

بررسی اثر ضریب مقاومت غلتشی تایر بر پایداری خودرو و مصرف سوخت

میلاذ جاودان

۱-دانشجو کاردانی مکانیک خودرو، مرکز علمی کاربردی شماره ۱، زاهدان

چکیده

در این کار عددی به بررسی و تحلیل مقاومت غلتشی تایر بر مصرف سوخت و پایداری خودرو پرداخته شده است. برای بررسی این اثر سه خودرو مرسوم انتخاب شده است و در هر خودرو با توجه به نوع خودرو سه تایر مناسب انتخاب شده و هر تایر در پنج ضریب غلتشی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمون از نرم افزار کارسیم سمولینک^۱ تحت متلب استفاده شده است. برای تست پایداری نمودار یاریت^۱ مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برای مصرف سوخت از نرم افزار ادویزر ویسل^۲ با شرایط یکسان تحت متلب استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مصرف سوخت در خودرو های مختلف از 0.9litr/km تا 3.4litr/km کاهش می یابد و در اثر آن آلاینده گی خودرو نیز کم می شود و ضریب مقاومت غلتشی^۳ تایر تاثیر زیادی در پایداری خودرو ندارد بلکه نوع تایر تاثیر بسزایی بر پایداری خودرو دارد.

واژگان کلیدی: ضریب مقاومت غلتشی، پایداری خودرو، کاهش مصرف سوخت، کاهش آلاینده گی

1 Yaw rate

2advisor for vehicles

3rolling resistance coefficient

مقدمه

باتوجه به اینکه مصرف سوخت و بحث آلاینده‌گی و پایداری خودرو پارامترهای مهمی در طراحی خودرو و تایر است و موضوعی مهم برای خودرو سازان بشمار می آید در این مقاله با استفاده از یک آزمون عددی به بررسی هم زمان این پارامترها پرداخته شده است. تقوی فر و همکاران [۱] به بررسی فشار باد تایر بر مقاومت غلتشی در ماشین‌های کشاورزی پرداختند. آنها از شبکه عصبی هوشمند برای بررسی تاثیر فشار باد تایر بر روی مقاومت غلتشی استفاده کردند. همچنین آنها تاثیر بار محوری را بصورت یک چند جمله ای بدست آوردند. تقوی فر و همکاران [۲] یک تک چرخ ماشین کشاورزی برای تست مقاومت غلتشی آن در نظر گرفتند. این آزمون در خاک رس انجام شد. آزمون مورد نظر در سه فشار ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و همچنین سه سطح سرعت (به عنوان مثال ۰،۷، ۱،۴، ۲ متر بر ثانیه) و پنج سطح بار عمود اعمال شده بر روی چرخ (به عنوان مثال ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ کیلونیوتن) مورد بررسی قرار گرفت. شیان جیان جین و همکاران [۳] یک کنترل کننده غیرخطی^۴ برنامه ریزی شده برای کنترل پایداری خودرو با استفاده از نرم افزار کارسیم طراحی کردند. هری [۴] پایداری خودروهای برقی با چهار چرخ متحرک (گشتاور هر چرخ مستقل است) را بررسی کردند. نتایج بدست آمده از کار آنها نشان داد که به علت تفاوت گشتاور چرخ سمت چپ و راست خودرو دارای پایداری بهتری است. نام و همکاران [۵] یک کنترل کننده جانبی به منظور پایداری دینامیکی خودرو در هنگام تغییر ناگهانی زاویه چرخش طراحی کردند. اگر چه کارهای زیادی بر روی پایداری خودروها انجام شده است اما تا بحال تاثیر ضریب مقاومت غلتشی تایر بر پایداری خودرو و مصرف سوخت بطور همزمان بررسی نشده است. در این مقاله یک تحلیل عددی با دو نرم افزار کارسیم تحت سمولینک متلب^۵ و نرم افزار ادویز ویسل^۶ برای بررسی ضریب مقاومت غلتشی بر روی پایداری و مصرف سوخت خودروها انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که که مصرف سوخت در خودرها مختلف از 0.9litr/km تا 3.4litr/km کاهش می یابد و به طبع آن آلاینده‌گی خودرو نیز کم می شود و ضریب مقاومت غلتشی^۷ تاثیر زیادی در پایداری خودرو ندارد بلکه نوع تایر است که تاثیر بسزایی بر پایداری خودرو دارد.

مدل دینامیک خودرو

در این مدل سه خودرو سواری معمولی^۸، هاچک بک^۹ و وانت چهار درب^{۱۰} و سه تایر مناسب با نوع خودرو که در جدول (1) مشخص شده مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله از داده های پایه^{۱۱} نرم افزار کارسیم^{۱۲} برای مقاومت غلتشی و درگی مورد استفاده قرار گرفته است. در کار حاضر تنها ضریب مقاومت غلتشی^{۱۳} در بازه زیر تغییر کرده است.

