نشریه مباحث برگزیده در انرژی

بررسی اثر بازبودن شیشه های خودرو بر مصرف سوخت

غلامرضا زنده بودی [۱*]

۱- استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
* نویسنده مسئول (zendebudi@yu.aac.ir)

چکیده

در این تحقیق، اثر باز بودن شیشه‌های خودرو بر نیروی پسا و متعاقباً بر توان لازم و میزان مصرف سوخت مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای انجام این کار، مشخصات مدل شبیه سازی شده تا حد ممکن مشابه مدل واقعی در نظر گرفته شده‌اند. به عنوان مثال، گوشه های گردشده و شیب جانبی سطوح لحاظ گردیده شده‌اند. برای حالات مختلف، نیروی پسا محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش میزان باز بودن شیشه، ابتدا توان لازم برای غلبه بر نیروی مقاومت هوا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. به طوری که برای درصد معینی که بستگی به سرعت خودرو دارد، این توان معادل توانی است که در حالت بسته بودن شیشه لازم است.

کلید واژگان: نیروی پسای خودرو، مصرف سوخت، طراحی بدنه خودرو

Effect of open windows on car drag

G.R. Zendehbudi[1*]

1- Eng. Department, Yasouj University, Yasouj
* (zendebudi@yu.ac.ir)

Abstract

Effect of open windows on car drag and consequently on the required power and fuel consumption has been investigated in this study. To do this, a simulated model as possible as similar to the actual model has been considered. For example round angles and side slopes have been considered. The drag caused by aerodynamic forces has been calculated, for different cases. Results show, as the percentage of windows opening increased, the car drag first decreased and then increased such that, the car drag with open windows for a certain percentage is equal to that of the closed windows car. This certain percentage depends on the car velocity.

Keywords: Car drag, Fuel consumption, Car body design

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-01-03]

۱- مقدمه

از آنجا که قسمت عمده ای از نیروی موتور خودرو، مخصوصاً در سرعتهای زیاد، صرف غلبه بر مقاومت هوا می گردد، کاهش این نیرو همیشه یکی از موضوعات قابل توجه و مورد مطالعه بوده است. با توجه به قیمت روز افزون سوخت و همچنین اثر مخرب مصرف سوختهای فسیلی بر محیط زیست، بررسی هر عاملی که بر میزان نیروی کشش (پسا) و در نتیجه مصرف سوخت موثر است دارای اهمیت زیادی می‌باشد. باز و یا بسته بودن شیشه خودرو بر میزان مقاومت هوا و نیروی کشش آن اثر دارد. می‌توان با بررسی اثر باز بودن شیشه خودرو بر میزان مقاومت هوا و پیدا کردن رابطه درصد باز بودن شیشه و نیروی مذکور، زمینه صرفه جویی در مصرف سوخت، در ارتباط با این موضوع، را ایجاد نمود. هدف از انجام کار حاضر، بررسی اثر باز بودن شیشه‌های خودرو بر نیروی کشش آن می‌باشد. برای انجام این کار باید ضریب کشش (درگ) در حالتهای مختلف از صفر بودن درصد باز بودن شیشه‌ها تا صددرصد باز بودن آنها محاسبه و مقایسه گردد. اگر درصد معینی از باز بودن شیشه خودرو باعث کاهش میزان مقاومت هوا و نیروی پسا گردد، می‌توان با طراحی مکانیزم مشابه‌ای، امکان کاهش نیروی پسا را فراهم نمود.

در این زمینه تاکنون کار زیادی انجام نشده و اکثر کارهای انجام شده مربوط به آیرودینامیک خودرو بوده است. بعنوان نمونه در ۱۹۸۱، هندس و همکارانش [۱] با بررسی آیرودینامک خودرو اصلاحاتی را برای کاهش نیروی درگ (کشش) پیشنهاد داده اند. در ۱۹۸۶، فلچر و همکارانش [۲] ثابت کرده اند با به دام انداختن گردابه‌ها می‌توان باعث کاهش نیروی درگ شد. در ۱۹۹۵، واتکینز و همکارانش [۳] عوامل مؤثر بر شدت تلاطم جریان اطراف خودرو را بررسی کرده و با استفاده از نتایج آزمایش هایی که در تونل باد انجام شده است، نشان داده اند که سرعت باد در محیط و همچنین عوامل ترافیکی و حتی درختان اطراف جاده اثر زیادی بر شدت تلاطم ایجاد شده دارند. در ۲۰۰۲، جانگا و همکارانش [۴] یک روش مرکب را برای بهینه سازی شکل خودرو ارائه نمودند. در ۲۰۱۲، کراجنوویک و همکارانش [۵] نوعی شبیه سازی عددی را جهت کنترل فعال جریان اطراف خودرو ارائه دادند. در آن شبیه سازی از روش گردابه های بزرگ استفاده شده و نشان داده شده است که شیارهای جانبی اثر زیادی بر نیروی پسا دارد. در این زمینه کارهای دیگری توسط برگس [۶]، راسیلون [۷]، ویلوکس [۸]، کاتز [۹]، پارکس [۱۰] و هوشی [۱۱] انجام شده است.

