

**TJES**

ISSN: 1813-162X

مجلة تكريت للعلوم الهندسية

متاحة على الموقع الإلكتروني: <http://www.tj-es.com>

## دراسة تأثير خشونة سطح الطريق المغمور بالماء على السرعة الحرجة للمركبة

علي خالد محمد علي<sup>1</sup> ، إبراهيم علي محسن<sup>2</sup> ، عمر خليل الجبوري<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> قسم الهندسة الميكانيكية ، جامعة تكريت ، صلاح الدين ، العراق.

E-mail: [eng\\_ali\\_1977@yahoo.com](mailto:eng_ali_1977@yahoo.com)

<sup>2</sup> قسم الهندسة الميكانيكية ، جامعة تكريت ، صلاح الدين ، العراق.  
<sup>3</sup> وحدة بحوث الطاقات المتجددة ، المعهد التقني ، الحويجة ، كركوك ، العراق.

E-mail: [omerkalil@yahoo.com](mailto:omerkalil@yahoo.com)

(Received 15 January 2014, Accepted 16 April 2014, Available online 30 June 2017)

### الخلاصة

تعد ظاهرة الانزلاق المائي من أخطر الظواهر المؤثرة في سلامة وأمان قيادة المركبات على الطرق المبللة أو المغمورة بالماء، وتعد السرعة الحرجة لانزلاق المركبات عامل مهم في الانزلاق المائي، والتي تعتمد بدورها على خصائص ومواصفات العناصر الثلاثة التالية: إطارات المركبة والماء المغطي لسطح الطريق وسطح الطريق. وتعد خشونة سطح الطريق من أهم الخصائص المؤثرة في مواصفات سطح الطريق، والتي تؤثر بدورها بصورة مباشرة على السرعة الحرجة للمركبة.

تم في هذا البحث دراسة خواص خشونة وملمس سطح الطريق وتأثيرها على السرعة الحرجة للمركبات بتغيير كل من السمك واللزوجة الديناميكية لطبقة الماء المغطي لسطح الطريق وكذلك حمل المركبة. بينت النتائج أن لزيادة كل من خشونة سطح الطريق وحمل المركبة تأثير إيجابي على السرعة الحرجة للمركبة (تزيدها)، في حين أن زيادة كل من السمك واللزوجة الديناميكية لطبقة الماء تأثير سلبي على السرعة الحرجة للمركبة (تخفضها).

الكلمات الدالة: خشونة، سطح الطريق، مغمور بالماء، الانزلاق المائي، السرعة الحرجة، مركبة، إطارات، ملمس.

## Studying the Effect of Roughness of wet Road on Critical speed of Vehicle

### Abstract

Hydroplaning is one the most dangerous phenomena which effect on the safety of driving cars on wet roads, then, the critical speed of slipping cars is an important parameter in the hydroplaning ,and depends on the properties of the following three parameters: tires, water layer and road surface. The road texture is the main property of road specifications which affect directly on the critical speed of the vehicle.

In the present work, the properties of road roughness and influence of surface texture on critical speed of vehicle are studied with variation of the following parameters: thickness and dynamic viscosity of water on the road surface and the vehicle load. The results showed that increasing the road surface roughness and the vehicle load both has a appositve influence on the critical speed (increase)of the vehicle, while increasing the dynamic viscosity and thickness of the water layer on the road surface has a negative influence on the critical speed (decrease) of the vehicle.

**Keyword:** Roughness, Road Surface, Hydroplaning, Critical Speed, Vehicle, Tire, Texture.

الرموز المستخدمة					
Pas.Sec.	اللزوجة الديناميكية للماء	$\mu$	—	نسبة الشكل	AR%
Radian	نصف الزاوية المركزية لجزء الإطار المغمور بالماء	$\alpha$	Km/hr	السرعة الحرجة للمركبة	C.S.
Radian	الزاوية المحيطة لكل نقطة على سطح الإطار	$\theta$	m	سمك شريحة الماء على سطح الإطار	h
m	طول العنصر في الاتجاه المحيطي (x)	$\Delta x$	m	أكبر سمك لشريحة الماء بين سطح الإطار وسطح الطريق	$h_{max}$
m	طول العنصر في الاتجاه المحوري (Z)	$\Delta Z$	m	أقل سمك لشريحة الماء بين سطح الإطار وسطح الطريق	$h_{min}$
----	الخاصية النوعية لشريحة المائع	$\Lambda$	—	عداد الشبكة في الاتجاهين المحيطي والمحوري على التوالي	i,j
----	معامل انضغاطية المائع	$\beta$		عرض الإطار	L
m	مقدار انضغاط الهواء	$\delta a$	m	سمك الإطار	$L_o$
m	مقدار تشوه مطاط الإطار	$\delta r$	Pas.	ضغط الماء المحصور بين الإطار والطريق عند أي نقطة	P
m	مقدار التشوه الكلي للإطار	$\delta h$	m	نصف قطر الإطار	R
			m	سمك طبقة الماء على سطح الطريق	T
			sec	الزمن	t
			m/sec	سرعة المركبة	U
			m/sec	السرعة الخطية لأي نقطة على السطح الخارجي للإطار	U1
			m/sec	سرعة الإزاحة الخطية الأفقية لمركز الإطار	U2
			N	حمل العجلة	W.L.
			m	الإزاحة المحيطة على سطح الإطار الخارجي	X
			m	الإزاحة المحورية على سطح الإطار الخارجي	Z
			MPa.	معامل المرونة لمطاط الإطار	E
			mm	معدل الخشونة	Rq
			mm	خشونة سطح الطريق	Rfr
			mm	خشونة سطح الإطار	Rft
			m <sup>2</sup>	مساحة العنصر على العجلة الحديدية	$a_w$
			m <sup>3</sup>	حجم الهرم الناقص للهواء قبل وبعد الانضغاط	V <sub>1</sub> ,V <sub>2</sub>
			m	ارتفاع الهرم الناقص قبل وبعد الانضغاط	H <sub>1</sub> ,H <sub>2</sub>
			Pas.	ضغط الإطار قبل وبعد التشوه	P <sub>1</sub> ,P <sub>2</sub>