(0.0025, 0.006, 0.009, 0.012, 0.015, 0.025, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14, 0.15, 0.16, 0.17, 0.18, 0.19, 0.2, 0.21, 0.22, 0.23, 0.24, 0.25)

جدول ۱_ مشخصات خودروها و نوع تایر

Class	Hatchbak	sedan	pickup full size
Mass(kg)	840	1540	2268
C.G to front axle (m)	1.1	1.11	1.4
CG to height	0.54	0.52	0.797
C.G to rear axle (m)	1.25	1.67	2.6
moment of abut axis (kgm ²)	750	2315.3	5757
Drag coefficient	0.33	0.33	0.45
power engine(kw)	75	75	270

4 nonliner

5Carsim_ and Matlab/Simulink

6advisor for vehicles

7rolling resistance coefficient

8sedan

9 hatchbak

10 Pickup full size

11Data base

12 carsim

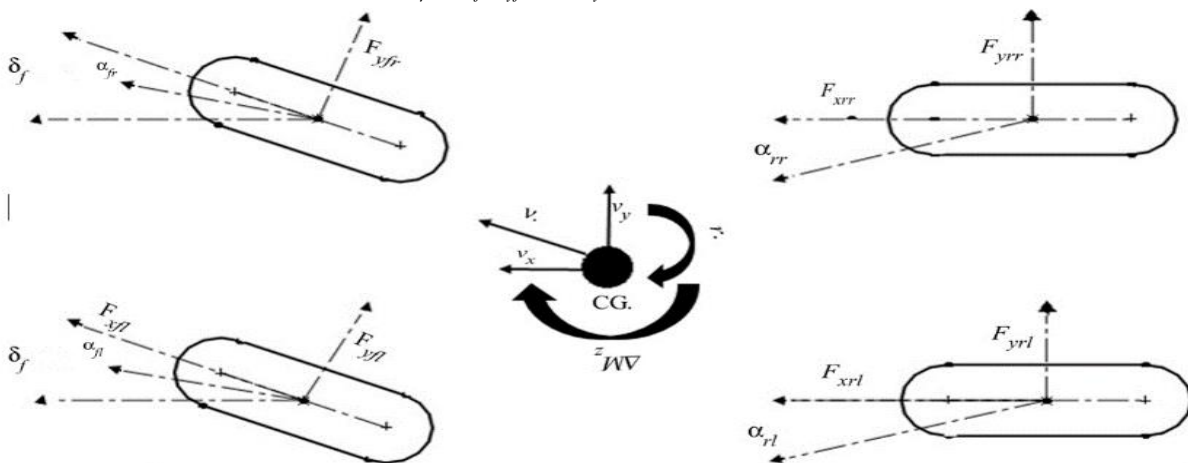
13rolling resistance coefficient

wheel drive	front	front	Four
tire (185/65/R15)	✘	✘	
tire (205/55/R16)	✘	✘	
tire (215/55/R17)	✘	✘	
tire (255/75/R16)			✘
tire (265/70/R17)			✘
tire (265/75/R16)			✘

در شکل (1) مدل دینامیک حرکت خودرو نشان داده شده که گشتاور و نیروهای وارد بر چرخها در آن مشخص شده است. برای ساده کردن مدل از مدل معروف دوچرخه^{۱۴} استفاده شده است. معادلات حرکت خودرو برای نیروی جانبی و انحرافی^{۱۵} را میتوان به صورت زیر نوشت. [6]

$$mV_x(\beta + \gamma) = F_{yf} + F_{yr} \quad (1)$$

$$I_{z\gamma} = l_f F_{yf} - l_r F_{yr} + \Delta M_z$$



شکل ۱- مدل انحراف جانبی دینامیک خودرو

در معادلات بالا V_x سرعت طولی خودرو، m جرم کل خودرو، λ میزان انحراف و β زاویه لغزش جانبی در مرکز ثقل F_{yf} و F_{yr} بترتیب نیروی جانبی بر چرخ جلو و عقب است. L_f, I_z و L_r ممان اینرسی خودرو حول محور انحراف^۶ هستند. CG فاصله مرکز ثقل از محور جلو یا عقب است. ΔM_z ممان اینرسی خارجی انحراف خودرو است. در شرایط عادی رانندگی، شتاب خودرو کم است تایر زاویه لغزش کوچکی دارد و عملکرد تایر در این منطقه خطی است و زاویه لغزش می تواند به صورت زیر بیان شود.

$$\alpha_f = \delta - \frac{l_f \gamma}{V_x} - \beta \quad (2)$$

$$\alpha_r = \delta - \frac{l_r \gamma}{V_x} - \beta$$

که در آن α_r و α_f به ترتیب زاویه لغزشی تایر هستند.

