

## تأثير زيادة ارتفاع بدن السيارة على القوى الدينا هوائية المتولدة

صادق عزيز حسين<sup>1</sup> ، عادل كاظم ماشاف<sup>2</sup>

<sup>1</sup> مدرس، <sup>2</sup> مدرس مساعد، قسم تقنيات المكائن والمعدات، معهد اعداد المدربين التقنيين، الجامعة التقنية الوسطى

sadiq.utem@gmail.com<sup>1</sup> , mmud2014@yahoo.com<sup>2</sup>

(الاستلام:- 2017/4/30 ، القبول:- 2017/12/12)

### الخلاصة

في هذا البحث تم دراسة تغيير ارتفاع بدن السيارة نسبة الى مستوى الطريق والذي يتم فعله من قبل بعض الاشخاص بصورة غير مدروسة في كثير من الاحيان. ان أسباب إجراء هذا التغيير قد تكون مختلفة لكن من دون وعي بالاثار السلبية الناتجة من هكذا تغيير خصوصا تلك التي لها علاقة بالقوى الدينا هوائية المتولدة. لاجراء الدراسة، تم استخدام نفق هوائي مثبت في داخله موديل لسيارة سيدان Sedan يوفر قابلية لتغيير مستوى ارتفاع بدنه بسهولة لعدة قيم. كما تم استخدام سرع خطية مختلفة للهواء. وقد استخدمت بعض الطرق الاحصائية مثل طريقة تحليل العاملية العامة General Full Factorial Method وتحليل التباين Analysis of Variance تم استخدامهما لاستقراء النتائج بصورة واضحة. اثبتت النتائج ان قوة الكبح تزداد بصورة كبيرة عند زيادة ارتفاع المركبة بالاخص في النقطة الامامية الا وهي نقطة الركود، مما قد يؤثر لتأثير سلبي على عمليات صرف الوقود والتلوث البيئي المصاحب.

**الكلمات المفتاحية:** ارتفاع المركبة، القوى الدينا هوائية، فرق الضغوط، تصميم التجارب، تحليل التباين.

### 1- المقدمة

في الاونة الاخيرة، اصبحت عملية تقليل استهلاك الوقود المصروف بواسطة وسائل النقل من الامور البحثية المهمة لدى المُصنّعين. ان تغيير تصميم السيارة، بوعي او بدونه، يمكن ان يؤدي الى ايجاد اثار، ايجابية او سلبية، على مقاومة الكبح المتولدة. في العراق (على سبيل المثال) يتم زيادة ارتفاع بدن المركبة نسبة الى مستوى الطريق بصورة قد تكون عشوائية الى حد بعيد. ان جمالية المركبة المرتفعة قد يكون الهدف الرئيسي لهذا التغيير لدى البعض، وقد تكون عملية تجنب وعورة الطريق هي الهدف المنشود الذي يسعى اليه البعض الاخر. الا ان امكانية تولد قوى ديناهوائية، كزيادة قوى الكبح، من شأنها ان تؤدي الى زيادة صرفيات الوقود (شكل 1) والتلوث البيئي المصاحب، والتي لا يتم الاخذ بها بنظر الاعتبار عند اجراء هكذا تغييرات.

تشير الدراسات الى اهمية الموضوع ولذلك فالعديد من الدراسات مازالت تنتشر في المواضيع ذات الصلة حتى الوقت الحاضر [1-4]. من الجدير بالذكر ان معظم هذه الدراسات تستخدم طريقة حساب حركات الموائع الحسابية (Computational Fluid Dynamics) [5, 6], أو طرق عملية كأستخدام النفق الهوائي [8, 7] في اجراء البحوث. ان تقليل قوى الكبح وايجاد استقرار ديناهوائي افضل للسيارة هو المغزى الرئيس في معظم هذه البحوث. على سبيل المثال [9] Koike et al اقترحوا اضافة مولد للدوامات الهوائية والتي من شأنها تقليل قوى الكبح هذه. هنالك ايضا دراسة مشابهة مقدمة من [10] Selvaraju et al وجماعته تشير الى اهمية توليد مثل هكذا دوامات بواسطة زعانف مضافة الى هيكل السيارة على تقليل قوى الكبح المتولدة. المهم، ان التحسين في تصميم السيارة وايجاد جسم اكثر انسيابية يعتبر احد

اهم العوامل في تقليل قوى الكبح كما اشاروا Singh and Randhawa في دراستهم النقدية [11]. اما العامل الاخر, فهو أن زيادة قوى الكبح, تتأثر تأثيراً كبيراً بزيادة سرعة المركبة. مثلاً, تمت الاشارة بان زيادةً بنسبة 50% من مجموع قوى مقاومة الحركة للسيارة تتولد عند سرع اعلى من 70 km/hr و 100 km/hr بحسب دراسة Ahmed and Murtaza [12].