**المقدمة**

يعتبر الإطار جزء مهم جدا في المركبات حيث يمثل عنصر الارتباط مع سطح الطريق، وعبره تنقل كل القوى المؤثرة على كل من المركبة والطريق. حيث أن هذه القوى تسبب التشوهات في الإطار مما يؤدي الى تلفه واستهلاكه مع مرور الوقت نتيجة استمرار أو تكرار هذه القوى والظروف المحيطة به. بالإضافة الى شكل الإطار ومواصفات خليط مطاطه، فإن طوبوغرافية سطح الطريق تحدد طبيعة القوى الفاعلة والتي تؤثر في تمسك والتصاق الإطار بالطريق والتي بدورها تحدد شكل منطقة التلامس بين سطحي الطريق والإطار [1].

تعد مقاومة الانزلاق في الطرق أحد أهم معايير جودة أداء الطرق والتي بدورها تتأثر بعوامل عديدة يأتي على رأسها سرعة سير المركبة وطبيعة التوافق بين الإطار وسطح الطريق حيث أن انزلاق المركبات على الطرق يعتبر من أهم الظواهر المؤثرة على السلامة المرورية.

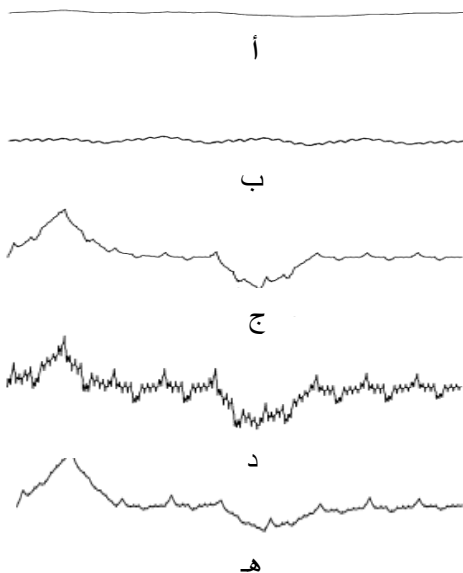
إن ما يقاوم انزلاق الإطار على سطح الطريق هو مقاومة طبقاته السطحية للقص نتيجة تأثير ديناميكية قوى الاحتكاك والتماسك بين الإطار وسطح الطريق [2].

يتناول هذا البحث دراسة مدى تأثير درجة خشونة سطح الطريق على السرعة الحرجة للمركبات وذلك في أثناء السير على الطرق المبللة وتأثير بعض مواصفات الإطار. من هذه المواصفات: حمل العجلة وسمك ولزوجة طبقة الماء على الطريق.

إن العوامل المذكورة أعلاه تعمل سوية وليس بمعزل أي منها عن الآخر، فمعامل الاحتكاك، مثلا، يقل إلى النصف تقريبا إذا ابتل سطح الطريق ويقل بمقدار 0.001 لكل كيلومتر زيادة في السرعة. (حسب أسس أشتو للتصميم الهندسي للطرق البرية) [3 ، 4].

0.05 ملليمتر، وقياس الطول الموجي الأساسي 4 مرات أكبر من حجم عدم انتظام السطح [8].

5- سطح قياسي ( Typical ) ويكون معدل الملمس المرئي (Macrotexture) لسطح الطريق 0.7 ملليمتر، بينما الملمس المجهرى (Microtexture) لسطح الحصى وحبيبات الرمل 0.03 ملليمتر، وقياس الطول الموجي الأساسي 7 مرات أكبر من عدم انتظام السطح [8].



شكل (1) أنواع أسطح الطرق حسب خشونتتها

#### ظاهرة الانزلاق المائي في الإطارات

تحدث ظاهرة الانزلاق المائي في الإطارات (Hydroplaning) نتيجة وجود الماء على سطح الطريق أثناء سير المركبات عليه والسير بسرعة عالية حيث ينجم عن ذلك ارتفاع ضغط طبقة الماء الموجود بين سطح الطريق والإطار مسبباً رفع الإطار وطوفان المركبة.

تمثل السرعة الحرجة سرعة المركبة في ظاهرة الانزلاق المائي والتي يتم فقدان السيطرة على قيادة المركبة بصورة تامة وتندعم قابلية التوقف بصورة دراماتيكية .

إن إبعاد الماء عن سطح التلامس بين الإطار والطريق يتم على مرحلتين، هما:

1- إبعاد الكمية الأكبر من الماء نتيجة ملاسة الإطار لوجه الشارع عن طريق انسياب هايدروديناميكي (خاصّ بحركة الماء) وتحدد كمية الماء المتسرب بميل قنوات تسرب الماء المتأثرة بخشونة وجه الشارع الكبيرة وبشكل الإطار (عدد الشقوق وحجمها).

2- طرد ما تبقى من الماء عن سطح الطريق والذي لا يزال يفصل الإطار عن سطح الطريق، وهي عملية كسر وضغط أكثر من كونها عملية إبعاد. وهي، أيضاً، متعلقة بمواصفات الإطار .