زمانی که تایر در ناحیه عملکرد خطی است نیروهای جانبی را می توان با تقریب خطی به صورت زیر نوشت

$$F_{yf} = C_f \alpha_f$$

$$F_{yr} = C_r \alpha_r \quad (۳)$$

که در آن C_r و C_f به ترتیب مقاومت غلتشی تایر جلو و عقب هستند.

باجایگزینی معادلات (1) و (2) در (3)، از دینامیک خودرو نیروهای جانبی را میتوان بصورت زیر نوشت:

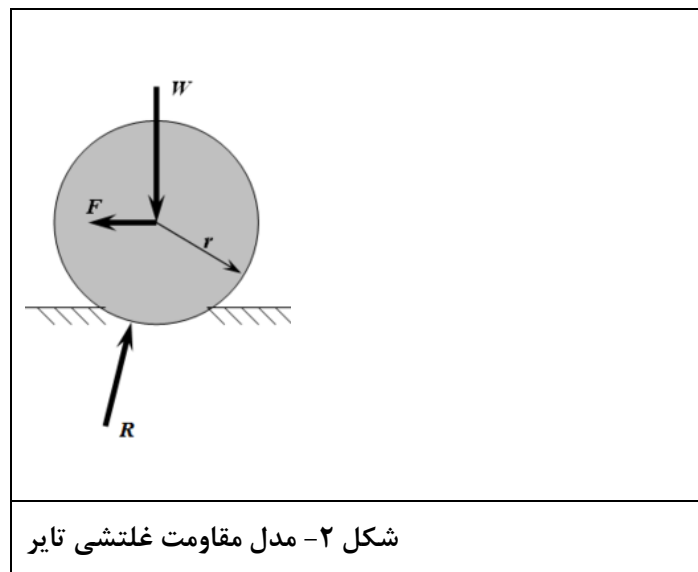
$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B_1 \omega(t) + B_2 u(t) \quad (4الف)$$

where

$$x(t) = [\beta, \gamma]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{C_f + C_r}{mV_x} & \frac{l_r C_r + l_f C_f}{mV_x^2} \\ \frac{l_r C_r - l_f C_f}{I_z} & -\frac{l_f^2 C_r + l_r^2 C_f}{I_z} \end{bmatrix} \quad (4ب)$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} -\frac{C_f}{mV_x} \\ \frac{l_f C_f}{I_z} \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{I_z} \end{bmatrix}$$



مقاومت غلتشی را گاهی اصطکاک یا نیروی مقابله در مقابل حرکت می‌گویند. نیروی مقاوم در برابر حرکت زمانی که یک جسم (مانند یک توپ یا تایر) بروی یک سطح حرکت کند و این نیرو عمدتاً توسط اثرات غیر الاستیک ایجاد می‌شود. این نیرو غلتشی در اثر تغییر شکل سطح (به عنوان مثال خاک) و همچنین در اثر مقاومت آلیاژهای تایر ایجاد میگردد و به عنوان مقاومت غلتشی شناخته می‌شود و در مقایسه با ضریب اصطکاک، مقدار ضریب مقاومت غلتشی خیلی کوچک است [7] مقاومت غلتشی به صورت زیر بیان می‌شود [8]

$$F = C_r N \quad (۵)$$

F نیروی مقاومت غلتشی که در شکل نشان داده شده است. C_{rr} ضریب مقاومت غلتشی و N نیروی محوری بروی تیر است ضریب مقاومت غلتشی یک چرخ انعطاف ناپذیر با حرکت آهسته و بدون نیروی درگ هوا در یک سطح کاملاً الاستیک بصورت زیر محاسبه می شود [9]

$$C_{rr} = \sqrt{z/d} \quad (6)$$

در رابطه بالا z عمق درگیری در اثر بار گذاری و d قطر تیر انعطاف ناپذیر است. گشتاور لازم برای مقابله با مقاومت غلتشی و حفظ سرعت ثابت را (بدون مقاومت هوا) از فرمول زیر می توان محاسبه کرد [12][13][14]

$$T = \frac{V_s}{\Omega} R_r \quad (7)$$

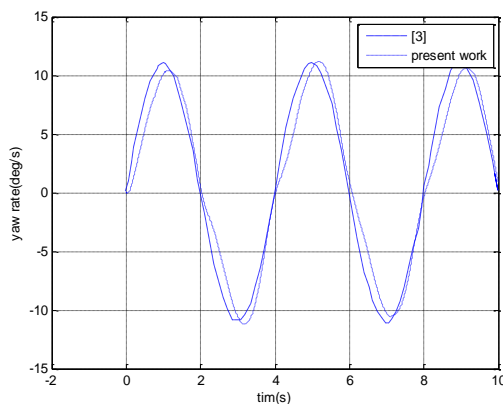
که در این رابطه V_s سرعت خطی خودرو و Ω سرعت چرخشی و R_r مقاومت غلتشی است