من الواضح بان تغيير شكل السيارة وزيادة سرعتها تعتبران اهم العوامل المؤثرة على قوى الكبح, في هذا البحث سيتم دراسة تأثير تغيير ارتفاع مكان الركوب نسبة الى مستوى الطريق (Ride Height) عند سرع مختلفة على التغيير في قوى الكبح المتولدة على جسم السيارة. كما تم دراسة التغيير في الضغوط السطحية على بدن السيارة كونها مهمة جدا في عملية حساب فرق الضغط في مقدمة ومؤخرة المركبة والذي يؤدي الى زيادة قوة الكبح الضغطي. بذلك تم قياس تأثير القوى المتولدة على جسم السيارة العلوي والامامي نتيجة زيادة ارتفاع المركبة.

## 2 - الجزء العملي

تم استخدام نفق هوائي (Wind Tunnel) وموديل مصغر لسيارة صالون (بمقياس تصغير 24/1) وذلك لاجراء التجارب العملية. النفق الهوائي وموديل السيارة التي تم استخدامها موضحان بالشكل (2). يمكن قياس فرق الضغوط  $\Delta P$  (فرق الضغط الاستاتيكي P عن الديناميكي  $P_{\infty}$ ) بدلالة الفرق في ارتفاع عمود السائل ( $\Delta H$ ) المستخدم في لوحة قياس الضغط (Manometer). لذلك  $\Delta H$  كان هو المؤشر الذي تم استخدامه في هذه الدراسة للتعبير عن مدى تأثير تغيير ارتفاع السيارة (h) وتغيير السرعة الخطية (v) على الضغوط المتولدة في النقاط الموضحة بالشكل (3). تم قياس السرعة بصورة دقيقة بواسطة مقياس شدة الرياح (UT361 Anemometer) الموضح بالشكل (4), حيث تم تثبيت الجهاز في المنطقة القريبة جدا من موقع الموديل. قبل بدء تسجيل القياسات وللتخلص من اي اخطاء اثناء قياس الضغوط, يتم رفع هذا الجهاز بعد الحصول على السرعة الخطية المطلوبة وذلك للتخلص من اي تأثير على خطوط الهواء المتدفقة على الموديل. الارتفاع الصفري كان 10 mm والذي تم زيادته الى 12 و 14 ملم. الطرق الاحصائية كانت حاضرة في هذه الدراسة من خلال تصميم التجربة Design of Experiments بواسطة برنامج الـ Minitab 16.2.0.0 وتم اختيار طريقة تحليل العملية العامة General Full Factorial Method لتحليل وتوضيح النتائج بصورة دقيقة وكذلك باستخدام تحليل التباين (ANOVA) Analysis of Variance. جدول (1) يوضح المديات التي تم استخدامها في هذه التجارب.

## 3 - النتائج والمناقشة

المصفوفة العملية التي تمثل مختلف السرع المستخدمة والتغيير في ارتفاع الموديل والتي تم تطبيقها على الموديل والنتائج المقاسة لفرق الضغط بالسائل يمكن ملاحظتها في جدول 2. يمكن الجزم بان نقطة الركود (stagnation point) تقع في اسفل المساحة المواجهة لخطوط الهواء الساقطة. بالتحديد في النقطة 1. عند استخدام التحليلات ذات العلاقة بواسطة برنامج الـ Minitab ظهرت عدة نتائج من الممكن ان تفسر اهم النقاط البحثية في هذه الدراسة. حيث تشير النتائج الموضحة في الشكل (5- أ) الى تأثير واضح بسبب زيادة ارتفاع الموديل بزيادة 2 و 4 ملم (4.8 و 9.6 سم من المقياس الحقيقي). تم اجراء تحليل التباين لمعرفة مدى تأثير زيادة ارتفاع المركبة وزيادة السرعة على قوى الكبح المتولدة في النقطة 1 من اجل اتاحة فرصة مقارنة التأثير النسبي على النتائج. النتائج مدرجة في الجدول 3. من الواضح, ان قيمة الـ P-value (level of marginal significance) لكل من تأثير زيادة السرعة الخطية وزيادة ارتفاع الموديل هما اقل

