مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، پاییز۱۳۹۸، دوره ۱۰، شماره ۳س، ص‌ص ۴۳-۵۱

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

کاهش ضریب پسای خودرو پژو ۴۰۵ با استفاده از گردابه ساز

سید روح ا... قدسی[۱]، حمیدرضازمردی[۲*]، فرهاد امام علیزاده[۳]

۱ - پژوهشگر ارشد پژوهشکده سوخت، خودرو و محیط زیست، دانشگاه تهران و عضو هیئت واحدگرمسار،**دانشگاه آزاد اسلامی** ، گرمسار،ایران

۲- کارشناس ارشد هوافضا، گرایش آیرودینامیک، واحدگرمسار،**دانشگاه آزاد اسلامی** ، گرمسار،ایران

۳- کارشناس ارشد هوافضا، گرایش آیرودینامیک، واحدگرمسار،**دانشگاه آزاد اسلامی** ، گرمسار،ایران

* کرج، صندوق پستی۳۱۴۸۹۷۴۹۵۶، پست الکترونیکی h.r.z@aol.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۳۱ تیر ۱۳۹۸

پذیرش: ۷آذر ۱۳۹۸

ارائه در سایت: ۲۵ آذر ۱۳۹۸

کلیدواژگان

گردابه‌ساز

لایه‌مرزی، جدایش

گرادیان‌فشارمعکوس

ضریب‌درگ

چکیده

جدایش جریان در قسمت انتهایی خودرو عامل اصلی ایجاد نیروی پسا در یک خودروست. استفاده از وسایلی مانند گردابه‌ساز به منظور ایجاد جریان های گردابی و تغییر مومنتوم در لایهٔ مرزی باعث به تاخیر انداختن جدایش جریان و در نتیجه کاهش پسا می‌گردد. با مقایسه اندازه ضریب‌پسای خودرو در حالت باگردابه‌ساز و حالت بدون گردابه‌ساز و سپس آنالیزکردن مکانیزم کاهش‌پسا، نتایج مورد نظر به‌دست می‌آید. خودرو مورد آزمایش در این پژوهش، پژو ۴۰۵ سدان بوده و تجزیه و تحلیل آیرودینامیکی و شبیه سازی آن نیز به وسیلهٔ نرم افزارهای ICEM و FLUENT انجام شده است. استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی در تجزیه و تحلیل تائید خواهد کرد که استفاده از گردابه‌ساز می تواند ضریب پسا و مصرف سوخت را کاهش دهد.

Drag reducing of Peugeot 405 using the vortex generator

HamidReza Zomorodi[1], Seyed Roholah Ghodsi [2*], Farhad Emamalizadeh[3]

1- Master of Science in Aerospace / aerodynamics **Islamic Azad University**, Garmsar, Iran
2- Senior Researcher, Institute of fuel, vehicle and environment, Tehran University
3- Master of Science in Aerospace / aerodynamics **Islamic Azad University**, Garmsar, Iran

Article Information

Original Research Paper
Received 22 July 2019
Accepted 28 November 2019
Available Online 16 December 2019

Keywords
Vortex Generator
Boundary layer, separation
Adverse pressure gradient
Drag coefficient

ABSTRACT

The flow separation at the rear of a vehicle generates more pressure drag. A vortex generator can cause delay in developing of separation by changing the distribution of momentum in boundary layer. The comparison be-tween the results of with and without vortex generator reveals the effects of vortex generator on drag reduction considerably. In this study, an efficient vortex generator is designed for the Peugeot 405 sedan. The numerical simulations are performed using ANSYS FLUENT and also the model and mesh are generated by ICEM.

۱- مقدمه

در حال حاضر یکی از نگرانی‌های اصلی توسعهٔ صنایع-خودرو،کاهش مصرف سوخت جهت صرفه‌جویی در منابع انرژی، اقتصادی بودن و حفاظت از محیط‌زیست جهانی می-باشد. از این رو کاهش نیروی پسای آیرودینامیکی، یک فرآیند ضروری برای دست‌یابی به این مهم در وسایل‌نقلیه است. در یک اتومبیل سواری سدان با توجه به لزوم تعبیه فضا برای موتور، سرنشینان، بار و غیره ایجاد تغییرات عمده در شکل بدنهٔ خودرو امری دشوار می‌باشد لذا با توجه به این مسائل حالت آیرودینامیکی بدنهٔ این گونه اتومبیل‌ها به شکلی‌است که در قسمت انتهایی بدنه و سقف آن‌ها جدایش

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Mohammad ghavidel, Seyfolah Saedodin Experimental study of dynamic viscosity of the fluid water-based nanofluids magnesium oxide, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 10, No. 3, pp. 43-51, 2019 (In Persian)

جریان رخ می‌دهد و از شیشهٔ عقب به سمت پایین گسترش می‌یابد.