اعتبار سنجی

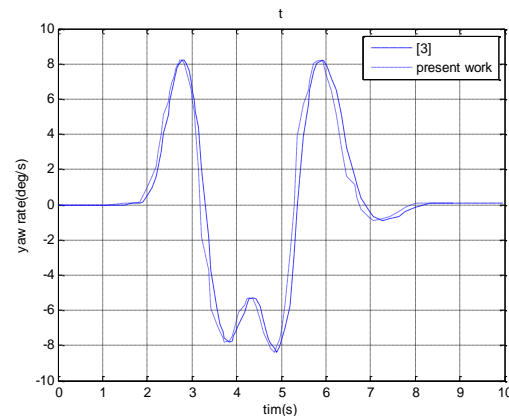
اعتبار سنجی کار حاضر با مقاله دکتر شیان جیان جین^{۱۶} و همکاران [۳] انجام شده است. در کار آنها تعادل خودرو با یک کنترل کننده غیر خطی با نرم افزار کارسیم انجام شده است. نتایج بدست آمده در دو حالت مختلف بررسی شد حالت اول مسیر حرکت با دو مانع^{۱۷} و حالت دوم حرکت سینوسی خودرو است. نتایج حاضر با نمودارهای موجود در مقاله مورد مقایسه قرار گرفته است. میانگین خطا بدست آمده از دو نمودار در جدول ۲ نشان داده شده است. در شکل ۳ و ۴ نمودار بدست آمده از کار حاضر برای مسیر با دو مانع و سینوسی با مرجع [۳] مقایسه شده است

