# بررسی تجربی دنباله یک مدل خودرو با استفاده از دادههای حاصل از جریانسنج سیم داغ در جریان ناپایا

وحید برزنونی دانشجوی دکتری،گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران عبدالامیر بک خوشنویس<sup>\*</sup> دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

#### چکیدہ

در این پژوهش، تغییرات سرعت، و انرژی اغتشاشات در دنباله مدل خودرو پژو ۴۰۵ در یک جریان ناپایا اندازه گیری و همچنین روند تغییرات ضریب پسا با افزایش سرعت خودرو (سرعت جریان ورودی) بررسی شده است. به منظور شبیه سازی جریان سیال از تونل باد مدار باز و دمشی استفاده شده است که حداکثر اغتشاشات اسمی و سرعت برای این دستگاه به ترتیب ۱ /۰٪ و ۳۰ m/s می باشد. افزایش سرعت به طور پیوسته و توسط یک دستگاه اینورتر که سبب تغییر در سرعت دورانی الکترو موتور تونل باد می شود، صورت گرفته است. نتایج نشان دهنده سه رژیم متفاوت در پروفیل سرعت در دنباله مدل و در فواصل نزدیک به مدل است و با افزایش فاصله از مدل با زیاد شدن سرعت در دنباله سه رژیم مذکور به یکدیگر نزدیک می شوند. میزان انرژی اغتشاشی جریان در دنباله با افزایش ارتفاع در فواصل نزدیک به مدل افزایش می یابد. ضریب پسای خودرو نیز ابتدا یک روند کاهشی و سپس افزایش می یابد. **کلمات کلیدی:** جریان ناپایا ، مدل خودرو، ضریب پسا، شدت اغتشاشات، جریان سنج سیم داغ.

## An Experimental Investigation on Wake of a Car Model Flow by Using Hot-Wire Anemometer in Unsteady Flow

V. BarzanooniMechanical Division, Engineering Faculty, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, IranA. B. KhoshnevisMechanical Division, Engineering Faculty, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

#### Abstract

In this study, changes in velocity and turbulence energy in the wake of a Peugeot model and the drag coefficient changes in an Unsteady Flow, with increasing vehicle speed (inlet velocity), are Measured and evaluated. The blow open circuit wind tunnel to simulate fluid flow is used. The maximum disturbances and nominal maximum speed of the device, respectively are, 0. 1% and 30 m / s. The inlet wind velocity has been increased continuously by an inverter that causes the changes in rotational speed of the wind tunnels electro motor. The results showed three different regimes in the velocity profile of the near wake model. With increasing distance from the model and with increasing velocity, three regimes in the wake are close to each other. Turbulence intensity is measured in the wake and drag coefficient decreased with increasing the flow Speed and reached to a minimum value and then increased.

Keywords: Unsteady Flow, car model, drag coefficient, turbulence intensity, hot wire anemometry.

#### ۱– مقدمه

از آنجایی که روشهای تئوری و محاسبات هنوز با طراحی عملی مهندسی فاصله دارد، آزمایش با دستگاه تونل باد اغلب تنها روشی است که برای تعیین درست پارامترهای جریان، از جمله شدت اغتشاشات و تغییرات سرعت در دنباله مدل بهکار میرود. بدین منظور در این تحقیق به بررسی تجربی دنباله خودرو در یک جریان ناپایا پرداخته و روند و میزان تغییرات سرعت و شدت اغتشاشات جریان در دنباله خودرو نشان داده شده است. در روشهای تجربی نیاز به مدل، تجهیزات آزمایش و دستگاههای اندازه گیری است و بهطور معمول پرهزینه تر از روشهای عددی و تحلیلی است.

در تحلیلهای آیرودینامیک خودرو، بهطور کلی سه پارامتر اهمیت دارد: ۱- اندازه گیری نیروی پسا در سرعتها و شکلهای مختلف برای رسیدن به مدل بهینه،۲- اندازه گیری مولفههای سرعت و شدت

در روشهای تجربی مهم ترین وسیله مورد استفاده تونل باد است که توسط آن می توان به هر یک از پارامترهای فوق دست یافت. این در حالی است که به طور دائم تکنیکهای نوینی برای آنها در حال ارائه است [۱].

عموماً برای اندازه گیری سرعت از لوله پیتوت استفاده می شود که متأسفانه کارایی خود را در جریان هایی که اغتشاش آنها بالا است، از دست می دهد. به همین علت در این تحقیق از جریان سنج سیم داغ یک بعدی برای اندازه گیری پارامترهای جریان استفاده شده است. این دستگاه ساخت شرکت فراسنجش صبا بوده و قادر است شدت اغتشاش های جریان را تا ۳۰ کیلوهرتز اندازه گیری کند. مکانیزم انتقال دهنده پراب نیز سه بعدی بوده و دارای دقتی در حدود ۱/۰ میلی متر است.