#### خواص سطح الطريق

من أهم خواص سطح الطريق والتي لها علاقة مباشرة بسلامة القيادة للأمانة للمركبة هي الملمس أو القوام (Surface Texture) والاسواء (Evenness) ، وسوف يتم التركيز على الملمس لعلاقته المباشرة بقابلية الطريق على مقاومة الانزلاق. يصنف القوام أو ملمس الطريق المبلل أو الرطب الى نوعين رئيسيين، هما:

1- الملمس المجهرى (Microtexture) هذا الملمس أو القوام يمثل التغيرات في طبيعة السطح ضمن مسافات صغيرة جداً تقل عن نصف ملليمتر، ويعتبر مقياساً لملمس أسطح حبيبات الحجارة والرمل المستعملة في الخلطات الإسفلتية والخرسانية. هذه الخاصية هي التي تعطي السطح الملمس الخشن وتحدد معامل الاحتكاك. وعمق هذه التعرجات قليل جداً تصعب رؤيته بالعين المجردة ويتراوح بين (0.01 - 0.5) ملليمتر.

2- الملمس المرئى (Macrotexture) وهذا يشير إلى التغيرات في طبيعة السطح ضمن مسافات تتراوح بين (0.5 - 50) ملليمتر وتمثل النتوءات والنقور الناتجة عن تشكل حبيبات الحجارة وتكتلات الرمل والإسفلت. هذا النوع من الملمس يتحكم في سرعة تصريف المياه بين الإطار و سطح الطريق ويحدد تأثير السرعة على مقاومة الانزلاق.

ويتراوح عادةً ملمس وعمق النقور في الطرق من (0.3 - 5) ملليمتر. وعندما يكون ملمس الطريق خارج هذا الحد فإن الطريق يعتبر فاشلاً وظيفياً حسب المواصفات المعتمدة [5,6,7].

يتم تقسيم أسطح الطرق المبللة أو الرطبة الى أنواع مختلفة حسب خصائص خشونة السطح كما موضحة في الشكل (1) الى الأنواع التالية :

1- سطح مستوي وصقيل ( Smooth and polished)

ويكون معدل الملمس المرئى (Macrotexture) لسطح الطريق (0.3-1) ملليمتر، بينما معدل الملمس المجهرى (Microtexture) لسطح الحصى وحبيبات الرمل 0.02 ملليمتر، وقياس الطول الموجي الأساسي 10 مرات أكبر من حجم عدم انتظام السطح [8].

2- سطح مستوي ومتعرج (Smooth and harsh) ويكون معدل الملمس المرئى (Macrotexture) لسطح الطريق (0.3-1) ملليمتر، بينما الملمس المجهرى (Microtexture) لسطح الحصى وحبيبات الرمل يزيد عن 0.05 ملليمتر، وقياس الطول الموجي الأساسي 7 مرات أكبر من حجم عدم انتظام السطح [8].

3- سطح خشن وصقيل (Rough and polished) ويكون معدل الملمس المرئى (Macrotexture) لسطح الطريق يزيد عن 1 ملليمتر، بينما الملمس المجهرى (Microtexture) لسطح الحصى وحبيبات الرمل 0.02 ملليمتر، وقياس الطول الموجي الأساسي 7 مرات أكبر من حجم عدم انتظام السطح [8].

4- سطح خشن ومتعرج (Rough and harsh) ويكون معدل الملمس المرئى (Macrotexture) لسطح الطريق يزيد عن 1 ملليمتر، بينما الملمس المجهرى (Microtexture) لسطح الحصى وحبيبات الرمل

من المثلث (o c d) :

$$\cos(\alpha) = \frac{R + h_{min} - T}{R} \quad \dots (1)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{R + h_{min} - T}{R}\right) \quad \dots (2)$$

من المثلث (o a b) :

$$\cos\left(\alpha - \frac{X}{R}\right) = \frac{R + h_{min}}{R - \delta h + h_f} \quad \dots (3)$$

حيث  $\frac{X}{R} = \theta$  ... وحدود قيمتها تبدأ من الصفر عند الموضع ( $h_{max}$ ) عند أقصى ارتفاع لطبقة الماء ( $T$ )، وتصل الى أن تساوي الزاوية ( $\alpha$ ) عند الموضع ( $h_{min}$ ).

$$R + h = \frac{R + h_{min}}{\cos\left(\alpha - \frac{X}{R}\right)} \quad \dots (4)$$

لكن

$$h = h_f - \delta h \quad \text{و} \quad h_f = h + \delta h$$

لذا فإن

$$R - \delta h + h_f = \frac{R + h_{min}}{\cos\left(\alpha - \frac{X}{R}\right)} \quad \dots (5)$$

$$h_f = \frac{R + h_{min}}{\cos\left(\alpha - \frac{X}{R}\right)} - R + \delta h \quad \dots (6)$$

حيث تمثل ( $h_{min}$ ) أقل سمك لشريحة الماء بين الإطار والطريق ويتم احتسابها من المعادلة التالية [10]:

$$h_{min} = \Lambda x ((Rqt)^2 + (Rqr)^2)^{1/2}$$

$$\Lambda = 6 \mu U / \beta \quad , \quad \beta = \theta * (\partial P / (\partial \theta))$$

وحيث أن  $\Lambda$  تمثل الخاصية النوعية لشريحة المانع و  $Rq$  تمثل معدل الخشونة والذي يتم أيجاده بالمعادلة التالية والتي تعتمد على خشونة سطح الإطار و ( $RFr$ ) خشونة سطح الطريق وكما يلي [10]:

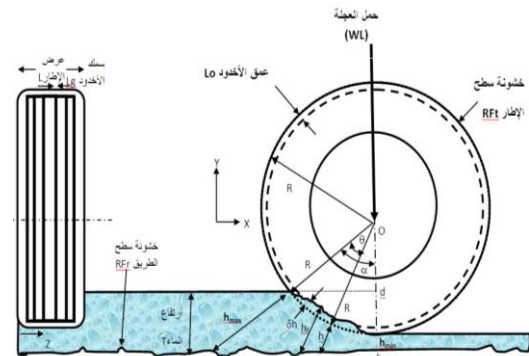
$$1.4 \times Rqt = RFr \quad \text{و} \quad RFr \times 1.4 = Rqr$$