در این تحقیق، یک آیرودینامیک معمول برای خودرو در نظرگرفته شده و اثر باز بودن شیشه خودرو بر میزان مقاومت هوا و رابطه درصد باز بودن شیشه مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه ضریب درگ ابتدا مدلی از خودرو، که تا حد ممکن به نمونه واقعی شباهت دارد، در نظر گرفته شده و مختصات نقاط مهم آن محاسبه شده است. سپس با توجه به شرایط مرزی، مشخصات مدل در نرم افزار تولید شبکه گمبیت[1] وارد کرده و فایل خروجی آن به عنوان ورودی به نرم افزار فلونت داده شده است. در این نرم افزار پس از تنظیمات لازم و حل معادلات حاکم نتایج لازم اخذ شده است.

۲- معادلات حاکم بر جریان اطراف یک خودرو

جریان اطراف یک خودرو بسیار پیچیده است. در این تحقیق برای حل جریان اطراف یک خودرو از نرم افزارهای گمبیت و فلونت استفاده شده است. نرم افزار گمبیت برای تولید شبکه و نرم افزار فلونت برای حل معادلات حاکم بر جریان اطراف خودرو مورد استفاده قرار گرفته شده است. معادلات حاکم بر جریان عبارتند از:

الف) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۱)$$

ب) معادلات ممنتوم

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} \qquad (۲)$$

که در آن:

$$\tau_{ij} = \mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

پ) معادله شدت تلاطم (k)

$$\rho\frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ji}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho\varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] \qquad (۳)$$

ت) معادله نرخ اتلاف (ε)

$$\rho\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1}\tau_{ij}\frac{\varepsilon}{k}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] \qquad (۴)$$

که در آن ها:

$$\mu_T = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon$$

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44,\ C_{\varepsilon 2} = 1.92,\ C_\mu = 0.09,\ \sigma_\varepsilon = 1.3,\ \sigma_k = 1.0$$,

در معادلات (۱) تا (۴) برای اختصار از مختصات و مولفه‌های سرعت اندیسی استفاده شده است. شرح بیشتر این معادلات در کتاب های مختلف از جمله مرجع [۱۲]، داده شده است.

۳- نتایج و بحث

در اولین تست، شیشه ها بسته فرض شده اند تا بتوان نتایج آنرا با حالتهای شیشه باز مقایسه نمود. در تست‌های بعد حالتهای

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-01-03]

مختلف باز بودن شیشه ها در نظر گرفته شده است. با انتخاب متغیرهای نشان داده شده در جدول۱، نتایج نشان داده شده در جدول ۲ به دست آمده است.

جدول ۱. مشخصات مدل

متغیر	مقادیر
سرعت خودرو	۲۰ و ۵۰ (m/s)
طول خودرو	m۴
ارتفاع خودرو	m۱
عرض خودرو	m۱/۲
فاصله زیر خودرو	m۰/۲
شعاع گرد شدگی	m۰/۱
شیب سطح جلو	۸ درجه
شیب سطح عقب	۱۱/۹ درجه
زاویه شیشه جلو	۶۰ درجه
زاویه شیشه عقب	۸۰ درجه
طول نسبی قسمت جلو	(Rel.)۰/۳
طول نسبی قسمت عقب	(Rel.)۰/۲
ارتفاع نسبی قسمت میانی	(Rel.)۰/۴
برآمدگی و گردشدگی سقف	m۰/۱

لازم به ذکر است که با توجه به اثر اندازه فاصله‌های اطراف بر جواب، در این تحقیق از حداقل اندازه لازم استفاده شده است. چون در صورت استفاده از اندازه های بیشتر برای فاصله‌های اطراف، زمان اجرای برنامه به طور نامعقولی زیاد می‌شد. برای یافتن اندازه مناسب فاصله‌های اطراف، آنقدر اندازه فاصله‌های اطراف را تغییر داده شده تا جواب مستقل از اندازه فاصله‌های اطراف اخذ گردد. نتایج نشان داد که اندازه مناسب برای فاصله‌های اطراف باید حداقل ۵ برابر ابعاد خودرو باشد. اندازه ۰/۱ هم برای ریزی متوسط شبکه همراه با تمرکز گره در نواحی نزدیک خودرو در نظر گرفته شد، به طوری که استقلال جواب از تعداد گره و از اندازه فاصله‌های اطراف محرز گردید.