اغتشاشات در دنباله مدل۳- آشکارسازی جریان در اطراف خودرو و مشخص کردن محل جدایش جریان.

<sup>\*</sup> نويسنده مكاتبه كننده، آدرس پست الكترونيكي: Khosh1966@yahoo.com

تاکنون مطالعات تجربی و عددی بسیاری بر روی مدل های مختلف خودرو انجام شده است. از جمله این پژوهش ها می توان به مقاله احمد [۲] اشاره کرد. وی مدل سادهای شبیه به یک خودرو را درنظر گرفته و با آزمایش مدلهایی با زاویههای مختلف شیشه عقب، نتایج حاصله را ثبت کرده است. برخی از محققها از جمله [۴-۳] مدل هایی شبیه به مدل اخیر را به صورت عددی، شبیه سازی کردهاند. از آنجا که نتیجه های ثبت شده توسط احمد محدود است، معيار مقايسه اين كارهاى عددى نیز به طور عموم محدود به تغییرات ضریب پسا بوده است. آزمایش های دقیقی بر روی این مدل توسط [۶-۵] انجام گرفته و نتیجههای تجربی مختلفی نظیر بردارهای سرعت، تنشهای رینولدز و... توسط LDA اندازه گیری و ثبت شده است. خالقی [۷] درآزمایش هایی نمودارهای شدت اغتشاشی و نمودارهای سرعت را برای یک نمونه خودرو بهدست آورد. صدفیان و آذرخویش[۸] اثر چند پارامتر را در محاسبه ضریب پسا بررسی کردند. شایسته [۹] سعی کرد یک مدل خودرو را بهصورت عددی مورد مطالعه قرار دهد. همچنین جوارشکیان و همکارانش[۱۰] سعى كردند بر روى اين مدل، مطالعه تجربي انجام دهند. واتكينس [۱۱] نیز به بررسی تغییرهای ضریب پسا و برا دو مدل احمد پشت سر هم پرداخته است. متيو و پاتريک [۱۲]به تحليل جريان در دنباله يک مدل هندسی پشت مربعی پرداختند و به بررسی اثرات گردابه های تشکیل شده در پشت مدل پرداختند. توماس و میچارد [۱۳]به بررسی کنترل فعال جریان در پشت یک مدل دو بعدی خودرو پرداختند. گلیرون [۱۴] به آشکارسازی جریان و بررسی مکان جدایش جریان پرداخت. اما از آنجا که بیشتر تحقیقات در جریان های پایا انجام شده است در این تحقیق سعی شده مشخصه های جریان در دنباله مدل خودرو در یک جریان ناپایا اندازه گیری (حرکت خودرو با شتاب ثابت)، بررسی و ارائه شود.

هندسه انتهایی تمام انواع خودرو هایی که تولید میشوند در چهار شکل کلی (notchback, fastback, hatchback, squareback) میباشند [۱۵]. مدل انتخاب شده در کار حاضر نمونهای از انواع مدل های notchback میباشد که تولید انبوهی دارد.

# ۲-شرایط و تجهیزات آزمایش

دستگاه تونل باد مورد استفاده در این آزمایش، در شکل ۱ نشان داده شده است و از نوع دمنده و مدار باز است وسرعت سنج استفاده شده در این تحقیق از نوع دما ثابت (CTA) میباشد که توانایی اندازه گیری سرعت متوسط، اغتشاشات و فرکانس گردابههای خارج شونده از پشت مدل را دارد.

دستگاه تونل باد و جریان سنج سیم داغ هر دو ساخت شرکت فراسنجش صبا می باشند. حداکثر اغتشاشهای اسمی جریان آزاد برای دستگاه تونل باد ۱/۰درصد بوده که از این حیث حائز اهمیت است. حداکثر سرعت نیز m/s ۳۰ است. این دستگاه دارای محفظه آزمایشی با سطح مقطعی به ابعاد ۴۰×۴۰ و طول ۱۸۰ سانتیمتر است. جریان ورودی در این آزمایش از صفر تا ۲۰ متر بر ثانیه و در بازه زمانی ۲۰ ثانیه افزایش یافته است. برای افزایش سرعت جریان ورودی از یک دستگاه اینورتر استفاده شده است که به طور یکنواخت سبب افزایش دور موتور دمنده دستگاه تونل باد با توجه به زمان تعریف شده، می شود.

اساس کار اینورتر بدین صورت است که با دریافت ولتاژ متغیر ورودی که توسط PLC ارسال می شود، با اعمال جریان با فرکانس متغییر می توان سرعت یک سیستم را کنترل کند.