وتمثل ( $\delta h$ ) مقدار التشوه الحاصل بالإطار والذي يشتمل على جزأين، ( $\delta r$ ) تشوه المطاط و ( $\delta a$ ) انضغاط عمود الهواء داخل الإطار وكما يلي:

إن مرحلتَي إبعاد الماء عن سطح الطريق متعلقتان بالوقت، فكأما سارت المركبة بسرعة أكبر قلَّ حجم الماء الذي يتم إبعاده، وذلك لأن وقت التلامس بين الإطار وبين سطح الطريق قليل. في حين أن سير المركبة بسرعة قليلة يعطي وقت أكبر للتلامس بين الإطار و سطح الطريق، هذا سوف يؤدي الى طرد كل الماء تقريباً من سطح الطريق لذا يصبح الاحتكاك بين السطحين الرطبين (الإطار والطريق) يقترب من الاحتكاك الحاصل بين سطحين جافين [9,6].

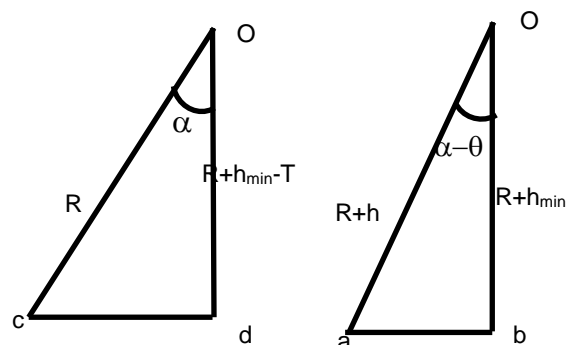
### اشتقاق معادلة سمك شريحة الماء بين سطح الطريق والإطار (h)

يوضح الشكل رقم (2) النموذج الرياضي لسطح الإطار الملامس لطبقة الماء في أثناء الحركة إذ تمثل ( $h$ ) سمك شريحة الماء حول الإطار بالاتجاه العمودي (الشعاعي) على الإطار (دون الاخذ بنظر الاعتبار تشوه الإطار)، وتمثل ( $h_f$ ) سمك شريحة الماء حول الإطار بالاتجاه العمودي (الشعاعي) على الإطار (بوجود تشوه الإطار)، و ( $R$ ) نصف قطر الإطار، أما ( $\delta h$ ) فتمثل مقدار التشوه الحاصل بالإطار بعد تأثير ضغط الماء عليه، في حين أن سمك طبقة الماء التي تغطي سطح الطريق يكون مقدارها ( $T$ )، وتمثل ( $Rft$ ) خشونة سطح الإطار بينما تمثل ( $Rfr$ ) خشونة الطريق.



شكل (2) النموذج الرياضي لتماس الإطار مع سطح الطريق [تصميم الباحث]

من الشكل (2) نحصل على :



(Transient State)، ويفرض أن الحمل المسلط

على الإطار ثابت، لذلك يتم أهمل تأثير عملية العصر  $\frac{\partial h_f}{\partial t}$  من معادلة رينولدز.

2- الإطار يتحرك بحركة دورانية وخطية في الوقت نفسه وبدون انزلاق.

3- الماء الذي يغطي سطح الطريق هو مائع غير انضغاطي (incompressible fluid).

4- اللزوجة الديناميكية للماء ( $\mu$ ) ذات قيمة ثابتة لكل النقاط (Iso-viscous fluid) أي بتعبير آخر أن درجة حرارة الماء ثابتة (Isothermal) في كل نقاط التماس بين الإطار والطريق.

5- نفرض تغير سمك شريحة الماء باتجاه ( $Z$ ) ثابت لا يتغير  $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$

لذا فإنه وفق الفرضيات أعلاه يتم تبسيط المعادلة (13) لنحصل على:

$$\left( h^3 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \right) + \left( 3h^2 \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \left( h^3 \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right) + \left( 3h^2 \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 12U\mu \frac{\partial h}{\partial x} \dots (15)$$

$$\text{لكن } \frac{\partial h}{\partial z} = 0$$

لذا فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{3}{h} \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{12U\mu}{h^3} \frac{\partial h}{\partial x} \dots (16)$$

#### النتائج والمناقشة

بعد وضع النموذج الرياضي لمعادلة رينولدز (16) وحلها باستخدام تقنية الفروقات المحددة ذات الخمس عقد لإيجاد المشتقة الأولى والثانية لمعادلة سمك شريحة الماء وبعد حل معادلة رينولدز عددياً نحصل على المعادلة رقم (17)(15).

$$\frac{1}{(\Delta X)^2} (P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j}) + \frac{3}{2h * \Delta X} \frac{\partial h_f}{\partial X} (P_{i+1,j} - P_{i-1,j}) + \frac{1}{(\Delta Z)^2} (P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}) = \frac{12\mu U}{h^3} \frac{\partial h_f}{\partial X} \dots (17)$$

بعد ذلك يتم تبسيط المعادلة (17) لتصبح بالصيغة التالية

$$P_{i,j} = B_5 P_{i+1,j} + B_6 P_{i-1,j} + B_7 P_{i,j+1} + B_8 P_{i,j-1} - B_8 \dots (18)$$