جدول ۲_ میانگین خطاهای اعتبار سنجی

حرکت با دو مانع ^۲	مسیر حرکت سینوسی	خطا
٪۰,۰۲۶۴	٪۶,۳۶۷۴	



شکل ۴- اعتبار سنجی نمودار یاریت در حرکت سینوسی



شکل ۳- اعتبار سنجی نمودار یاریت با حرکت دو فرمانه^{۱۸}

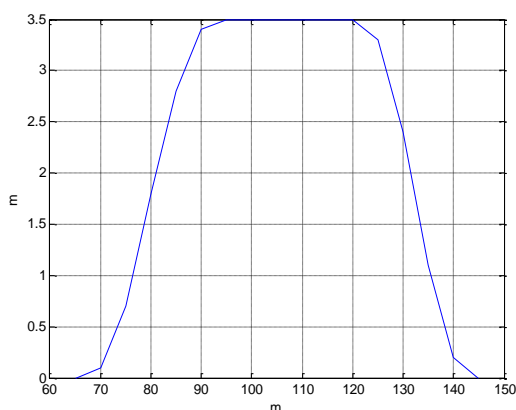
¹⁶Xian Jian Jin

¹⁷ double lane change

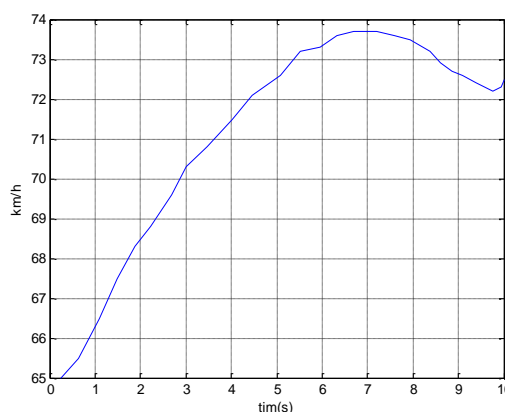
¹⁸ double lane change

نتایج

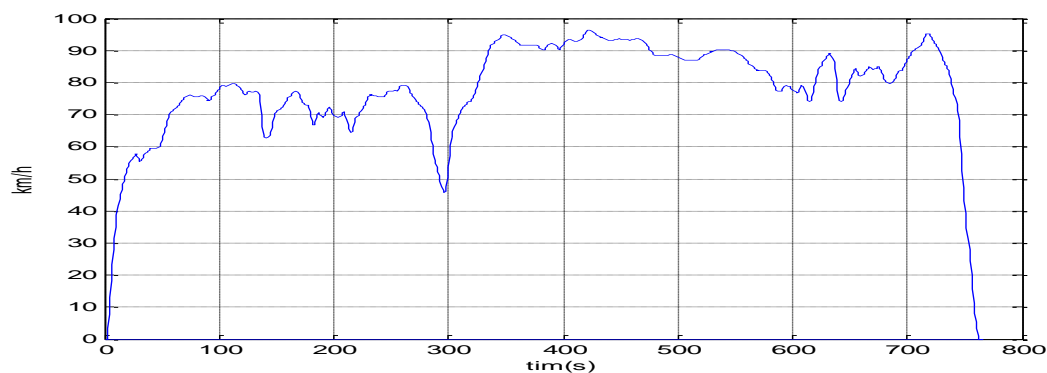
این آزمون شامل دو مرحله است مرحله اول با نرم افزار کارسیم تحلیل پایداری و در مرحله دوم محاسبه مصرف سوخت با نرم افزار ادویز ویسل انجام شد. در مرحله اول مسیر حرکت که شامل دو مانع حرکتی است مشخص شده است. طول حرکت ۱۵۰ متر است و این مسیر در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات سرعت در این مسیر در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده در این مرحله نشان داد که ضریب مقاومت غلتشی تأثیری بر روی پایداری خودرو ندارد بلکه ابعاد تیر در پایداری موثر است. با توجه به نتایج مرحله اول اگر چه ضریب مقاومت غلتشی تأثیر کمی روی پایداری دارد ولی در مصرف سوخت تأثیر بسزای دارد. در نتیجه در مرحله دوم مصرف سوخت با ضریب مقاومت غلتشی پایین و بالا مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از سیکل بزرگراه های ایالات متحده آمریکا^{۱۹} استفاده شده است [۱۵] نمودار مشخصه چرخه رانندگی در بزرگراه های ایالات متحده آمریکا در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل میزان سرعت بر حسب زمان مشخص شده است و طول مسیر ۱۶٫۵ کیلومتر است.



شکل ۶- سرعت حرکت خودرو در طول مسیر



شکل ۵- مسیر حرکت خودرو در تست هندلینگ



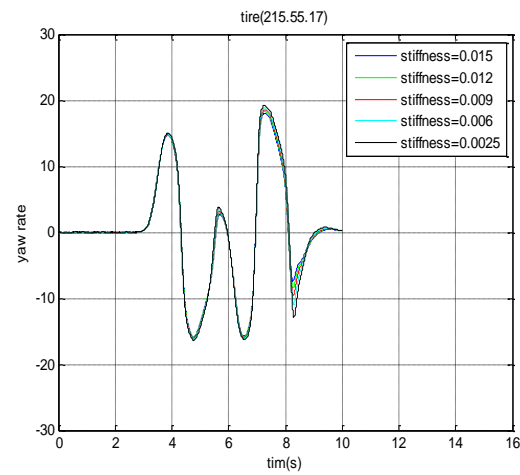
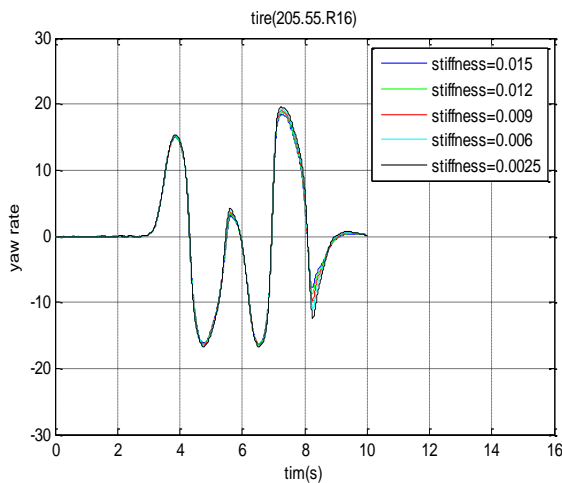
شکل ۷- سیکل رانندگی در بزرگراه های ایالات متحده آمریکا

این آزمون برای سه نوع خودروی هاچ بک، سواری معمولی و وانت چهار درب انجام شده است. نتایج نشان می دهد ضریب مقاومت غلتشی تأثیر تأثیری در پایداری ندارد و تنها نوع تیر است که با توجه به جدول های ۳ و ۵ و ۷ که در هر رنج ماکسیمم