در مکانیک‌سیالات،کنترل جدایش جریان، به دلیل جلوگیری از اتلاف‌های بزرگ انرژی، در استفاده‌های عملی بسیار مهم می‌باشد چراکه بخش اعظم اتلاف‌انرژی در لایهٔ‌مرزی مربوط به جدایش است و نشان داده شده است که ۴۰٪ نیروی پسای یک خودرو در قسمت انتهایی آن متمرکز است لذا با کنترل جدایش جریان افزایش قابل توجهی در کارایی و حفظ انرژی، سوخت، وزن و فضا حاصل خواهد شد.

کاهش نیروی پسا از دیرباز مورد توجه دانشمندان علوم هوافضائی، صنایع خودرو، طراحی ساختمان ها، برج ها، پل ها ومانندآن‌ها قرار گرفته است در همه موارد سعی بر این بوده تا با استفاده از نمونه‌ها و ترفندهای جدید و نو بتوان از میزان نیروی پسا کاست. روش‌های مختلفی مانند"افزایش سطح جانبی خودرو" ، " پوشاندن تجهیزات کف خودرو توسط یک سطح صاف"، " استفاده از فلپ در بدنهٔ خودرو"، "ایجاد مکش در قسمت عقب خودرو"، "استفاده از متریال خاص در بدنه"، "تغییر در شکل بدنه" و "به کار گیری گردابه‌سازها" وغیره برای کاهش پسا وجود دارند. از همان سال‌های ساخت اولین هواپیماها و خودروها سعی بر آن بود تا شکل خارجی بدنهٔ آنها به گونه‌ای باشد تا کمترین نیروی پسا را ایجاد نماید تا بتوان آن‌را با حداقل نیروی پیشرانش به جلو راند. پس از آن نیز با پیشرفت روزافزون علم، راه-کارهای مختلفی در این زمینه پیشنهاد شد.

شیوه‌های مختلفی برای جلوگیری از جدایش لایهٔ‌مرزی در هواپیما و کاربردهای مهندسی وجود دارند برخی از این وسایل برای انجام وظیفهٔ خود به یک توان اضافی که توسط پیشرانش تولید می شود نیاز دارند که به این وسایل ، وسایل فعال گفته می‌شود. تعدادی نیز غیرفعالند یعنی برای انجام وظیفه خود به توان اضافی نیاز ندارند.

بنا به یک قانون کلّی درحرکت مستقیم که به وسایل کنترلی غیرفعال نیازی نیست ودر صورت وجود این وسایل نیروی پسا افزایش می‌یابد ولیکن اکثر وسایل کنترل لایهٔ‌مرزی غیرفعال، گردابه‌هائی را به شیوه‌های مختلف ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال در بال‌های پسگرا به علت وجود تمایل جریان هوا برای حرکت به سمت نوک بال و ایجاد واماندگی در نوک‌بال ، می‌توان از وسایل غیرفعال برای کنترل جریان استفاده کرد که یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین آنها گردابه سازها هستند. در این پژوهش به بررسی گردابه‌سازها می پردازیم واثرات آنها را بر جدایش‌جریان‌وکنترل‌لایهٔ‌مرزی و ضریب‌درگ‌آیرودینامیکی بررسی می‌کنیم.

در این مقاله به بررسی آیرودینامیک خودرو پژو ۴۰۵ پرداخته شده و تاثیر به کارگیری گردابه‌ساز در کاهش ضریب‌پسا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بیش از ۵۰ سال است که از تولید کننده‌های گردابه برای بهبود پارامترهای آیرودینامیکی بال‌های هواپیما استفاده می شود. گردابه‌سازها اولین بار توسط تیلور در سال ۱۹۴۷ و برانینس در سال ۱۹۵۱ در ناسا مورد بررسی قرار گرفتند [۱]. کنترل جدایش جریان لایهٔ‌مرزی مغشوش با استفاده از تولید کننده‌های‌گردابهٔ‌خیلی ریز توسط جان سی لین بررسی شده‌است این مطالعه شامل گسترش مطالعات میدان جریان ناشی از تولید کننده‌های‌گردابه و کاربرد آنها برای افزایش مقدار بالای برآ می باشد. تحقیقات بنیادی وی نشان داد که بکارگیری تولید کننده‌های‌گردابه خیلی ریز، موثرترین و کارآمدترین وسیله برای کاهش جدایش جریان در لایه‌های مرزی مغشوش است. این بررسی‌ها بر روی یک ایرفویل برآبالا در اعداد رینولدز نزدیک اعداد رینولدز پروازی صورت گرفته است. مزایای عمده این نوع تولید کننده‌های گردابه علاوه بر کنترل موثر جدایش‌جریان، سادگی و پسای پایین آنها است. نتایج این بررسی نشان می دهد که بکار گیری تولید کننده‌های گردابهٔ خیلی ریزکاهش قابل توجهی در جدایش جریان گذرنده از روی فلپ را دارند[۲].