وبالطريقة نفسها يتم احتساب المشتقة الأولى والثانية عددياً للضغط، محيطياً ومحورياً، في منطقة الأضلاع

$$\delta h = \delta r + \delta a \dots (7)$$

يتم احتساب مقدار التشوه في المطاط ( $\delta r$ ) باستخدام المعادلة التالية [11]:  
[التفاصيل في الملحق A]

$$\delta r = P(i,j) * \frac{L_0}{E} \dots (8)$$

حيث أن قيمة معامل المرونة لمطاط الإطار [12]. ( $E=11\text{Mpa}$ ).  
بينما يتم احتساب ( $\delta a$ ) وفق المعادلة التالية [13]:

$$\delta a = R - LO - R_w - \frac{3V_2}{a+a_w+\sqrt{a*a_w}} \dots (9)$$

#### حل معادلة (رينولدز)

عند معرفة السرعة النسبية بين الاسطح (الإطار والطريق) وابعاد الاطار ولزوجة ومواصفات شريحة الماء المحصور بينهما وخشونة سطحي الإطار والطريق يمكننا أن نحسب أقل ارتفاع لشريحة الماء المحصور بين الإطار والطريق ( $h_{min}$ )، وبعد ذلك نحسب الضغط الهيدروديناميكي المتولد نتيجة وجود الماء بينهما وذلك باستخدام معادلة رينولدز [14].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_1 + U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} \dots (10)$$

حيث

$$U_1 = U = 2\pi RN \dots (11)$$

$$U_2 = U = 2\pi RN \dots (12)$$

كذلك

بما ان  $U_1=U_2$  تصبح المعادلة (13) كالآتي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 12U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} \dots (13)$$

لفرض الحصول على المشتقة الأولى لسمك شريحة الماء ( $h$ ) بالنسبة إلى ( $x$ ) أي  $\left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)$  والتي تمثل اقتراب شريحة الماء المحيط بالإطار باتجاه ( $x$ ) يتم ذلك عددياً بطريقة الفروقات المحددة:

$$\left( \frac{\partial h_f}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{h_{f(i+1,j)} - h_{f(i-1,j)}}{2\Delta X} \dots (14)$$

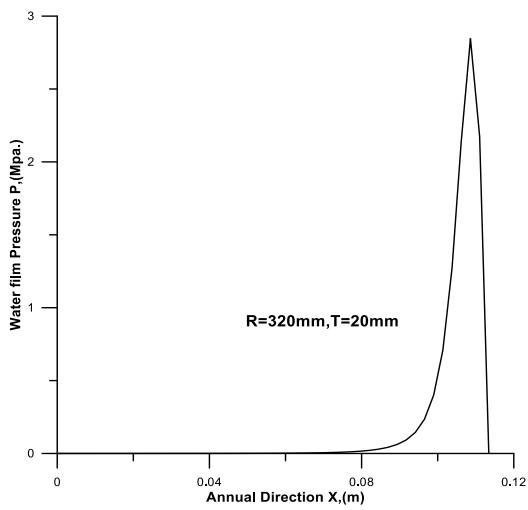
تم استخدام عدد من الفرضيات لحل معادلة رينولدز، هي كالتالي:

1- المركبة مع محيطها في وضع الاستقرار (Steady State)، وقد تجاوزت المرحلة الانتقالية

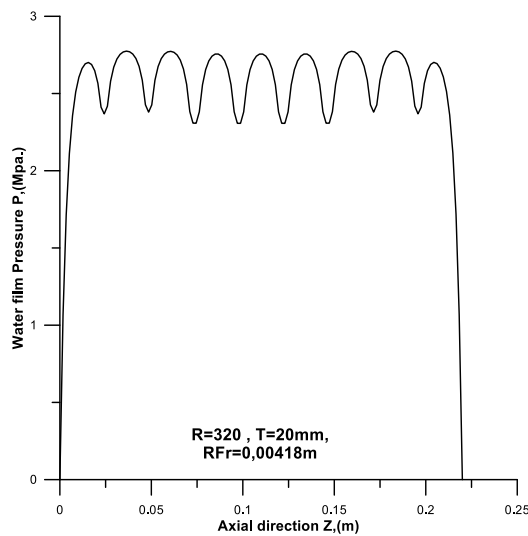
### ضغط شريحة الماء (P)

يبين الشكل رقم (4) طبيعة توزيع ضغط الماء المحصور بين الإطار والطريق بالاتجاه المحيطي للإطار (X) عند منتصف عرض الإطار لخشونة طريق مقدارها 3.5 ملم، ويلاحظ من هذا الشكل أن قيمة الضغط الأقصى هي 2.8456 ميكاباسكال بينما القيمة القصوى للضغط هي 3.0956 ميكاباسكال في نتائج حمد [16]، وذلك لنفس قياسات الإطار والحمل ومتغيرات الطريق. أن هذا الفارق بين قيمتي الضغط الأقصى لطبقة الماء ناتج عن تأثير درجة خشونة سطحي الإطار والطريق في الدراسة الحالية.

أما الشكل رقم (5) فإنه يوضح طبيعة توزيع ضغط الماء بالاتجاه المحوري (Z) للإطار المزخرف ذو الأخاديد المحيطة لطريق خشونته 3.5 ملم.