من 0.05 (Significant Value) والتي تمثل المعدل المتعارف عليه من موثوقية النتائج. يمكن ايضا ملاحظة هذه النتائج من خلال شكل التفاعل المتبادل Interaction plot بين العوامل المؤثرة الموضح في الشكل (5-ب). حيث يمكن مشاهدة الانحدار المتشابه لتأثير زيادة السرعة او زيادة ارتفاع المركبة على فرق الضغوط الناتجة في ارتفاع السائل. كما ان شكل المؤثر الرئيس Main effect الموضح في الشكل (5-ج) و شكل الخطوط الكفافية Contour plot شكل (5-د) يشيران بجلاء الى هذا التأثير ايضا. هذا يعطي مؤشر متشابه الى حد ما للتأثير المهم لكلا العاملين سواء اذا كانت زيادة السرعة الخطية للسيارة او زيادة ارتفاعها عن سطح الارض على مقدار قوة الكبح المتولدة. من المهم الاشارة الى ان عملية استخدام الفرامل اثناء القيادة تؤدي الى تقليل ارتفاع السيارة في المنطقة الامامية وزيادته في المنطقة الخلفية. وفي حال زيادة تعجيل المركبة فان العملية ستكون معكوسة [13]. في هذه الحالة (زيادة ارتفاع السيارة من الامام) فمن البديهي ان تزداد قوة الكبح هذه.

اشارت النتائج الى عدم وجود تأثيرات كبيرة في مستوى فرق السائل بالنسبة للنقاط المتبقية (2, 3, 4 و 5) عند زيادة ارتفاع الموديل. الاشكال (6-أ), (7-أ), (8-أ) و (9-أ) توضح المؤثر الرئيس Main effect على فرق السائل في هذه النقاط. لذلك, فانه من الواضح, ان تأثير زيادة السرعة هو المسيطر في هذه النقاط, اما تأثير ارتفاع الموديل فلم يكن ذو اهمية. يمكن ملاحظة موثوقية نتائج هذه التأثيرات من قيم الـ P-values المدرجة في الجدول 4. حيث ان قيم الـ P-value بالنسبة لتأثير زيادة السرعة الخطية هي اقل من 0.05 اما قيم الـ P-values بالنسبة لتغيير ارتفاع الموديل فجميعها اكبر من 0.05. ان انسيابية شكل الموديل العملي الذي استخدم في التجارب لم تتغير بسبب تغيير ارتفاعه عن مستوى الطريق ولذلك, وبصورة عامة, فان هذه النتائج يمكن ان تعزى لهذا السبب.

بصورة عامة, ان فرق الضغوط بين مقدمة المركبة ومؤخرتها هو السبب الرئيس لتولد قوة الكبح الضغطي. عندما تتحرك المركبة الى الامام, فان منطقة الضغط الضعيف تتولد في المنطقة الخلفية من السيارة. منطقة الضغط الضعيف هذه تسحب المركبة من الخلف بصورة عكسية لاتجاه الحركة وتولد جزء الكبح الناتج من فرق الضغط [14]. الضغط في منطقة الركود في حالة ازدياد للحالتين (زيادة الارتفاع و السرعة) اما الضغوط المقاسة في باقي المناطق فتزداد متأثرة بالسرعة. فلو ازداد الضغط في مؤخرة السيارة نتيجة ارتفاع الموديل لقل تأثير قوة الكبح الا ان تلك الضغوط لم تتأثر بصورة محسوسة بسبب زيادة ارتفاع الموديل وكما موضح في تأثير التفاعل المتبادل Interaction plot في الاشكال (6-ب), (7-ب), (8-ب) و (9-ب).

ان عملية دراسة الموديل داخل النفق الهوائي فيما يخص القوة السفلية يشوبه بعض الاشكالات. على سبيل المثال تمت الاشارة من قبل Zhang et al [13] الى ان العربات التي يتولد فيها الكبح بسبب الضغط, وعندما يكون ارتفاع المركبة اقل من 10% من ارتفاع مكان الركوب الكلي فانه يجب استخدام ارضية متحركة اثناء الاختبار داخل النفق الهوائي بسبب احتمالية تكوين المانع لاشكال جريان مختلفة اسفل العربة. السبب قد يشترك به تحرك عجلات المركبة والتي تساهم ايجاد اشكال لدوران الهواء اسفل السيارة. من جانب اخر فان اضافة بعض المواد الرخيصة والقابلة للتبديل اسفل العربة من الممكن ان تحافظ على مستوى القوى الديناموائية المتولدة اسفل جسم السيارة من قوى رفع والتي لها علاقة بظاهرة فينتوري. لذلك فقد تم اهمال دراسة هذه القوى في الدراسة الحالية والذي اتاح بعض السهولة في اجراء هذا البحث.