نکته قابل توجه ای که در این نتایج دیده می‌شود این است که در مراحل اولیه باز کردن پنجره خودرو، نیروی پسا (درگ) کاهش پیدا می‌کند و بعد از آن افزایش می‌یابد. در ستون سوم جدول۲، مشاهده می‌شود که در سرعت ۲۵ m/s (۹۰km/hr) با باز کردن پنجره خودرو به میزان ۱۰ cm ، نیروی پسا کاهش پیدا می‌کند و بعد از آن افزایش می‌یابد و در حدود ۶۵ cm نیروی پسا معادل حالت بسته بودن پنجره هاست. در ستون چهارم جدول ۲، مشاهده می‌شود که در سرعت ۵۰ m/s (۱۸۰ km/hr) با باز کردن پنجره خودرو تا میزان ۲۰ cm ، نیروی پسا کاهش پیدا می‌کند و بعد از آن افزایش می‌یابد و در حدود ۶۰cm نیروی پسا معادل حالت بسته بودن پنجره هاست. کاهش نیروی درگ در ابتدا به علت مکش جریان و کاهش ناحیه جدایش در آن منطقه است. با افزایش میزان باز بودن شیشه تلاطم جریان افزایش پیدا کرده و افزایش نیروی درگ به علت افزایش تلاطم جریان می باشد.

جدول۲ . نسبت ضریب درگ بر حسب ارتفاع شیشه باز

ردیف	ارتفاع (cm)	نسبت ضریب درگ	
		۲۵ (m/s)	۵۰ (m/s)
۱	۰	۱,۰۰	۱,۰۰
۲	۱۰	۰,۹۸۳	۰,۹۸۹
۳	۲۰	۰,۹۸۷	۰,۹۸۴
۴	۳۰	۰,۹۸۹	۰,۹۸۵
۵	۴۰	۰,۹۹۰	۰,۹۹۲
۶	۵۰	۰,۹۹۱	۰,۹۹۰
۷	۶۰	۰,۹۹۵	۰,۹۹۹
۸	۷۰	۱,۰۱	۱,۰۱
۹	۸۰	۱,۰۳	۱,۰۲

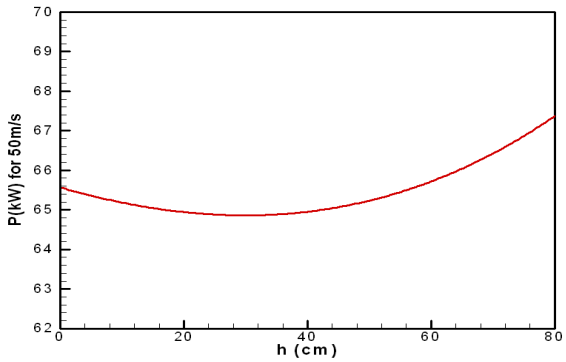
لازم به ذکر است که نیروی برا هم به علت شکل آیرودینامیکی خودرو بوجود می‌آید و باعث می‌گردد که نیروی اصطکاک بین خودرو و جاده کاهش یابد. هر چند مقادیر زیاد آن ممکن است خطرناک باشد و باعث انحراف خودرو گردد ولی نتایجی که برای خلاصه کردن مقاله در اینجا آورده نشده است، نشان داده‌اند که مقدار آن چندان زیاد نیست. در صورت زیاد بودن نیروی برا، خودرو پرواز خواهد کرد. البته پروازی کنترل نشده که باعث انحراف آن از مسیر می‌گردد.

توانی که صرف غلبه بر مقاومت هوا می‌گردد، دارای اهمیت زیادی است. زیرا در سرعت‌های بالا ، این توان بیشتر از توانی است که موتور خودرو صرف غلبه بر اصطکاک های داخلی و خارجی می‌کند. به عنوان نمونه توان تولیدی موتور پراید حدود ۴۷kW می‌باشد و توانی که این نوع خودرو در سرعت‌های بالا باید صرف غلبه بر مقاومت هوا کند بیش ۸۰ درصد این مقدار خواهد بود. برخی از خودروها در شرایط خاص مثلاً در سراشیبی توانی بیشتر از توان تولیدی موتور خود صرف غلبه بر مقاومت هوا می‌کنند. که البته در این شرایط از انرژی پتانسیل هم علاوه بر انرژی سوخت استفاده می‌شود.