شكل (4) توزيع الضغط حول الإطار باتجاه المحور (X) عند منتصف عرض الإطار لخشونة سطح طريق 3.5 ملم

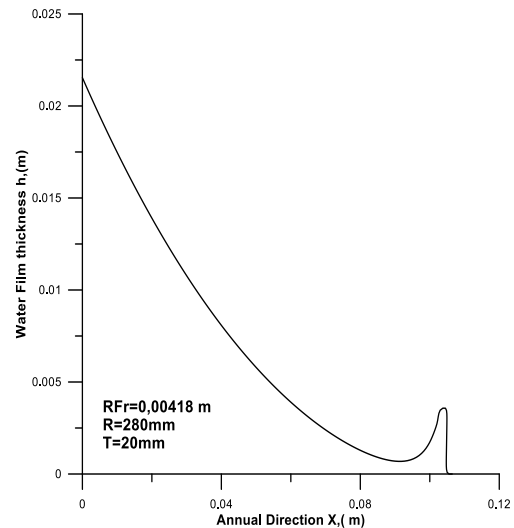


شكل (5) توزيع الضغط محورياً باتجاه المحور (Z) على سطح الإطار المزخرف ذو الأخاديد

ومن ثم يتم تعويضها ضمن معادلة منطقة الأخاديد في معادلة رينولدز، يتم بعد ذلك تعويض الشروط الحدودية لمنطقة تلامس الإطار بالماء بالاتجاه المحوري والمحيطي، وبعدها يتم حل المعادلة باستخدام برنامج حاسوبي (Fortran77) وباستخدام طريقة التكرار (Iteration) نحصل على القيم النهائية لضغط الماء المحصور بين الإطار وسطح الطريق عند كل عقدة في المخطط الشبكي وذلك لكل سرعة من سرع المركبة، بعد ذلك يتم حساب القوة الناتجة من ضغط الماء والتي يتم تحليلها الى مركبتين، إحداهما موازية لسطح الطريق والأخرى عمودية عليه حيث ان مجموع المركبات العمودية على سطح الطريق تعمل على رفعه عن سطح الطريق، وعندما تكون محصلة القوى العمودية (الناتجة من قوة الحمل المسلط على الإطار تساوي قوة ضغط الماء العمودي) صفرأ فان ذلك ينتج عنه عدم تماس الإطار مع سطح الطريق ومن ثم فقدان السيطرة على المركبة وهذا ما يعرف بالسرعة الحرجة للمركبة.

### سمك شريحة الماء (h)

الشكل رقم (3) يبين طبيعة تغير سمك شريحة الماء (h) بين الإطار والطريق محيطياً (على امتداد قوس التلامس بين الإطار والماء) لخشونة سطح الطريق 3.5 ملم. يحكم هذا المنحنى طبيعة الشكل الهندسي للفجوة المحصورة بين الإطار والطريق وتأثير التشوه الحاصل في الإطار عليها (نتيجة ضغط الماء). حيث أن مقدار التشوه يكون أكبر كلما كانت النقطة على سطح الإطار اقرب الى خط تأثير الحمل الخارجي والتي يكون فيها ضغط الماء عالياً. ويعتمد مقدار هذا التشوه على الضغط الداخلي للإطار ومتانة بنية هيكله ومقاسه. ويلاحظ أن مقدار أكبر شريحة  $h_{max}$  للماء المحيطة بالإطار تكون مختلفة من إطار الى آخر اعتماداً على مقدار ارتفاع طبقة الماء (T) الموجود على سطح الطريق.

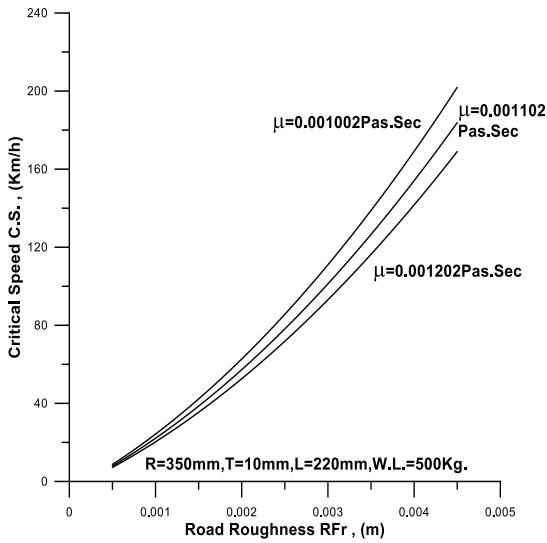


شكل (3) تغير شكل سمك شريحة الماء (h) حول الإطار باتجاه محور (X) لخشونة سطح طريق 3.5 ملم

### اللزوجة الديناميكية لطبقة الماء ( $\mu$ )

يوضح الشكل (7) العلاقة بين السرعة الحرجة للمركبة (C.S) وخشونة سطح الطريق (Rfr) لقيم مختلفة للزوجة الديناميكية للماء الموجود على سطح الطريق والتي تزداد بزيادة نسبة الترسبات الطينية، ويلاحظ من المخطط أن زيادة اللزوجة الديناميكية للماء تسبب انخفاض السرعة الحرجة لانزلاق المركبات على الطرق المبللة وهذا يفسر زيادة خطورة الترسبات الطينية على سطح الطريق. ولمعادلة تأثير زيادة لزوجة الماء فإن زيادة خشونة كل من سطح الطريق وأسطح الإطارات يكون حلاً ناجحاً.

عند مقارنة نتائج هذا البحث لقيمة خشونة مقدارها 3.5 ملم يلاحظ أن نتائج هذا البحث لقيم لزوجة مختلفة ( $\mu$ ) (0.001002, 0.001102, 0.001202) بأسكال ثنائية، كانت السرعة الحرجة لها كالتالي (139, 127, 116.9 كم/ساعة) بينما في بحث (Al-Jiboury) [17] كانت نتائج السرعة الحرجة لنفس اللزوجة الديناميكية للماء هي (95, 103, 112) كم/ساعة) على التوالي. وسبب هذا الاختلاف في النتائج هو أن الباحث لم يأخذ تأثير التشوه الحاصل في الإطار نتيجة ضغط الماء وكذلك تأثير تغيير خشونة سطح الطريق بنظر الاعتبار في حساب السرعة الحرجة للمركبة.