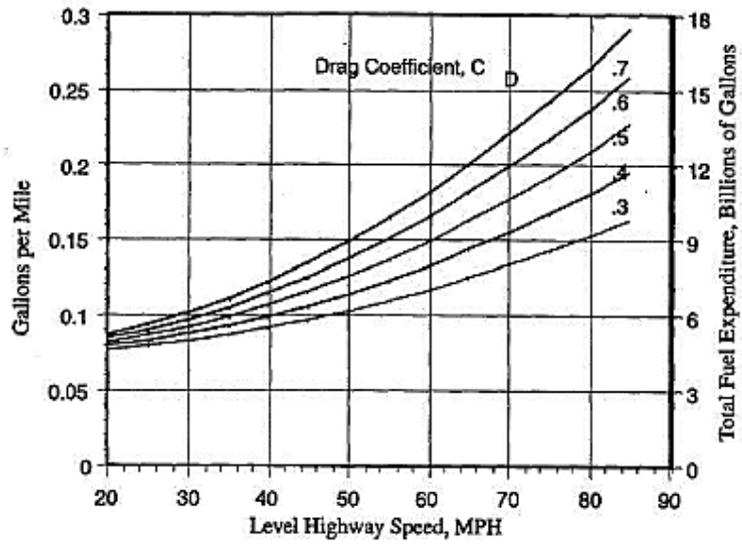
#### 4- الاستنتاجات

ان استخدام طرق التحليل الاحصائي كانت فعالة في تحليل وتوضيح النتائج التي تم الحصول عليها نتيجة زيادة ارتفاع بدن المركبة عن الارض أو/ و زيادة سرعتها. من الواضح ان زيادة سرعة وارتفاع المركبة يؤدي الى زيادة فرق

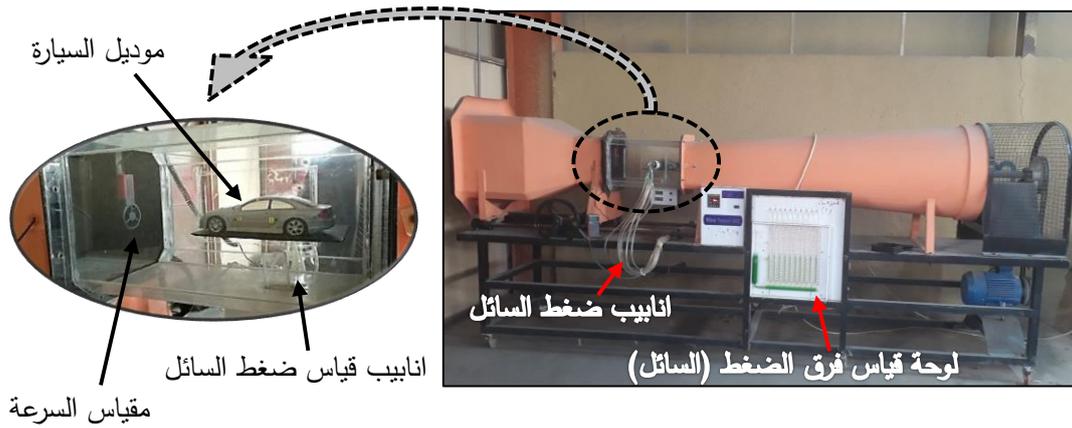
الضغط المكاني (في نقطة الركود) وكذلك فرق الضغط بين مقدمة ومؤخرة السيارة والذي بدوره يعتبر المؤشر الاهم على زيادة قوى الكبح. من خلال النتائج، تبين ان زيادة السرعة يؤدي الى زيادة كبيرة في هذه القوة حيث كانت قيم ال-P values مساوية الى 0.000. الا ان زيادة الارتفاع لبدن المركبة عن مستوى الارض لا يقل اهمية عن هذا العامل، حيث كانت قيمة ال-P-value مساوية الى 0.006 في نقطة القياس المواجهة للهواء (الامامية). بالتالي، ولضرورات محكمة، فان اي زيادة في ارتفاع بدن السيارة عن الارض يجب ان تتبعه اجراءات عملية اخرى من شأنها التقليل من هكذا تاثيرات والتي تؤدي في النهاية الى التقليل من صرفيات الوقود والتلوث البيئي المصاحب لهذه العملية.

