) و الصلب (34 km/h).



International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 2, No. 2, April 2012.

5- Newell R. Murphy, Jr. and Fali H. Ahmad, "Comparison of Measures of Vibration Affecting Occupants of Military Vehicles" Technical Report GL-86-18 December, 1986.

6- Ahmad Faheem, August, "Study of Dynamic Modeling and Stability of Passenger Cars", RMIT University, 2006.

7-LEE, R. A. Prako, F. Kaluza, V., "Theory of Human Vibration Response ASME", paper 66-WA/BHF-15, 1966.

8- Kiran Antony, "Analysis of Passive Suspension System using MATLAB, Simulink and Sim Scape", Jan 2008.

#### المصادر

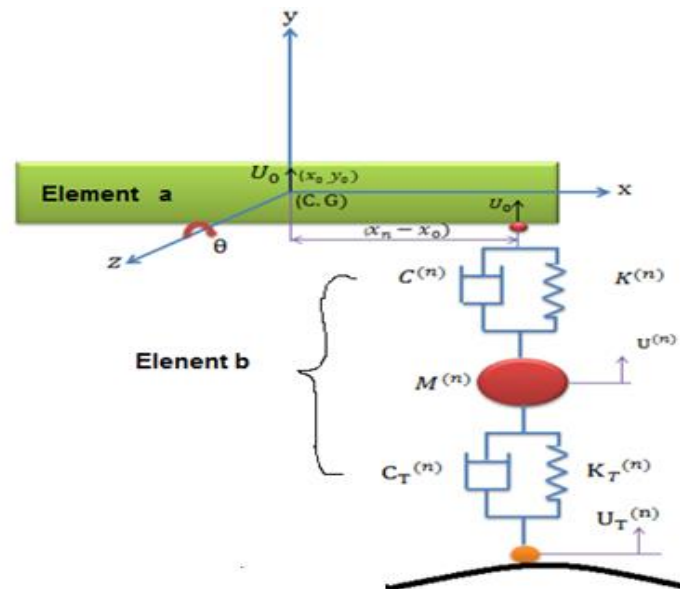
1- المهندس طلال رؤوف الشيباني 1981 "دراسة تأثير خواص الاطارات على سعة التعجيل العامودي لجسم المركبة " قسم هندسة المكنائن والمعدات الجامعة التكنولوجية- بغداد اطروحة ماجستير.

2- From Wikipedia, the free encyclopedia "Suspension (Vehicle)", This page was last modified on 5 May 2012. University of Technology, Sydney P.O.Box 123, Broadway , Australia, 2007.

3-Zeynep Erdogan, "Development of a Control Strategy for Road Vehicles with Semi-active Suspensions using a Full Vehicle Ride Model", 2009.

4- Li Xueying, Yu Zhuoping, and Xiong Lu, "The Study on Accurate Modeling of Suspension Based on ADAMS",

#### الملحق 1



$$= \sum_{n=0}^n [c^{(n)} (U_0'^{(n)} - U'^{(n)}) + k^{(n)} (U_0^{(n)} - U^{(n)})] + M_b U''_0$$

عندما

$n = \text{the number of element.}$

$$F_y^{(n)} = c^{(n)} [U_0'^{(n)} - U'^{(n)}] + k^{(n)} [U_0^{(n)} - U^{(n)}] \dots \dots \dots (1-1)$$

معادلات الحركة للنظام التعليق نستطيع تلخيصها على النحو التالي:

#### المعادلة الاولى (First equation)

هذه المعادلة الحركية تمثل الهيكل في الاتجاه  $(y)$ .