شكل (7) العلاقة بين السرعة الحرجة للمركبة (C.S) وخشونة سطح الطريق (Rfr) لقيم مختلفة للزوجة الماء ( $\mu$ ) على سطح الطريق

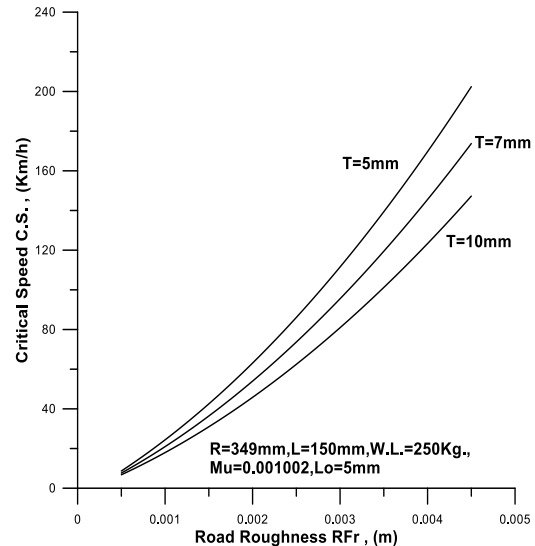
### حمل الإطار (W.L.)

يمثل الشكل (8) العلاقة بين السرعة الحرجة للمركبة (C.S) وخشونة سطح الطريق (Rfr) لقيم مختلفة من حمل الإطار (وهو يمثل ربع حمل العجلة الكلية) وذلك في أثناء السير على طريق مستوٍ مغطى بطبقة من الماء. نلاحظ أن زيادة حمل الإطار (W.L.) له تأثير إيجابي على السرعة الحرجة للمركبة، وذلك لأنه عند زيادة حمل العجلة فإن ضغط الماء المحصور بين الإطار وسطح الطريق يصبح غير كافٍ لرفع الإطار عن

### سمك طبقة الماء على سطح الطريق (T)

يوضح الشكل رقم (6) العلاقة بين السرعة الحرجة (C.S.) للمركبة وخشونة سطح الطريق (Rfr) مع تغير سمك طبقة الماء (T) التي تغطي سطح الطريق أثناء السير على طريق مبلل، إذ نلاحظ بشكل عام إن زيادة سمك طبقة الماء تأثيراً سلبياً كبيراً جداً على مقدار السرعة الحرجة للمركبة وذلك بسبب زيادة مساحة التلامس بين سطح الإطار والماء مما يؤدي إلى تولد ضغوط إضافية في طبقة الماء المحصور بين الإطار وسطح الطريق وفي نفس الوقت تؤدي إلى رفع قيم الضغط إلى قيم أعلى ومن ثم تزداد محصلة مركبات القوى العمودية على سطح الطريق والتي تعمل على رفع الإطار وفصله عن الطريق. كما يلاحظ أنه لأي قيمة من ارتفاع الماء على سطح الطريق فإننا نلاحظ أنه عند زيادة خشونة سطح الطريق فإن مقدار السرعة الحرجة لانزلاق المركبة يزداد أي إنه يكون أكثر أماناً.

عند مقارنة نتائج هذا البحث لسطح طريق درجة خشونته مقدارها 3.5 ملم وسمك شريحة ماء 10 ملم، 7 ملم، 5 ملم على التوالي وإطار بنصف قطر 394 ملم وعرض 150 ملم وسمك 5 ملم، كانت النتائج هي 102 كم/ساعة، 120 كم/ساعة، 140 كم/ساعة، بينما نتائج نمذجة الموديل الرياضي باستخدام طريقة (Computational Fluid Dynamics (CFD)) للباحث [HSL STAFF][18] لسطح طريق (smooth & harsh) تشير أن السرعة الحرجة لانزلاق المركبة وبنفس مواصفات الإطار هي 95.41 كم/ساعة، 99.05 كم/ساعة، 101.18 كم/ساعة وسبب ذلك الفرق في قيم السرعة الحرجة هو أن الباحث [HSL STAFF][18]، لم يأخذ تأثير خشونة سطح الطريق التي تعمل على رفع السرعة الحرجة للمركبة.



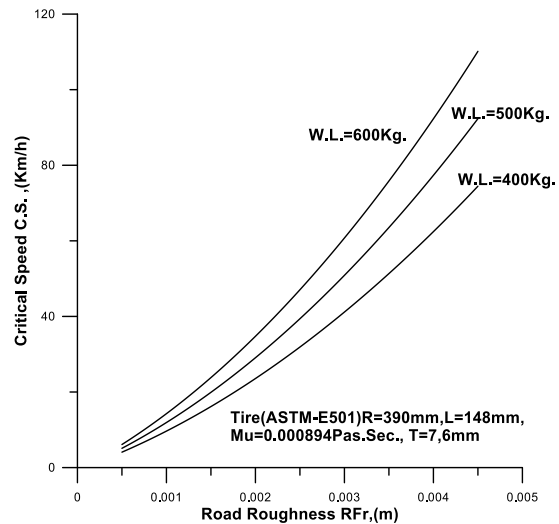
شكل (6) العلاقة بين السرعة الحرجة للمركبة (C.S) وخشونة سطح الطريق (Rfr) لقيم مختلفة لسمك طبقة الماء (T) على سطح الطريق