## المصادر

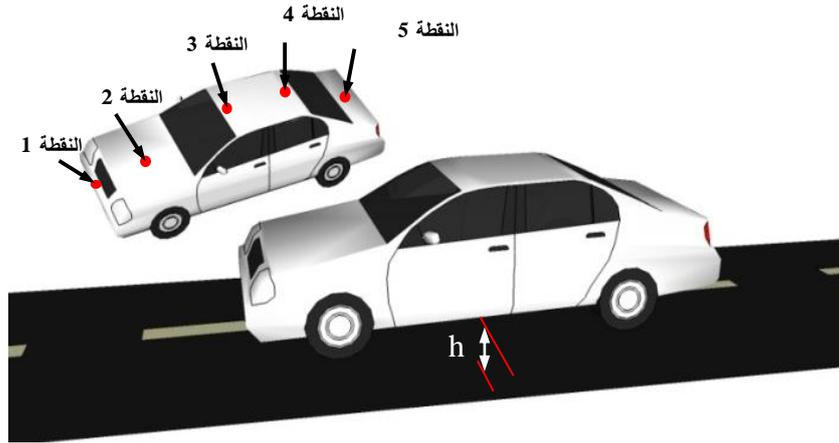
- 1) D. Dhande and M. Bauskar, "Analysis of Aerodynamic Aspects of SUV by Analytical and Experimental Method," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 7, pp. 447–451, 2013.
- 2) V. Barzanooni and A. B. Khoshnevis, "Experimental Study and wake Characteristics Comparison of a Car Model in Steady and Unsteady Flow," *Int J Advanced Design and Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 55–65, 2015.
- 3) A. Cieslinski, W. Prym, M. Stajuda, and D. Witkowski, "Investigation on Aerodynamics of Super-Effective Car for Drag Reduction," *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 20, no. 3, pp. 295–308, 2016.
- 4) S. Kumar and C.K. Umesh, "Analysis of External Aerodynamics of Sedan and Hatch Back Car Models Having Same Frontal Area by Computational Method," *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, vol. 6, no. 1, 2016.
- 5) R. B. Sharma and R. Bansal, "CFD Simulation for Flow over Passenger Car Using Tail Plates for Aerodynamic Drag Reduction," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 28–35, 2013.
- 6) N. Ashton, A. West, S. Lardeau, and A. Revell, "Assessment of RANS and DES methods for realistic automotive models," *Computers and Fluids*, vol. 128, pp. 1–15, 2016.
- 7) M. Desai, S. A. Channiwala, and H. J. Nagarsheth, "A comparative assessment of two experimental methods for aerodynamic performance evaluation of a car," *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 67, pp. 518–522, 2008.
- 8) S. Kumar and C. K. Umesh, "Analysis of External Aerodynamics of Sedan and Hatch Back Car Models Having Same Frontal Area by Experimental Wind Tunnel Method," *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 812–816, 2015.
- 9) M. Koike, T. Nagayoshi, and N. Hamamoto, "Research on Aerodynamic Drag Reduction by Vortex Generators," *Mitsubishi Motor Technical Papers*, no. 16, pp. 11–16, 2004.
- 10) P. N. Selvaraju, K. M. Parammasivam, Shankar, and G. Devaradjane, "Analysis of Drag and Lift Performance in Sedan Car Model Using CFD," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, no. special issue 7, pp. 429–435, 2015.
- 11) J. Singh and J. S. Randhawa, "CFD Analysis of Aerodynamic Drag Reduction of Automobile Car - A Review," *International Journal of Science and Research*, vol. 3, no. 6, pp. 213–215, 2014.
- 12) A. Ahmed and M. A. Murtaza, "CFD Analysis of Car Body Aerodynamics Including Effect of Passive Flow Devices – A review," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 141–144, 2016.
- 13) X. Zhang, W. Toet, and J. Zerihan, "Ground Effect Aerodynamics of Race Cars," *Applied Mechanics Reviews*, vol. 59, pp. 33–49, 2006.
- 14) S. M. R. Hassan, T. Islam, M. Ali, and Q. Islam, "Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars," *Procedia Engineering*, vol. 90, pp. 308–313, 2014.



الشكل (1) يمثل زيادة صرفيات الوقود مع زيادة قوى الكبح [7].



الشكل (2) يبين النفق الهوائي و الموديل المستخدم لاجراء التجارب العملية.



الشكل (3) رسم تخطيطي للموديل المستخدم في التجارب يبين نقاط قياس فرق السائل وتغيير ارتفاع مكان الركوب في السيارة.



الشكل (4) يوضح جهاز مقياس السرعة الخطية للهواء داخل النفق الهوائي.

جدول (1) يبين مديات العوامل التي تم استخدامها في التجارب العملية.

Factors	Levels		
	-1	0	+1
$v$ (km/hr)	43	75	108
$h$ (mm)	10	12	14

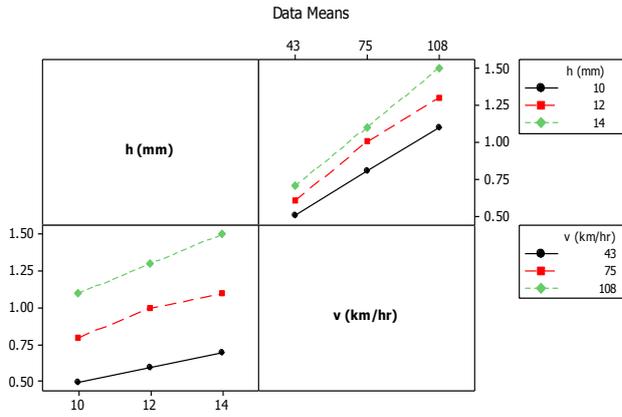
جدول (2) يبين مصفوفة التجربة ونتائج فروق الضغط في نقاط القياس.