PLC تصمیم میگیرد که در هر لحظه سرعت موتور چقدر باشد این تصمیم با استفاده از برنامه نوشته شده در آن اتخاذ میگردد

مدل استفاده شده در این تحقیق یک مدل ساده شده پژو ۴۰۵ با ابعاد فعلی بدون جزئیاتی از قبیل آینهها، آنتن، چرخها و ... هستند. مدل مورد آزمایش دوبعدی است، به گونهای که جریان فقط در امتداد محفظه

آزمایش جریان دارد، و صرفاً پارامتر u', u' در دنباله مدل اندازه گیری شده است. (مدل مورد آزمایش در امتداد عرض مقطع آزمایش کشیده شده است و در طرفین بهطور کامل به سطح جانبی مقطع آزمایش چسبیده است و هیچ جریانی از قسمت جانبی مدل عبور نمی کند. جریان صرفاً از روی مدل مورد آزمایش عبور می کند). از اثرات زمین در این تحقیق صرف نظر شده است و دو مدل یکنواخت و به طور متقارن روی هم قرار گرفته اند.

توجه به ضریب اندازه Blockage به عنوان یک پارامتر مهم، اولین نکته در ساخت مدل است. مقدار پیشنهادی برای مدل کمتر از ۰/۱ است تا بتوان از اثر جریان سیال روی دیواره های جانبی مقطع آزمایش بر سطح مدل چشم پوشی کرد. در این تحقیق مقدار انتخابی برای این ضریب با توجه به شرایط آزمایشگاهی و تونل باد، برای هر مدل ۰/۰۴۲ و در حالت کلی ۰/۰۸۴ است که برطبق آن مقیاس مدل ها ۱/۷۵ است [۵۵–۱۴].

داده برداری ها در پشت مدل در فواصل x/L=0.01,0.5,1,2 و در ارتفاع های:

Y=-25,-20,-19,-18,....,0,10,2,....,20,25mm مطابق شکل ۲ صورت گرفته است. تکنیکهای عملی برای محاسبه ضریب نیروی پسا به چند روش تقسیم میشود. روش بهکار رفته در این تحقیق استفاده از روش Wake-Survey است. اساس این روش در اختلاف مومنتوم در پشت و جلو جسم است. مشکل این روش در اندازهگیری پارامترهای جریان و بهویژه جریانهای بهشدت مغشوش میشود که متأسفانه کارایی خود را در جریانهای که اغتشاش آنها بالا است، از دست میدهد. بههمین علت در این تحقیق از جریانسنج سیم داغ یک بعدی برای اندازهگیری پارامترهای جریان استفاده شده است.





اما از تغییرات چگالی جریان و جمله لزج صرفنظر شده بود. کل معادلـه بهصورت زیر بیان میشود:  $c_{\rm d} = \int \left(\frac{p_{s,e} - p_{s,w}}{q_{\infty}}\right) d(\frac{y}{l}) + 2 \int \frac{\overline{u}}{u_{\infty}} \left(1 - \frac{\overline{u}}{u_{\infty}}\right) d(\frac{y}{l}) \\ + \frac{1}{a_{\infty}} \int \tau_{\rm xx} d(\frac{y}{l})$ 

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\mathrm{xx}} &= \mu \left( 2 \frac{\partial \overline{\mathbf{u}}}{\partial \mathbf{x}} - \frac{2}{3} \nabla . \overline{\mathbf{v}} \right) - \rho \overline{\mathbf{u}^2} - 2 \overline{u} \overline{\rho} \overline{u} - \overline{\rho} \overline{u^2} \\ C_d &= \int \left( \frac{P_{S,a} - P_{S,W}}{q_{\infty}} \right) d \left( \frac{y}{l} \right) + 2 \int \frac{\overline{u}}{U_{\infty}} \left( 1 - \frac{\overline{u}}{U_{\infty}} \right) d \left( \frac{y}{l} \right) - 2 \int \frac{\overline{u^2}}{U_{\infty}^2} d \left( \frac{y}{l} \right), \ (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{solution of the set of the set$$

$$C_{d} = 2\int \sqrt{\frac{\bar{q}}{q_{\infty}}} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{q}}{q_{\infty}}}\right) d\left(\frac{y}{l}\right) + \frac{1}{3} \int \frac{(y'^{2} + w'^{2} + u'^{2})}{U_{\infty}^{2}} d\left(\frac{y}{l}\right), \tag{7}$$

و در صورتی که فرض کنیم 
$$v' = v' = w$$
 به معادله زیر میرسی

$$C_{d} = 2\int \sqrt{\frac{\bar{q}}{q_{\infty}}} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{q}}{q_{\infty}}}\right) d\left(\frac{y}{l}\right) + \frac{1}{3}\int \frac{q'}{q_{\infty}} d\left(\frac{y}{l}\right), \tag{7}$$

$$\sum_{b \in c_{1}} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i} \int_{c_{1}} \frac{q'}{q_{\infty}} d\left(\frac{y}{l}\right) dx$$

$$\overline{q}' = \frac{1}{2}\rho(\overline{u'}^2 + \overline{v'}^2 + \overline{w'}^2).$$

از آنجایی که مدل مورد آزمایش دوبعدی است، به گونهای که جریان فقط در امتداد محفظه آزمایش جریان دارد، بنابراین صرفاً پارامترهای متوسط زمانی <sup>U, V</sup> در دنباله مدل وجود دارند. ولی چون اغتشاش طبیعت سه بعدی دارد، مولفه اغتشاشی در جهت عمود بر جریان را نیز خواهیم داشت که به علت دو بعدی بودن جریان، با تقریب قابل قبولی از آن صرف نظر میکنیم.