- 16 : 1411 رقم العضوية: 440844 المشاركات: 11-12-2008 المدينة: الخرطوم ، تاريخ التسجيل: 5- Wambold JC, Henry JJ. International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements. Technical Committee 1 Surface Characteristics; 1994.
- 6- Changyong C. Skid resistance and hydroplaning analysis of rib truck tires. National University of Singapore, Dep. of Civil and Environmental Engineering; 2010.
- 7- Wilson DJ and Chan W. The effect of road roughness (and test speed) on grip tester measurements. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Auckland; April 2013 .
- 8- Kokkaliss GA and Pangagouli OK. Fractal evaluation of pavement skid resistance variations [I] surface wetting. Highway and Pavement Engineering, Democritus University of Thrace, Institute of Steel Structures, Aristotle University; 1997.
- 9- McHenry, Vehicle control factors. Accident Reconstruction; 2003
- 10- Muhsin IA and Al-Ameer AA. Studying the effect of the surface roughness on the maximum eccentricity ratio and the load carrying capacity in the journal bearing. The Second Scientific Conference of Pure and Applied Sciences /Special Volume, No.1; August2010: 83-101,
- 11- Singer FL and Pytel A. Strength of materials. 3rd edition; 1980.
- 12- Callister W. Materials science and engineering: An introduction. John Wiley & Sons, Inc. 5th edition; 2000: p475.
- 13- Eastop TD and McConkey A. Applied thermodynamics for engineering technologists. Long man, 2<sup>nd</sup> edition; 1969.
- 14- Cameron A. Basic lubrication theory. John Wiley & Sons.; 1979.
- 15- Al-Khafaji AW, Tooley JR. Numerical methods in engineering practice. CBS Publishing Japan; 1986: 143-145.
- 16- حمد، فتاح، تأثير التشوه الحاصل في الإطار نتيجة ضغط الماء الموجود على سطح الطريق في حساب السرعة الآمنة لانزلاق المركبات، كلية الهندسة-قسم الهندسة الميكانيكية- جامعة تكريت ; 2012
- 17- Al-Jiboury MAM. Determination of the critical speed of the vehicles on wet road; 2011.
- 18- Staff HSL. Tread pattern-hydroplaning of rib tire with different tread; 2009.
- 19- Fwa TF and Ong GP. Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance analysis. Journal of Transportation Engineering; May. 2008.

الطريق عند نفس السرعة بل يتطلب سرعة أعلى لكي تصل قيم ضغط الماء إلى الحد الكافي لرفع الإطار وفصله عن الطريق.

كذلك يلاحظ أن خشونة سطح الطريق المنخفضة تعمل على تخفيض مقدار السرعة الحرجة للانزلاق عند نفس الحمل وبالنتيجة فإن تأثير زيادة خشونة سطح الطريق عند ثبات حمل المركبة تكون ضرورية لزيادة السرعة التي يحصل عندها انزلاق المركبة أي بتعبير آخر زيادة السرعة الآمنة ومن ثم تقليل خطر الحوادث.

عند مقارنة نتائج البحث لسطح طريق أسفلاتي بخشونة 3.5 ملم ولأطوار بمواصفات (ASTM-E501) ولطبقة ماء كما موضحة في الشكل (8) وبحمل (400، 500، 600) كغم، كانت السرعة الحرجة للمركبة (76.1، 63.8، 51.6) كم/ساعة على التوالي، وعند مقارنته مع نتائج الباحثين [Fwa and Ong] [19] لنموذج الموديل الرياضي الذي تم مقارنة نتائجه النظرية مع 6 نتائج عملية لنفس مواصفات الإطارات والطريق كانت (75، 64، 50) كم /ساعة على التوالي، وهي نتيجة مقاربة لنتيجة البحث الحالي.



شكل (8) العلاقة بين السرعة الحرجة للمركبة (C.S.) وخشونة سطح الطريق ( $Rf_r$ ) لقيم مختلفة للحمل المسلط على الإطار (W.L.)

#### المصادر

- 1- Jackowski J, Wiczorek M. Analysis of interaction between tire tread and road on the basis of laboratory test. The 7<sup>th</sup> International Conference. Vilnius, Lithuania; 2011.
- 2- Bergman W. Skid resistance, properties of tires and their influence on vehicle control. TRR 621; May, 1977.
- 3- AASHO. A policy on geometric design of rural highways; 1965.
- 4- قرشي، محمد إبراهيم جندي، مقاومة الانزلاق أحد المؤشرات الهامة لأداء الطرق، مقال في مجلة قسم الهندسة المدنية - المملكة العربية السعودية . الأقدمي



## الملحق A

1- معادلة مقدار تشوه الإطار ( $\delta r$ ) من قانون هوك

$$\sigma = \epsilon * ET \quad \dots (A.1)$$

$$\sigma = ET * \delta r / LO \quad \dots (A.2)$$

$$\delta r = \sigma * LO / ET \quad \dots (A.3)$$

$$\sigma = P(i, j) \quad \dots (A.4)$$

$$\delta r = P(i, j) * \frac{LO}{ET} \quad \dots (A.5)$$

إذ إن :

2 - اشتقاق معادلة انضغاط الهواء ( $\delta a$ ) من الشكل (A.1) من قانون بويل للغازات

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \dots (A.6)$$

$$V_1 = \left(\frac{H_1}{3}\right)(a + a_w + \sqrt{a * a_w}) \quad \dots (A.7)$$

$$H_1 = R - LO - R_w \quad \dots (A.8)$$

$$a_w = \Delta X_w * \Delta Z_w \quad \dots (A.9)$$

$$V_2 = P_1 V_1 / P_2 \quad \dots (A.10)$$

$$V_2 = \left(\frac{H_2}{3}\right)(a + a_w + \sqrt{a * a_w}) \quad \dots (A.11)$$

$$H_2 = R - LO - \delta a - R_w \quad \dots (A.12)$$

$$V_2 = \left(\frac{R - LO - \delta a - R_w}{3}\right)(a + a_w + \sqrt{a * a_w}) \quad \dots (A.13)$$

$$\frac{3V_2}{(a + a_w + \sqrt{a * a_w})} = R - LO - \delta a - R_w \quad \dots (A.14)$$

$$\delta a = R - LO - R_w - \frac{3V_2}{(a + a_w + \sqrt{a * a_w})} \quad \dots (A.15)$$