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	h (mm)	v (km/hr)	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$	$\Delta H4$	$\Delta H5$
5	1	1	1	12	75	- 1	4.8	3.7	8.5	6.4
3	2	1	1	10	108	- 1.1	10.1	6.8	16.5	12.3
8	3	1	1	14	75	- 1.1	4.9	3.5	8.7	6.5
9	4	1	1	14	108	- 1.5	9.4	7.4	16.3	13.5
6	5	1	1	12	108	- 1.3	9.5	7.2	16.4	12.4
4	6	1	1	12	43	- 0.6	1.2	0.8	2.2	1.7
1	7	1	1	10	43	- 0.5	1.2	0.8	2.4	1.8
7	8	1	1	14	43	- 0.7	1.2	0.8	2.2	1.6
2	9	1	1	10	75	- 0.8	5.4	3.5	8.8	6.4

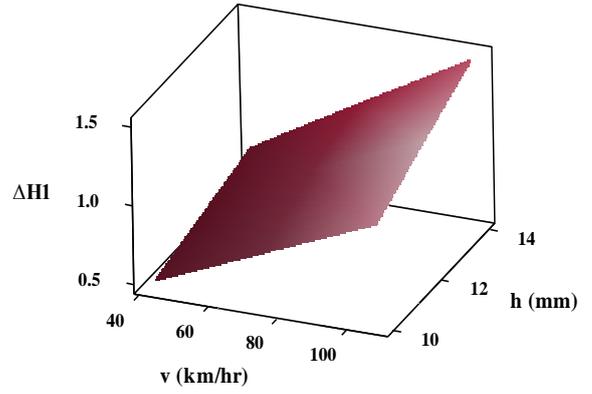
جدول (3) التحليل الثنائي بواسطة ANOVA لفروق ضغط السائل في النقطة الاولى  $\Delta H1$

Source	DF	SS	MS	F	P
v (km/hr)	2	0.735556	0.367778	132.40	0.000
h (mm)	2	0.135556	0.067778	24.40	0.006
Error	4	0.011111	0.002778		
Total	8	0.882222			

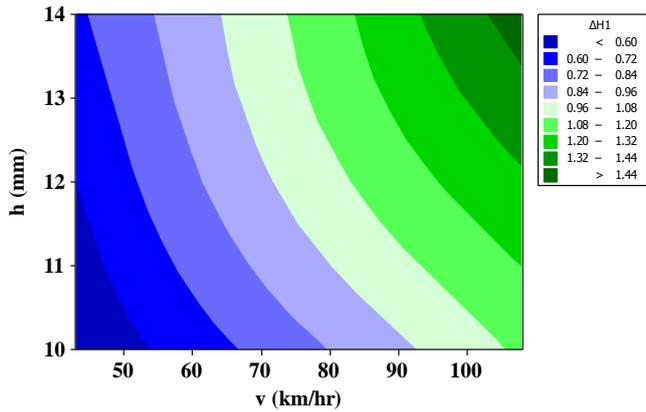
S = 0.05270 R-Sq = 98.74% R-Sq(adj) = 97.48%



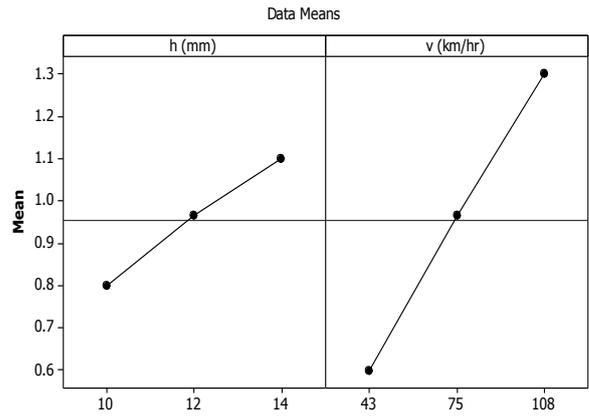
(ب)



(أ)

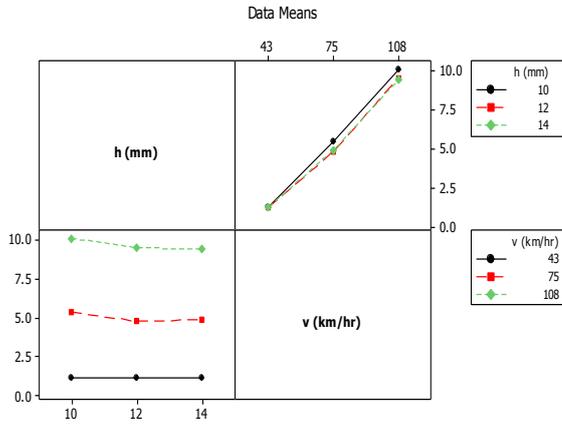


(د)