شکل۲- نمای طرحواره مدل داخل تونل باد و مکانیزم دادهبرداری

## ۳- اعتبارسنجی



شکل ۳- پروفیل سرعت متوسط برای استوانه مربعی در دو مقطع مختلف

همان طور که مشاهده می شود، تطبیق های به نسبت خوبی بین نتیجه های حاضر با نتیجه های ساها و همکارانش [۱۶] و همچنین شادآرام و همکارانش [۱۷] که به صورت تقریب عدد رینولدز یکسانی دارند، مشاهده می شود. (لازم به یادآوری است این مطلب فقط جهت اعتبار بخشیدن به نتیجه های حاضر آورده شد.).

#### (Wake-Survey Equation) – ۴ – معادله های حاکم –

معادلههایی که برای اندازه گیری نیروی پسا استفاده می شوند به-راحتی با اعمال قانونهای مومنتوم و بقای جرم در یک حجم کنترل، قابل استخراج هستند. گلدستون [۱۸] در سال ۱۹۳۶ نتیجههای

(مدل مورد آزمایش در امتداد عرض مقطع آزمایش کشیده شده است و و در طرفین بهطور کامل بهسطح جانبی مقطع آزمایش چسبیده است و هیچ جریانی از قسمت جانبی مدل عبور نمی کند. جریان صرفاً از روی مدل مورد آزمایش عبور می کند). معادله (۳) نیز برای محاسبه ضریب پسا مدل دوبعدی بهدست آمده است. بنابراین، از این معادلات می توان برای اندازه گیری ضریب نیروی پسا بهروش Wake-Survey در داخل تونل باد استفاده کرد و نتیجههای بهدست آمده معتبر است[77]. در این تحقیق از معادله (۳) برای اندازه گیری ضریب نیروی پسا استفاده شده است. لازم به توضیح است که در تحقیق حاضر اثرات زمین نادیده گرفته شده است و از آنجا که از دو مدل به صورت قرینه نسبت به هم استفاده شده است لذا نیمی از ضریب پسای محاسبه شده را در نظر می گیریم.

# ۵-تحلیل نتایج

روند تغییرات سرعت در دنباله خودرو در ارتفاعات مختلف و برای سه موقعیت طولی رسم شده است. با توجه به اینکه سرعت جریان از صفر تا نهایتا" m/s متغیر است لذا عدد رینولدز بین صفر تا \* 1.08 10<sup>5</sup> متغیر است. در (شکل های۴ تا ۱۱) مشاهده میشود که در ۵ ثانیه اول روند افزایش سرعت در دنباله برای سایر موقعیتها یکسان است و با گذشت زمان و افزایش سرعت جریان ورودی تفاوتها آشکار می شود. در فواصل نزدیک به خودرو(X/L=0.01) میزان افزایش سرعت با گذشت زمان تا موقعیت ارتفاعی Y=11mm (متناظر با سقف صندوق عقب خودرو) كمتر از دو موقعیت دیگر است و با افزایش ارتفاع روند افزایش سرعت نسبت به دو موقعیت طولی دیگر بیشتر است و این به خاطر وجود جت سیال در قسمت فوقانی خودرو میباشد. در ارتفاعات پایین تر روند تغییرات سرعت به گونهای است که ابتدا افزایشی بوده و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه کاهش یافته و مجددا افزایش مییابد. این رخداد برای موقعیت X/L=0.01 ملموس تر است. مطلب دیگر اینکه با دور شدن از مدل و برای موقعیت های ارتفاعی بالاتر از Y=11mm (معادل ارتفاع صندوق عقب) اثرات دنباله مدل از بین رفته است.



شکل ۴- تغییرات سرعت در دنباله خودرو















شکل ۸- تغییرات سرعت در دنباله خودرو



شکل۹- تغییرات سرعت در دنباله خودرو



شکل ۱۰ – تغییرات سرعت در دنباله خودرو



شکل ۱۱- تغییرات سرعت در دنباله خودرو

#### تحليل فركانسى

به منظور بررسی دقیقتر انرژی اغتشاشهای جریان سیال، رشد، نمو و تجزیه و تحلیل آنها، نیاز است که این اغتشاشها در حوزه فرکانس بررسی شود. هنگامی که اغتشاشهای سرعت جریان از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل میشود  ${u'}^2(f)$  بیانگر مقدار انرژی آشفتگی مربوط به مولفه محوری اغتشاش است.