بررسی تولید کننده‌های‌گردابه به‌عنوان یک وسیلهٔ کنترل-جدایش لایهٔ‌مرزی و نتیجتاً بهبود دهندهٔ پارامترهای آیرودینامیکی و کاهش مصرف سوخت اتومبیل، در دهه‌های اخیر مورد توجه خودروسازان نیز واقع شده‌است. آنها با استفاده از روشهای تجربی و عددی به شبیه‌سازی رفتار آیرودینامیکی سطوح خودرو که مجهز به تولیدکننده‌های گردابه است، پرداخته‌اند.

اولین‌بار استفاده از گردابه‌ساز در خودروها توسط او.اس. ریدر سوئدی پیشنهاد شد و به صورت محدودی روی ماشین های هاچ بک استفاده گردید با توجه به محدودیت های ادارهٔ ملی جاده های سوئد، رویکرد این بود که آن‌ها را روی قسمت پشت‌بدنه (یا سقف) قرار دهند که هدف آن افزایش فشار در

پشت ماشین بود که پسای آیرودینامیکی را کاهش می‌دهد [۳].

آقایان احمد و چاکو از دانشگاه وین در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای تحت عنوان "بهینه سازی عددی وسایل نقلیه" به بررسی آیرودینامیک وسایل نقلیه پرداخته اند و برای این کار یک مدل سدان را به عنوان مدل انتخاب کرده‌اند تا پس از بهینه‌سازی زاویه‌ها و سایز و شکل ، آن را به حالت بهینهٔ خود برسانند. سپس کاهش ضرایب برآ و پسا مورد بررسی قرارگرفته و بهبود عملکرد مد نظر بوده است که یکی از روش‌هائی که مورد بررسی قرارگرفته استفاده از گردابه‌ساز بوده‌است و در اینجا مشخص شده که فیزیک و هندسهٔ خودرو بر روی طراحی گردابه‌ساز تاثیرگذار است تمامی تجزیه وتحلیل‌های محاسباتی انجام‌شده به وسیلهٔ نرم-افزارهای *C.F.D* مانند *ANSYS Fluent , Solid Work, CAD* بوده است[۴].

روتاگی در سال ۲۰۱۲ در مقالهٔ ارائه‌شده در کنفرانس انتقال حرارت آمریکا با عنوان "روشهای کاهش پسای آیرودینامیکی وسایل نقلیه" به بررسی روی یک مدل ماکت *SUV*[1] شرکت *G.M* با مقیاسی کوچک پرداخته و تست-هایی را در تونل باد برای رسیدن به نتایج مورد انتظار انجام داده‌است. وی از دو وسیله برای این کاردر قسمت شیشهٔ عقب استفاده کرده‌است که یکی از آنها گردابه‌ساز است و آنها را در شرایط مختلف تونل باد تست نموده‌است ونتیجه-گیری شده‌است که شیشهٔعقب تا ۶٫۵٪ می تواند درگ را کاهش دهد. این آزمایش‌ها بوسیلهٔ اضافه‌کردن گردابه‌ساز هم انجام گرفته و نتایج، مقایسه شده‌اند ومنجر به طراحی گردابه‌ساز گردیده‌اند[۵].

لوین و ریگدال از دانشگاه چالمرز گوته بورگ سوئد در سال ۲۰۱۱ در مقاله‌ای با عنوان "آنالیز آیرودینامیکی وسایل کاهش پسا روی یک خودروی خاص با کمک *CFD* " به بررسی روش‌های مختلف کاهش پسا روی یک مدل اتومبیل ساخت شرکت *SAAB* در حالت سدان و واگن و اثرات گردابه‌ساز روی کاهش مصرف سوخت پرداخته‌اند. در این مقاله به روش‌های مختلف از جمله به کارگیری و نیز طراحی آن‌ها پرداخته شده‌است و نتایج به‌کارگیری آن در شبیه-سازی با نرم‌افزار فلوئنت با و بدون گردابه‌ساز مقایسه شده-اند[۶].