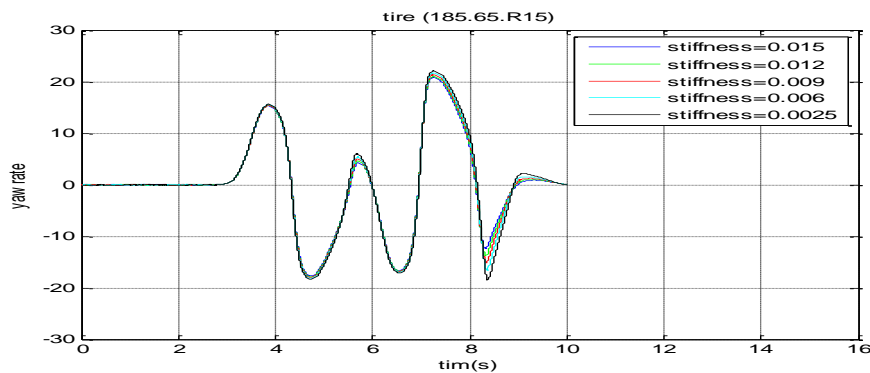
^{۱۹}HWFET

یاریت ذکر شده مشخص است فقط با عوض شدن نوع تایر یاریت تغییر کرده و نتایج نشان می دهد هرچه قطر رینگ بزرگتر و پهنا ی تایر بیشتر باشد و نسبت ارتفاع تایر به پهنا کمتر باشد تعادل خودرو بیشتر است و به این صورت می توان یک عدد برای تعیین پایداری تعادل در تایر بصورت کسر مجموع قطر و پهنا ی تایر به نسبت ارتفاع به پهنا ی تایر تعریف کرد که یک عدد بین ۳۲ تا ۸۰ در تایر های مختلف متفاوت است هرچه عدد بزرگتر باشد پایداری بیشتر است و هرچه کمتر باشد ناپایدارتر خواهد بود. این عدد از تحلیل تمام دیتابیس موجود در نرم افزار کارسیم بدست آمده است ما این عدد را عدد پایداری تایر می نامیم. که در جداول مربوط به یاریت خودرو این مقاله ذکر گردیده است. و نتایج مربوط به مصرف سوخت و آلایندگی در جداول ۴ و ۸ آورده شده است

نتایج خودروی هاچ بک



شکل ۶- یاریت تایر ۲۱۵/۵۵/۱۷ در ضریب مقاومت غلتشی های متفاوت
شکل ۷- یاریت تایر ۲۰۵/۵۵/۱۶ مقاومت غلتشی های متفاوت



شکل ۸- یاریت تایر ۱۸۵/۵۵/۱۷ در ضریب مقاومت غلتشی های متفاوت

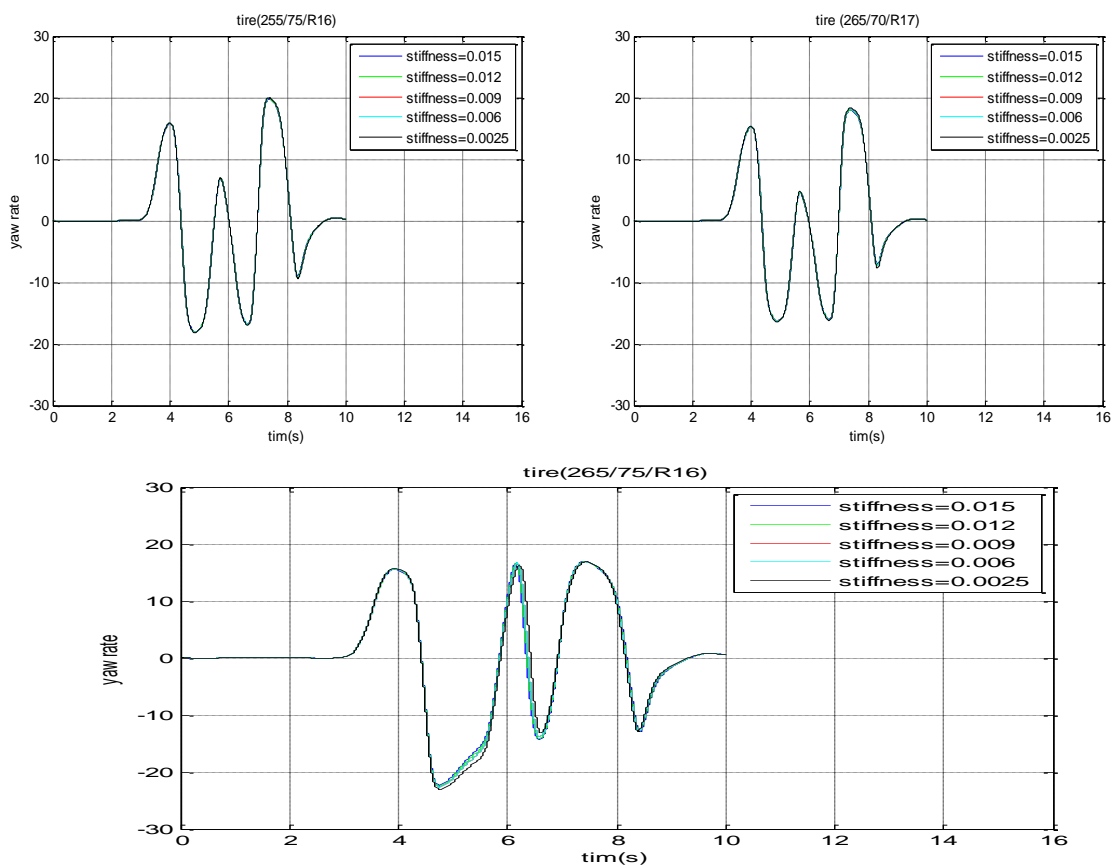
جدول ۳- ماکزیمم یاریت برای خودروی هاچ بک