تبدیل فوریه سیگنالهای انرژی اغتشاشی سیال برای اندازه گیری مقدار فرکانس سیگنالهای گذرا و دائم مفید است .مهمترین کاربرد تبدیل سری فوریه در پردازش سیگنال است. همان طور که میتوان برخی از توابع را به صورت بسط تیلور از توابع چند جملهای نوشت، میتوان توابع متناوب را به خوبی بر حسب توابع سینوسی با فاز اولیه و ضریب دلخواه نوشت. حال تبدیل شکل سیگنال به سری فوریه با روشهای

تبدیل سری فوریه انجام میشود. به وسیله تبدیل گسسته فوریه میتوان توابع و سیگنالهای گسسته را از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل کرد. در این پژوهش به منظور تحلیل نحوه توزیع انرژی سیگنال در ارتفاعات مختلف تحلیل سری فوریه برای سیگنال در ارتفاعات مختلف مورد توجه قرار گرفته است. شکلهای ۱۳ و ۱۴ تغییرات انرژی با فرکانس را در نقطه ،۱۳mا=y از کف مدل،۱۳mm=y معادل ارتفاع صندوق عقب و در ارتفاع mm، معادل سقف خودرو نشان میدهد. بررسیها نشان میدهد(شکلهای ۱۲ تا ۱۵ ) میزان انرژی اغتشاشی جریان در دنباله با افزایش ارتفاع در فواصل نزدیک به مدل به تدریج افزایش مییابد و با دور شدن از مدل میزان آن برای ارتفاعات مختلف حدودا یکسان است. واضح است با افزایش سرعت جریان ورودی میزان اغتشاشات جریان و به دنبال آن میزان انرژی اغتشاشی افزایش مییابد.



شکل۱۲- انرژی اغتشاشی جریان دنباله در موقعیت x/l=0.01



شکل 17- انرژی اغتشاشی جریان دنباله در موقعیت x/l=0.5



شکل۱۴- انرژی اغتشاشی جریان دنباله در موقعیت x/l=1



شکل های ۱۶ تا ۲۱ پروفیل های سرعت در دنباله مدل خودرو در بازه زمانی ۲۰ تا ۲۰ ثانیه و در موقعیت طولی 2=X/L را نشان می دهد. ملاحظه می شود که در لحظات آغازین حرکت خودرو سرعت در دنباله مدل ابتدا کاهش داشته و سپس افزایش می یابد. در آغاز حرکت به علت سرعت پایین جریان، روی مدل جریان خزشی رخ می دهد و لذا جریان در دنباله بیشتر است به طوری که با افزایش بیشتر سرعت دنباله مدل شکل گرفته و سرعت کاهش می یابد. با افزایش بیشتر سرعت جریان بیشتری به داخل دنباله نفوذ کرده و لذا سرعت در دنباله افزایش یافته است. با افزایش بیشتر سرعت در دنباله افزایش یافته یافته و تغییرات سرعت در دنباله نیز کمتر است. در ده ثانیه آغازین حرکت و به طور مشخص در ۵ ثانیه اول میزان تغییرات سرعت در وسعت را دارست. در ۵ ثانیه سوم دنباله کمترین سرعت و بیشترین و کاهش وسعت آن همچنان ادامه دارد. اما در ده ثانیه دوم وسعت دنباله تغییرات اندکی دارد.

در شکل۱۹ در ثانیه بیستم سرعت در دنباله خودرو اندکی کاهش دارد که احتمالا میتواند به دلیل جابجا شدن مکان جدایش جریان روی مدل و افزایش یافتن محدوده دنباله باشد.

شکلهای ۲۰ و ۲۱ روند تغییرات شدت اغتشاشات جریان در حین افزایش سرعت خودرو را در موقعیت طولی X/L=2 در دنباله نشان میدهد. دیده میشود که در لحظات آغازین حرکت میزان شدت اغتشاشات در دنباله مدل بسیار زیاد است و به تدریج و با سرعت گرفتن خودرو مقدار آن کاهش یافته و پس از رسیدن به سرعت حدود ۴۰Km/h مجددا میزان شدت اغتشاشات دنباله روند افزایشی دارد. در لحظات آغازین حرکت میزان شدت اغتشاشات در دنباله خودرو حدودا معادل شدت اغتشاشات جریان آزاد است که این مساله در بازه سرعتی بین ۳۷ تا ۴۲ کیلومتر بر ساعت نیز مشاهده شده است. علاوه بر آن در لحظات آغازین حرکت شدت اغتشاشات دنباله به مرور به به یک مقدار ثابت افزایش می یابد که این امر در سرعتهای بالا مشاهده نمی شود. همچنین نمودار شدت اغتشاشات جریان دنباله در سرعتهای پایین روند یکنواختتری در مقایسه با سرعتهای بیشتر خودرو دارد. نکته قابل توجه این است که در تمام موقعیت ها میزان شدت اغتشاشات در دنباله کمتر از مقدار آن در خارج دنباله می باشد و این میتواند به این دلیل باشد که مدل در یک جریان مغشوش واقع شده است و مقدار