راسدال ، ماشاد و تنویر در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای با عنوان " کاهش پسای اتومبیل به وسیلهٔ گردابه‌ساز" به طراحی گردابه‌ساز پرداخته‌اند. گردابه‌سازها را در بسیاری از وسایل نقلیه می‌توان یافت و با این‌که اغلب در هواپیماها استفاده می‌شوند، ولی از آن‌جائیکه جدایش لایهٔمرزی را به تعویق می‌اندازند لذا در خودروها نیز کاربرد دارند .در این پژوهش، تاخیر جدایش لایهٔمرزی در سطح بالایی خودرو در اثر اختلاف فشار در بالادست و پائین‌دست جریان بررسی می-گردد و نتایج حاصل از تونل باد در حالت‌های با گردابه‌ساز و بدون گردابه‌ساز، مقایسه می‌گردند و در نهایت به طراحی شکل آن پرداخته می‌شود[۷].

کوئیکه و ناگایوشی و هاماموتو در مقاله‌ای با عنوان " تحقیق در مورد کاهش پسای آیرودینامیکی بوسیلهٔ گردابه‌ساز" به بررسی ضرایب آیرودینامیکی روی خودروهای سدان و جدایش لایهٔمرزی در عقب اتومبیل پرداخته‌اند و تاثیر گردابه‌سازها را روی تاخیر جدایش بررسی کرده‌اند و اگرچه گردابه‌سازها معمولاً در هواپیماها استفاده می‌شوند ولیکن با کاهش پسا در پائین‌دست جریانِ سطح فوقانی خودروها موجب جلوگیری از جدایش در آن نواحی نیز می‌گردند. اثر گردابه‌سازها بستگی به شکل و هندسهٔ آنها داشته و در بهینه‌سازی آیرودینامیکی خودرو موثر خواهند بود[۸].

در ایران نیز تحقیقات مختلفی در زمینه کاهش درگ خوردوهای رایج صورت گرفته‌است. بهناز بهشتی برومند و محمدحسین کریمیان در مقاله ای با عنوان" تحلیل روش‌های مختلف بهبود آیرودینامیک خودرو " در سال ۱۳۸۳ تلاش کرده‌اند تا با استفاده از *CFD* جریان هوا روی ماشین پراید در حالت دوبعدی و سه بعدی تحلیل گردد.این کار با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت و روش κ-ε استاندارد انجام شده‌است[۹]. احسان صبوحی و پریسا حسینی تهرانی طی یک پژوهش که به صورت مقاله نیز منتشر شده‌است ضریب پسای آیرودینامیک خودروی پراید در تونل‌باد با انجام یک‌سری آنالیز *CFD* در نرم افزار *ANSYS* تعیین کرده‌اند. ضریب-پسا در این مقاله در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی محاسبه شده، همچنین تاثیر زاویهٔ شیشهٔجلو بر روی ضریب پسا وگردابه‌های جریان با مدل‌سازی و آنالیز دو مدل، یکی مدل

[1] Sport Utility Vehicle

ساده‌شده[۲] با زاویهٔ شیشهٔ صفر نسبت به خط عمود و مدل دیگری با زاویهٔ شیشهٔ کمتر از مدل واقعی پراید بررسی و تحلیل شده‌است[۱۰]. سمیه احمدی و امیر حسین کاکایی و اوستا گودرزی در مقاله‌ای با عنوان"تحلیل عددی جریان حول بالک عقب خودروی‌سمند و تعیین نیروهای آیرودینامیکی وارد بر آن"به محاسبهٔ ضرایب آیرودینامیکی خودرو سمند پرداخته اند [۱۱]. محمد حسین جوارشکیان، رضا شایسته‌صدقیان،آیرم آذرخویش در ۱۳۸۵ به بررسی عددی و تجربی نیروهای آیرودینامیکی یک مدل خودرو پرداخته وقسمت‌هایی که اثر بیشتری روی نیروهای پسا و برا دارند بررسی شده و منحنی مشخصهٔ آنها را ترسیم کرده‌اند[۱۲].