stiffness	0.015	0.012	0.009	0.006	0.0025	tire static number
Tire(185/65/R15)	20.797	21.09	21.397	21.71	22.11	42.69
Tire(205/55/R16)	18.4805	18.71	18.95	19.21	19.53	59.63
Tire(215/55/R17)	18.0258	18.277	18.54	18.83	19.18	66.45

جدول ۴- ماکزیمم و مینیمم مصرف سوخت در خودروی هاچ بک

Fuel consumption LITR/100KM	CH gr/km	CO gr/km	NOX gr/km
Max=6.5	0.44	1.575	0.273
MIN=5.6	0.43	1.73	0.243

نتایج خودرو و انت چهار درب



شکل ۸- یاریت در خودروی وانت چهار درب با ضریب مقاومت غلتشی های متفاوت

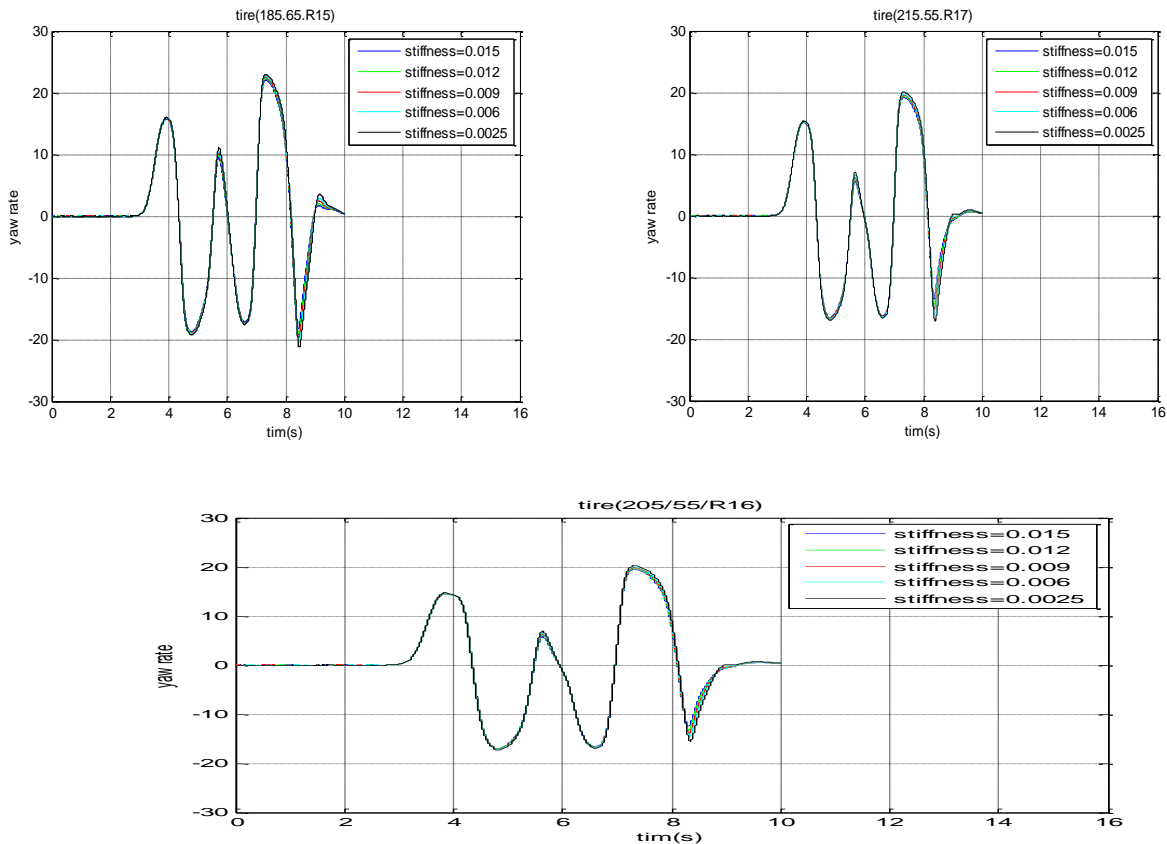
جدول ۵- ماکزیمم یاریت برای خودروی وانت چهار درب

stiffness	0.015	0.012	0.009	0.006	0.0025	Static number tire
Tire(255/75/R16)	19.77	19.86	19.93	20	20.07	54.44
Tire(265/75/R16)	19.25	19.33	19.4	19.43	19.45	56.53
Tire(265/70/R17)	17.93	18.02	18.11	18.19	18.27	64.35