مولفه سرعت نوسانی در دنباله خودرو کمتر از مقدار این مولفه در خارج دنباله می باشد. مطلب دیگر که بایستی بدان اشاره کرد این است مقدار شدت اغتشاشات دنباله در سرعت ۸۴ Km/h بر خلاف روند غالب بیشتر از مقدار آن در سرعت ۸۴ Km/h می باشد که احتمالا این مساله به دلیل تغییر مکان به وقوع پیوستن جدایش است و میتواند منجر به وسیعتر شدن دنباله گردد.













شکل ۲۰- تغییرات شدت اغتشاشات در دنباله بر حسب سرعت خودرو در ده ثانیه اول حرکت و در موقعیت X/L=2



شکل ۱۷- تغییرات سرعت در دنباله خودرو در پنج ثانیه دوم حرکت در موقعیت X/L=2



شکل ۱۸- تغییرات سرعت در دنباله خودرو در پنج ثانیه سوم حرکت در موقعیت X/L=2



شکل ۲۳ روند تغییرات مولفههای مومنتوم و تنش رینولدزی ضریب

نیروی پسا و تغییرات ضریب پسای کل را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود روند تغییرات جمله مومنتوم ابتدا افزایشی و سپس کاهش یافته و در نهایت مجدداً افزایش یافته است. همانطور که قبلاً در نمودارهای مربوط به سرعت دنباله مدل اشاره شد با افزایش سرعت خودرو سرعت در دنباله ابتدا کاهش می یابد (وسیعتر شدن ناحیه دنباله) و این امر باعث کاهش مومنتوم حجم کنترل انتخابی(شکل ۲۲) شده و لذا شاهد افزایش جمله مومنتوم ضریب پسا خواهیم بود. اما به تدریج و با افزایش سرعت خودرو و نفوذ جریان بیشتر به داخل دنباله و افزایش سرعت دنباله میزان کاهش مومنتوم نصریب پسا می باشیم. بیشینه مقدار مربوط به جمله مومنتوم ضریب پسا ضریب پسا می باشیم. بیشینه مقدار مربوط به جمله مومنتوم ضریب پسا زمانی رخ می دهد که سرعت خودرو حدود /۱۰Km باشد. و پس از آن روند کاهشی دارد. در بازه سرعت حدود مانین مساله با توجه به جمله مومنتوم ضریب پسا تقریباً ثابت بوده که این مساله با توجه به نمودارهای مربوط به سرعت در دنباله قابل توجیه است.

شکل ۲۳ همچنین روند تغییرات جمله تنش رینولدزی ضریب پسا را نشان میدهد. بر خلاف جمله مومنتوم جمله تنش رینولدزی ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد. میزان اغتشاش در آغاز حرکت بسیار زیاد بوده و لذا این میزان زیاد تنشهای رینولدزی باعث افزایش شدید تنشهای برشی و به دنبال آن افزایش ضریب پسا شده است. به دلیل بزرگ بودن این جمله در لحظات آغازین و لذا قابل مشاهده نبودن روند تغییرات در ادامه حرکت از آوردن مقادیر این جمله در ۵ ثانیه اول حرکت در نمودار خودادی شده است. از آنجایی که مقدار کمیت تنشهای رینولدزی در جریان درهم بسیار بزرگتر از جریان آرام است لذا مقادیر مربوط به جمله تنش رینولدزی ضریب پسا در کار حاضر قابل ملاحظه است.

زمانی که خودرو با سرعت حدود ۴۰Km/h در حال حرکت است مقدار این مولفه ضریب پسا حدودا صفر است و با افزایش بیشتر سرعت خودرو مقدار این کمیت نیز افزایش مییابد.

نهایتاً مشاهده میشود که ضریب پسای کل ابتدا زیاد بوده، که می تواند به دلیل عدم وجود اینرسی اولیه باشد.، و به تدریج با افزایش سرعت خودرو کاهش یافته و در حدود سرعت ۴۰Km/h کمینه مقدار خود را داراست و با افزایش بیشتر سرعت خودرو ضریب پسا افزایش یافته و در حدود سرعت ۸۰Km/h به مقدار ثابت ۲۵ /۰ می رسد.