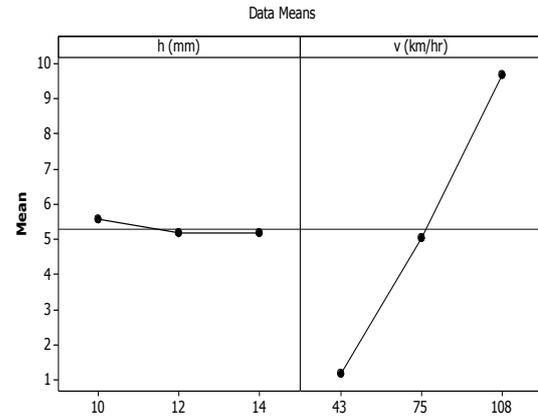


(ج)

الشكل (5) يمثل النتائج لفرق السائل في النقطة الاولى ( $\Delta HI$ ), (أ) شكل سطحي لتاثير ارتفاع الموديل و زيادة السرعة على متوسط فرق السائل, (ب) شكل التفاعل في تغير مستوى القيم للعوامل المؤثرة على بعضها البعض, (ج) تأثر متوسط فرق السائل بتاثير السرعة وارتفاع الموديل, واخيرا (د) الخطوط الكفافية لتاثير زيادة السرعة وارتفاع الموديل على فرق الضغط.

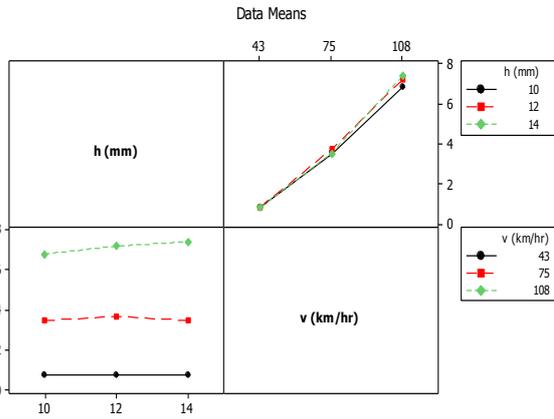


(ب)

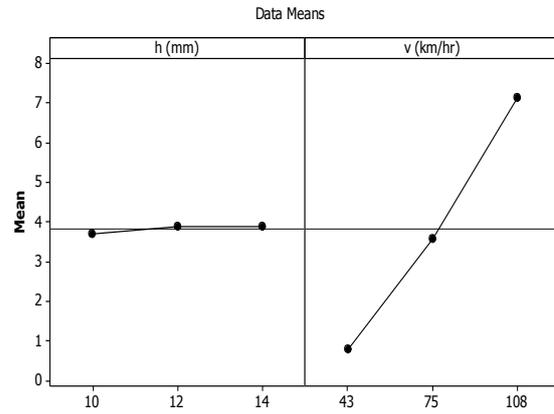


(أ)

الشكل (6) النتائج لفرق السائل في النقطة الثانية ( $\Delta H2$ )، (أ) تأثير متوسط فرق السائل بتأثير السرعة وارتفاع الموديل، (ب) شكل التفاعل في تغيير مستوى القيم للعوامل المؤثرة على بعضها البعض.

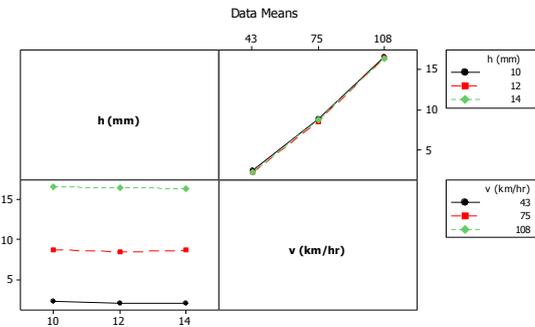


(ب)

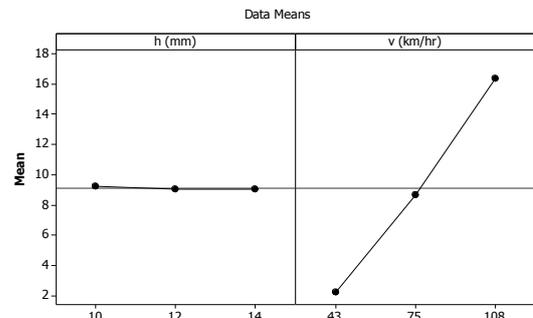


(أ)

الشكل (7) يمثل النتائج لفرق السائل في النقطة الثالثة ( $\Delta H3$ )، (أ) تأثير متوسط فرق السائل بتأثير السرعة وارتفاع الموديل، (ب) شكل التفاعل في تغيير مستوى القيم للعوامل المؤثرة على بعضها البعض.