جدول ۶- ماکزیمم و مینیمم مصرف سوخت در خودروی وانت چهار درب

Fuel consumption LITR/100KM	CH gr/km	CO gr/km	NOX gr/km
Max=16.6	2.09	9.75	1.07
MIN=13.2	1.89	9.75	0.96

نتایج خوردرو سواری معمولی



شکل ۸- یاریت در خوردروی وانت سواری معمولی با ضریب مقاومت غلتشی های متفاوت

جدول ۷- ماکزیمم یاریت برای خوردرو سواری معمولی

stiffness	0.015	0.012	0.009	0.006	0.0025	Static number tire
Tire(185/65/R15)	22.12	22.32	22.52	22.72	23	42.69
Tire(205/55/R16)	19.55	19.715	19.89	20.07	20.23	59.63
Tire(215/55/R17)	19.2505	19.4344	19.645	19.82	20.057	66.45

جدول ۸- ماکزیمم و مینیمم مصرف سوخت در خوردرو سواری معمولی

Fuel consumption LITR/100KM	CH gr/km	CO gr/km	NOX gr/km
Max=7.1	0.534	1.837	0.397
MIN=5.9	0.517	1.84	0.38

مراجع

- [1] Taghavifar, H., Mardani, A., Karim-Maslak, H. and Kalbkhani, H., 2013. Artificial neural network estimation of wheel rolling resistance in clay loam soil. *Applied Soft Computing*, 13(8), pp.3544-3551.
- [2] Taghavifar, H. and Mardani, A., 2013. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*, 50(2), pp.99-106.
- [3] Jin, X.J., Yin, G. and Chen, N., 2015. Gain-scheduled robust control for lateral stability of four-wheel-independent-drive electric vehicles via linear parameter-varying technique. *Mechatronics*, 30, pp.286-296.
- [4]: Hori Y. Future vehicle driven by electricity and control-research on fourwheel-motored 'UOT Electric March II'. *IEEE Trans Ind Electron* Oct.2004;51(5):954-62.

- [5]: Nam K, Fujimoto H, Hori Y. Advanced motion control of electric vehicles based on robust lateral tire force control via active front steering. *IEEE/ASME Trans Mechatronic* 2014;19(1):289–99.
- [6]: Shuai Z, Zhang H, Wang J, Li J, Ouyang M. Combined AFS and DYC control of four-wheel-independent-drive electric vehicles over CAN network with timevarying delays. *IEEE Trans Veh Technol* 2014;63(2):591–602.
- [7]: Peck, William Guy (1859). *Elements of Mechanics: For the Use of Colleges, Academies, and High Schools*. A.S. Barnes & Burr: New York. p. 135. Retrieved 2007-10-09.
- [8]: *Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy: Informing Consumers, Improving Performance -- Special Report 286*. National Academy of Sciences, Transportation Research Board, 2006"
- [9]: Hibbeler, R.C. (2007). *Engineering Mechanics: Statics & Dynamics (Eleventh ed.)*. Pearson, Prentice Hall. pp. 441–442.
- [10]: Gillespie ISBN 1-56091-199-9 p117
- [11]: Roche, Schinkel, Storey, Humphris & Guelden, "Speed of Light." ISBN 0-7334-1527-X
- [12]: Gérard-Philippe Zéhil, Henri P. Gavin, Three-dimensional boundary element formulation of an incompressible viscoelastic layer of finite thickness applied to the rolling resistance of a rigid sphere, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 50, Issue 6, 15 March 2013, Pages 833-842, ISSN 0020-7683, 10.1016/j.ijsolstr.2012.11.020.(journal article;author's page (1);author's page (2))
- [13]: Gérard-Philippe Zéhil, Henri P. Gavin, Simple algorithms for solving steady-state frictional rolling contact problems in two and three dimensions, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 50, Issue 6, 15 March 2013, Pages 843-852, ISSN 0020-7683, 10.1016/j.ijsolstr.2012.11.021.(journal article;author's page (1);author's page (2))
- [14]: Gérard-Philippe Zéhil, Henri P. Gavin, Simplified approaches to viscoelastic rolling resistance, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 50, Issue 6, 15 March 2013, Pages 853-862, ISSN 0020-7683, 10.1016/j.ijsolstr.2012.09.025.(journal article;author's page (1);author's page (2))
- [15]: epa website/%Created on: 12-Jun-1998