لازم به ذکر است که روند تغییرات ضریب پسا در کار حاضر با کاری که پیش از این توسط [۲۳] روی یک مدل تریلر انجام شده است مطابقت قابل قبولی دارد. از آنجایی که هندسه کار فعلی با هندسه کار انجام شده توسط [۲۳] متفاوت است. لذا مقادیر ضریب پسا نیز تفاوت دارد و در اینجا صرفا" روند تغییرات ضریب پسا با کار [۲۳] مقایسه شده است. لذا تغییر در مقادیر به دلیل تفاوت در هندسه مدل می باشد. (شکل ۳۱)







شکل ۲۳- تغییرات ضریب پسا و مولفه های آن با افزایش سرعت خودرو



شکل۲۴- روند تغییرات ضریب پسای خودرو و کارهای مشابه صورت گرفته

#### ۶– تحليل خطا

تأثیر خطایی که هر پارامتر روی سرعت می گذارد از رابطه زیر به دست میآید که با عنوان عدم قطعیت استاندارد نسبی بیان میشود[۲۴].

$$Error(\%) = rac{1}{k} * rac{1}{u} * \Delta y_i$$
 ضریب همگرایی k  
انحراف معیار  $rac{1}{u} * \Delta y_i$ 

و و در نهایت مجموع خطاهای ناشی از پارامترهای مختلف روی سرعت لحظهای از رابطه زیر به دست می آید[۲۴].

$$Error(\%) = 2\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} (\frac{1}{k} * \frac{1}{u} * \Delta y_i)^2}$$

خطاهای بوجود آمده در آزمایشات صورت گرفته شامل موارد زیر است:

حداکثر ۱ درصد خطا ناشی از کالیبراسیون با لوله پیتوت و مانومتر، حداکثر ۱ درصد خطا ناشی از برازش منحنی ولتاژ بر حسب سرعت، حداکثر ۲/۱۲ درصد خطا ناشی از عدم قطعیت مربوط به تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال، خطای ناشی از قرار گرفتن موقعیت پراب که قابل صرفنظر است، خطای ناشی از تغییرات دما که شامل دو قسمت میباشد: الف) تغییرات دما در حین کالیبراسیون که حداکثر یک درجه میباشد، مقدار خطای ایجاد شده ۲۰۰۴ درصد می باشد. ب) تغییرات دما در حین آزمایش: تغییرات دما در حین آزمایش حداکثر دو درجه می باشد که مقدار خطای ایجاد شده ۲۰۱۴ درصد میباشد، خطای ناشی از تغییرات رطوبت و فشار محیط که ناچیز است[۲۴].

با در نظر گرفتن تمام عوامل فوق میزان خطای کل اندازه گیری سرعت لحظهای در حین آزمایش ۴/۰۳ درصد می باشد.

### ۷- نتیجه گیری

در این پژوهش، تغییرات سرعت، و انرژی اغتشاشات در دنباله مدل خودرو پژو ۴۰۵ در یک جریان ناپایا اندازه گیری و همچنین روند تغییرات ضریب پسا با افزایش سرعت خودرو و بررسی شده است. از مهمترین نتیجههای بهدست آمده در این تحقیق میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۸- مراجع
- [1] Barlow B., Rae W., Pope A., Low-Speed Wind Tunnel Testing, John Wiley & Sons,1999.Kumagai, S., and Isoda, H., Proc. Combust, Vol. 7, No.5, pp.129-137, 1984.

[2] Ahmed S. R., Ramm R. and Faltin G., Some Salient Features of the Time Averaged Ground Vehicle Wake, "SAE Technical Paper Series 840300, Vol. 3, No.20, pp.104-115, 1998.

[3] Gilli P., and Chometon F., Modelling of Stationary Three-Dimentional Separated Air Flows around an Ahmed Reference Model, Third International Workshop on Vortex, ESAIM Proceedings, Vol. 7, No.10, pp.124-135, 1999.

[4] Hanaoka Y., And Kiyohira A., Vehicle Aerodynamic Development using PAMFLOW, Vol. 3, No.5, pp.112-120, 2003.

- ۱ در ارتفاعات پایین تر روند تغییرات سرعت به گونه ای است
   که ابتدا افزایشی بوده و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه
   کاهش یافته و مجددا افزایش می یابد.
- ۲- در لحظات آغازین حرکت خودرو سرعت در دنباله مدل
   ابتدا کاهش داشته و سپس افزایش می یابد.
- ۳- مقدار انرژی اغتشاشی جریان دنباله با افزایش ارتفاع در فواصل نزدیک به مدل به تدریج افزایش می یابد و با دور شدن از مدل میزان آن برای ارتفاعات مختلف حدودا یکسان است.
- ۴- روند تغییرات جمله مومنتوم ابتدا افزایشی و سپس کاهش یافته و در نهایت مجدداً افزایش یافته است.
- ۵- بر خلاف جمله مومنتوم جمله تنش رینولدزی ابتدا کاهش
   و سپس افزایش مییابد.
- ۶- ضریب پسای کل ابتدا زیاد بوده، که میتواند به دلیل عدم وجود اینرسی اولیه باشد، و به تدریج با افزایش سرعت خودرو کاهش یافته و در حدود سرعت ۲۰Km/h کمینه مقدار خود را داراست و با افزایش بیشتر سرعت خودرو ضریب پسا افزایش یافته و در حدود سرعت ۸۰Km/h به مقدار ثابت ۰۲/۲۵۰ میرسد.