مجموع القوة مؤثر في الهيكل الاتجاه  $y$ :

$$(F_y)_0 = \sum (F_y)_{\text{hull}}$$

$$k_T^{(n)} [U^{(n)} - U_T^{(n)}] \dots\dots\dots(4-1)$$

وعنده تعويض معادلة (4) و (5) في معادلة (4-1). وإعادة تنظيم المعادلة :

$$\begin{aligned} F_y &= m^{(n)} U''^{(n)} + [c^{(n)} + c_T^{(n)}] U'^{(n)} \\ &- c^{(n)} [U'_0 + (x_n - x_0) \theta'_0] \\ &- c_T^{(n)} U_T^{(n)} + [k^{(n)} + k_T^{(n)}] U^{(n)} \\ &- k^{(n)} [U_0 + (x_n - x_0) \theta_0] - k_T^{(n)} U_T^{(n)} \\ &\dots\dots\dots(5-1) \end{aligned}$$

#### المعادلة الرابعة (Fourth equation)

هذه المعادلة مبنية على اساس التوازن نقطة اتصال عجلة الطريق بالأرض، والقوة المؤثرة على نقطة الاتصال هي:

$$(R_y)_n = c_T^{(n)} [U'_T^{(n)} - U'^{(n)}] + k_T^{(n)} [U_T^{(n)} - U^{(n)}] \dots\dots\dots(6-1)$$

إذاً مجموع معادلات الهيكل و انظمة التعليق نستطيع تمثيلها على شكل المصفوفة التالي:

$$\begin{bmatrix} (F_y)_0 \\ M_z \\ (F_y)_1 \\ (R_y)_1 \\ (F_y)_2 \\ (R_y)_2 \\ \dots \end{bmatrix} = M U'' + C U' + K U$$

عندما

$$U = \{U_0, \theta_0, U^{(1)}, U_T^{(1)}, U^{(2)}, U_T^{(2)}, \dots\dots\dots\}$$

ويعد تعويض قيمة  $(U_0, U'_0)$  في معادلة (23) نستنتج ان القوى بتجاه (y)

$$\begin{aligned} F_y^{(n)} &= c^{(n)} \left[ \begin{aligned} &U'_0^{(n)} - U'_0 + \\ &(x - x_0) \theta'_0 - U'^{(n)} \end{aligned} \right] + \\ &k^{(n)} \left[ \begin{aligned} &U_0^{(n)} \\ &-U_0 + (x - x_0) \theta_0 - U^{(n)} \end{aligned} \right] \dots\dots(2-1) \end{aligned}$$

وقوة الهيكل هو:

$$F_y^{(0)} = M U''_0$$

#### المعادلة الثانية (Second equation)

تمثل هذه المعادلة معادلة الحركية الزاوية التي لها علاقة بالاتجاه (z). حيث ان مجموع العزوم المؤثرة في البدن باتجاه (z) يمكن حسابها بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} M_z &= \sum (M_z)_{hull} \\ &= \sum_{n=0}^n [c^{(n)} (U'_0^{(n)} - U'^{(n)}) + \\ &k^{(n)} (U_0^{(n)} - U^{(n)})] + M_b U''_0 \end{aligned}$$

عندما

$$M_x^{(0)} = I_x \theta''_0$$

\*بعد تعويض قيم كل من الازاحة و السرعة

$$\begin{aligned} M_x^{(n)} &= c^{(n)} (x_n - x_0) [U'_0 + (x_n - x_0) \theta'_0 - U'^{(n)}] \\ &+ k^{(n)} (x_n - x_0) [U_0 + (x_n - x_0) \theta_0 - U^{(n)}] \\ &\dots\dots\dots(3-1) \end{aligned}$$

#### المعادلة الثالثة (Third equation)

تمثل هذه المعادلة معادلة الحركة عجلة الطريق في الاتجاه. والقوة المؤثرة في عجلة الطريق هو :

$$\begin{aligned} F_y &= \sum (F_y) \\ &= m^{(n)} U''^{(n)} + c^{(n)} [U'^{(n)} - U'_0^{(n)}] + \\ &k^{(n)} [U^{(n)} - U_0^{(n)}] + c_T^{(n)} [U'^{(n)} - U'_T^{(n)}] + \end{aligned}$$