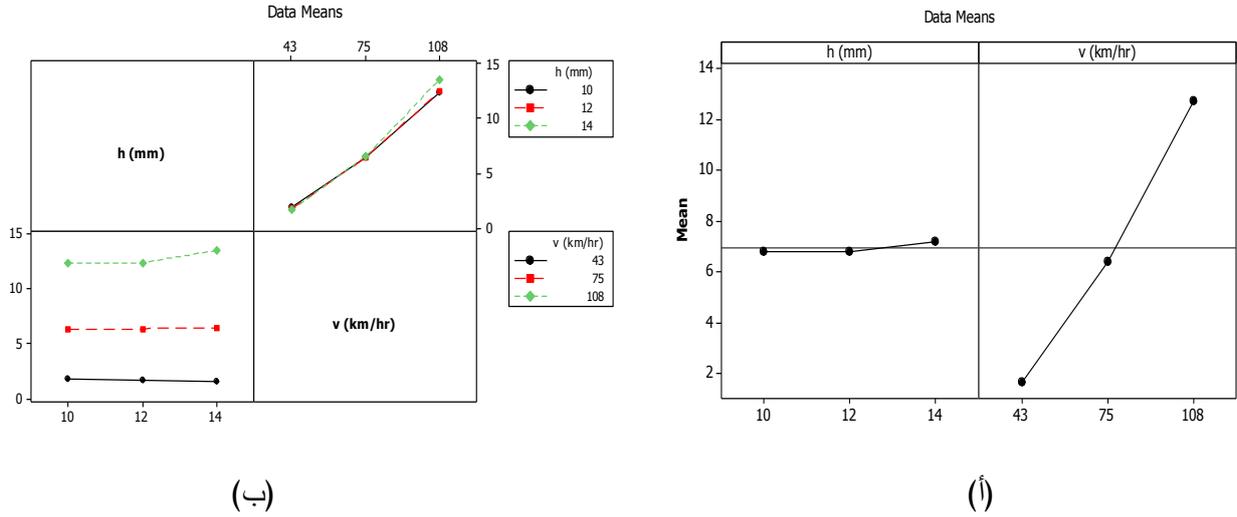


(ب)



(أ)

الشكل (8) النتائج لفرق السائل في النقطة الرابعة ( $\Delta H4$ )، (أ) تأثير متوسط فرق السائل بتأثير السرعة وارتفاع الموديل، (ب) شكل التفاعل في تغيير مستوى القيم للعوامل المؤثرة على بعضها البعض.



الشكل (9) يمثل النتائج لفرق السائل في النقطة الخامسة ( $\Delta H5$ ), (أ) تأثير متوسط فرق السائل بتأثير السرعة وارتفاع الموديل, (ب) شكل التفاعل في تغير مستوى القيم للعوامل المؤثرة على بعضها البعض.

جدول (4) يبين التحليل الثنائي بواسطة ANOVA لفرق ضغط السائل في النقاط المتبقية.

	Source	DF	SS	MS	F	P
$\Delta H2$	v (km/hr)	2	107.8470	53.9233	1244.38	0.000
	h (mm)	2	0.3200	0.1600	3.690	0.123
$\Delta H3$	v (km/hr)	2	60.4867	30.2433	907.30	0.000
	h (mm)	2	0.0800	0.0400	1.20	0.391
$\Delta H4$	v (km/hr)	2	300.5160	150.2580	24587.64	0.000
	h (mm)	2	0.0690	0.0340	5.64	0.069
$\Delta H5$	v (km/hr)	2	183.8290	91.9144	570.5	0.000
	h (mm)	2	0.2690	0.1344	0.83	0.498

---

## EFFECT OF INCREASING RIDE HEIGHT ON THE GENERATED AERO-DYNAMICAL FORCES

Sadiq Aziz Hussein<sup>1</sup>

Adil Kadhim Mashaf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lecturer, <sup>2</sup> Assistant Lecturer, Department of Technical Machinery and Equipment, Technical Instructors Training Institute, Middle Technical University.

### Abstract

In this study, the changing in ride height of the car, which is usually arbitrarily been made, has been investigated. Many reasons could be achieved when ride has been increased, but without consideration of the undesired outcomes such as the related aero-dynamical forces effect. In this study, wind tunnel with fixed sedan car model was used. The model was easily allowed changing of the ride height. A range of velocities had been used as well. The General Full Factorial Method and Analysis of Variance were the convenient analytical tools in this study. The results showed that the drag force increased when ride height increased, especially, at the fronted point (stagnation point) which might increase fuel consumption and related pollution.

**Keywords:** ride height, aero-dynamical forces, pressure differences, DOE, ANOVA.