#### فهرست علائم

ضريب پسا	$c_d$
ارتفاع مدل	h
طول خودرو	L
فشار کلی	$p_t$
فشار استاتیکی	$p_s$
فشار دینامیکی	q
فشار ديناميكي متوسط	$\overline{q}$
$u'/u^\infty$ شدت اغتشاشات	Tu
سرعت جريان آزاد	U
مؤلفەھاى سرعت	u, v, w
مؤلفههای اغتشاشی سرعت	u', v', w'
فاصله از انتهای خودرو	Х

[5] Gillieron P., and Spohn A., Flow Separations Generated by a Simplified Geometry of an Automotive Vehicle, Vol. 21, No.12, pp.31-44, 2007.

[6] Lienhart H., and Stoocks C., Flow and Turbulence Structures in the Wake of a Simplified Car Model (Ahmed Model), DGLR Fach Symp. Der AG STAB, Stuttgart UNIV. Vol. 14, No.4, pp.98-105, 2010.

[7] Khalighi B., Zang S., Koromilas C., Balkanyi S., Bernal L.P., laccarino G. and Moin P., Experimental and Computational Study of Unsteady Wake Flow Behind a Body with a Drag Reduction Device, SAE PPR, Vol. 14, No.17, pp.12-21, 2006.
[7] Javareshkiyan M. H., Shayesteh Sadafiyan R., Azarkhish A.,

[7] Javareshkiyan M. H., Snayesten Sadanyan K., Azarknish A., Numerical and Experimental investigation of Aerodynamics forces on the base model of vehicle SID, Vol. 18 No. 1, pp. 49-64 (1385 in Persian)

[8] Shayesteh R., Numerical Investigation wake shape of base model of vehicle at different angle Thesis Report.

[9] Javareshkiyan M. H., Zehsaz M., Azarkhish A., Exprimental Optimazation of Aerodynamcs forces on the base model of vehicle 9th Fluid Dynamics Conference, Shiraz University, SID, Vol. 15 No. 3, pp. 19-34 (1383 in Persian)
[10] Watkins S., Vino G., The Effect of Vehicle Spacing on the Aerodynamics of Representative Car Shape, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96 1232-12393ED., Vol.96, No.3, pp.1232-1239, 2011.

[11] Mathieu R., Patrick G., analysis and control of the nearewake flow over a square-back geometry computr& fluids Vol. 21, No.38, pp.60-70, 2009.

[12] Ghaligne s., Thomas c., active control of the flow behind a two-dimentional bluff body in ground proximity, comptes rendus mecanique, Vol. 2, No.341, pp.289-297, 2013.

[13] Spohn a., gillieron p., Flow separeated generated by a simplified geometry of an automotive vehicle, Vol. 23, No.41, pp.89-97, 2011.

[14] Indinger T., Nikolaus A., Interferenc effects of cooling airflows onageneric car body, Vol. 13, No.119, pp.146-157, 2013.

[15] Saha A. K., Muralidhar K., and Biswas G., Experimental Study of Flow Past a Square Cylinder at High Reynolds Numbers, Experiments in Fluids, Vol. 29, No. 4, pp.553-563, 2008.

[16] Shadaram A., Azimifrad M., and Rostami N., Study of characteristic flow at the near wake of square cylinder, J. of Mechanical- aerospace Vol. 3, No.4, pp.15-23, (1386 in persain

[17] Goldstein S., A Note on the Measurement of Total Head and Static Pressure on a Turbulent Stream, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 155, No.32, pp. 570-575, 1936.

[18] LU B., and Bragg M. B., Experimental Investigation of the Wake-Survey Method for a Bluff Body with Highly Turbulent Wake, AIAA3019, Vol.23, No.11, pp.130-1430, 2002.

[19] LU B., and Bragg, M B., Experimental Investigation of Airfoil Drag Measurements with Simulated Leading-Edge Ice Using the Wake-Survey Method, AIAA3919, Vol.17, No.13, pp.14-22, 2000.

[20] LU B., and Bragg, M. B., Airfoil Drag Measurement with Simulated Leading Edge Ice Using the Wake-Survey Method, AIAA1094, Vol.26, No.9, pp.98-107, 2003.

[21] Van Dam C. P., Recent Experience with Different Methods of Drag Prediction, Progress in aerospace. Science, Vol. 35, No.8, pp.751-798, 1999.

[22] Chowdhury H., Moria A., Ali Iftekhar Khan F., Alam and Watkins S., A study on aerodynamic drag of a semi-trailer truck<sub>3</sub> Procedia Engineering Vol.2, No.56, pp201 – 205, 2013.

[23] Jogensen Finn, E., How to measuer turbulence with hotwire anemometers, Dantec Dynamics, 2002.