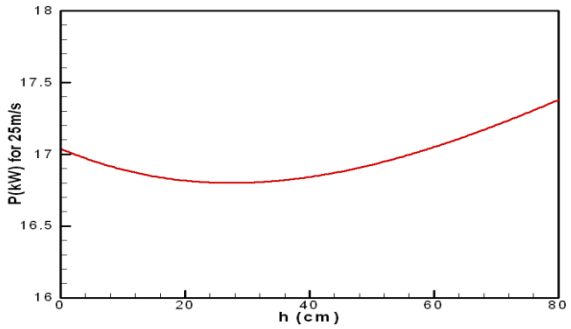
با توجه به اهمیت زیاد توان لازم جهت غلبه بر مقاومت هوا، در شکل های ۱ و ۲ توانی که در خودرو نمونه، صرف غلبه بر مقاومت هوا می‌گردد، نشان داده شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که حداقل توان در سرعت ۵۰ متر بر ثانیه در حالتی است که حدود ۴۲ درصد شیشه باز می‌باشد. شکل ۲ نشان می‌دهد که حداقل توان در سرعت ۲۵ متر بر ثانیه در حالتی است که حدود ۳۷ درصد شیشه باز می‌باشد. ضمناً در صورت باز

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-01-03]

بودن شیشه به میزان ۷۰٪ در سرعت ۵۰متر بر ثانیه و ۶۰٪ در سرعت ۲۵ متر بر ثانیه، توانی که صرف غلبه بر مقاومت هوا می‌گردد معادل این توان در حالت بسته بودن شیشه است.



شکل ۱. توان بر حسب میزان باز بودن شیشه در سرعت ۵۰ m/s



شکل ۲. توان بر حسب میزان باز بودن شیشه در سرعت ۲۵m/s

۶- نتیجه گیری

در این مقاله اثر باز بودن شیشه‌های خودرو بر میزان مقاومت هوا که به نوبه خود بر میزان مصرف سوخت موثر می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار، یک برنامه کامپیوتری نوشته شده که قادر است برای هر مدل خودرو، نیروی کشش (درگ) را محاسبه نماید. در مدل تهیه شده، گردبودن گوشه ها و شیب طولی بدنه و همچنین شیب جانبی آن در نظر گرفته شده است. در صورت وجود اشکال و یا تناقض در اطلاعات داده شده، برنامه ضمن قرمز کردن نمای شماتیک خودرو، اشکال مربوطه را اعلام می‌نماید. در حالتهای مختلف از صفر بودن درصد باز بودن شیشه‌ها تا صددرصد باز بودن آن، توان لازم برای غلبه بر نیروی مقاومت هوا محاسبه و مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان باز بودن شیشه، که بستگی به سرعت خودرو دارد، ابتدا توان لازم برای غلبه بر نیروی مقاومت هوا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. به طوری که برای درصد معینی که بستگی به سرعت خودرو دارد، این توان معادل توانی است که در حالت بسته بودن شیشه لازم است.

منابع

[1] S.J. Hands and M.M. Zdravkovich, 1981. Drag reduction for a passenger car towing a caravan, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 9: 137-143.

[2] C.A.J. Fletcher and G.D.H. Stewart, 1986. Bus drag reduction by the trapped vortex concept for a single bus and two buses in tandem, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 24: 143-168.

[3] S. Watkins, J.W. Saunders, P.H. Hoffmann, 1995. Turbulence experienced by moving vehicles; Part I. Introduction and turbulence intensity, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 57: 1-17.

[4] Hong-Ming Janga, Falin Chen, 2002. On the determination of the aerodynamic coefficients of highway tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90: 869-896.

[5] S. C. Burgess, J. M. J. Choi, 2003. A parametric study of the energy demands of car transportation: a case study of two competing commuter routes in the UK Transportation Research Part D, Transport and Environment, Volume 8, Issue 1: 21-36

[6] G. Roussillon, 1981. Contribution to accurate measurement of aerodynamic drag on a moving vehicle from coast-down tests and determination of actual rolling resistance, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 9, Issues 1-2: 33-48.

[7] Wilcox, D.C., 1993. Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, Inc., Cadada, 87-90.

[8] Katz, J., 1995. Race Car Aerodynamics, Bentley publishers, Cambridge, 73-241.

[9] Parkes, A. M., Franzen, S., Driving Future Vehicles, Taylor & Francis, London, 346-349.

[10] Hoshi, M., 1984. Reducing friction losses in automobile engines Tribology International, Volume 17, Issue 4: 185-189.

[11] R. Singh, H. Xie, R.J. Comparin, 1989. Analysis of automotive neutral grear rattle, Journal of Sound and Vibration, Volume 131, Issue 2, 8: 177-196.

[12] Streeter, V.L., Wylie, E.B., Benford, K.W., 1998. Fluid Mechanics, McGraw-Hill, Boston, 186-215.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-01-03]