۲- روش کار و معادلات حاکم

هرچندکه تحقیقات با استفاده از تونل باد از اهمیت شایانی برخوردار است اما استفاده از روش‌های محاسباتی جهت شبیه سازی بدنهٔ خودروها به نحو گسترده‌ای در کشورهای توسعه یافته و با استفاده از کامپیوترهای با قابلیت بالا، زمان طراحی و تعداد آزمایشات را کاهش داده است. با وجود تمام پیشرفت‌هایی که در روش‌های محاسباتی حاصل شده است پیش بینی دقیق و صحیح جریان با توجه به فیزیک جریان و پیچیدگی‌های هندسی موجود کار آسانی نیست . در جریان حول خودروها، با جریان‌های کاملا مغشوش سه بعدی، جدایش جریان و جریان‌های برگشتی مواجه هستیم . لذا ایجاد هندسه، تولید شبکه و حل آن نیاز به ابزارهای قوی شبکه سازی و الگوریتم های حل قابل اعتماد و منابع کامپیوتری مناسب دارد . روش‌های حجم محدود یا اختلاف محدود که به معادلات حاکم اعمال می شود، به عنوان روش‌های استانداردی در حل مسائل صنعتی جریان خارجی مطرح هستند و میزان حافظه و زمان محاسباتی مورد نیاز عامل محدود کننده‌ای در انتخاب تعداد سلول‌های بکار رفته و نوع مدل اغتشاشی است.

مدل اغتشاشی بکار رفته در این پژوهش مدل دو معادله ای k-ε تحقق‌پذیر است و برای گسسته‌سازی از روش مرتبهٔ دوم[۳] استفاده شده‌است و توابع دیواره نیز غیر تعادلی[۴] فرض می‌گردند.

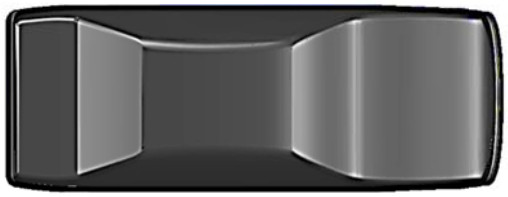
این مدل اغتشاشی k-ε توانایی زیادی در تحلیل جریان های چرخشی و جریان هایی که دارای لایهٔ مرزی می باشند که تحت تاثیر گرادیان فشار معکوس[۵] قوی می باشند، جدایش دارد و در جاهایی که خطوط جریان منحنی شکل هستند نسبت به مدل k-ε استاندارد قابلیت‌های بهتری از خود نشان می‌دهد.

۳- تولید هندسه

هندسهٔخودرو: برای انجام شبیه سازی از از مدل خودری پژو ۴۰۵ به عنوان مدل پایه، انتخاب گردید. دلیل این انتخاب تولید خودروی یاد شده در داخل کشور می‌باشد تا بتوان از نتایج این پژوهش استفادهٔ کاربردی هم نمود. لذا هندسهٔ کار با توجه به نمونهٔ اصلی و نقشه‌های موجود در ابعاد واقعی تهیه و در محیط *ANSYS* ترسیم و مدل شده آنگاه جهت ادامهٔ کار هندسهٔ مدل شده وارد محیط نرم افزار *ICEM* گردید.

سپس جهت اجتناب از پیچیده شدن هندسه و محاسبات کار و با توجه به اینکه جدایش لایهٔ مرزی در قسمت بالایی خودرو روی می‌دهد، برخی اجزای آن مانند آینه‌های جانبی ، برف‌پاک‌کن‌ها، چرخ‌ها، گودی گلگیرها، دستگیرهٔ درب‌ها وغیره از هندسه، حذف گردیدند. در شکل (۱) هندسه مدل نهایی ساده‌سازی شده، نشان داده شده‌است.

[2] Bluff Body
[3] Second Order
[4] Non Equilibrium Wall Functions
[5] Adverse Pressure Gradient



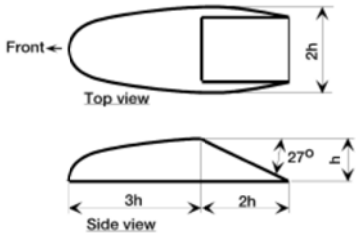
شکل ۱: هندسه تغییر یافتهٔ خودرو پژو ۴۰۵

۴- هندسه گردابه ساز

دو مدل گردابه ساز در حالت کلی وجود دارند:

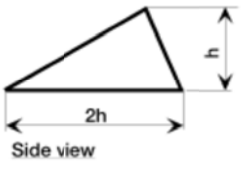
- گردابه‌ساز برجسته[6]
- گردابه‌ساز مثلثی [7]

شکل(۲) یک گردابه ساز برجسته‌است که دارای زاویهٔ شیب پشتی ۲۵ الی ۳۰ درجه می‌باشند این شکل از گردابه‌سازها بیشتر مناسب با زاویهٔ شیشه عقب خودرو های هاچ بک است که گردابه های قوی در ناحیهٔ پشت آنها ایجاد می‌گردد.



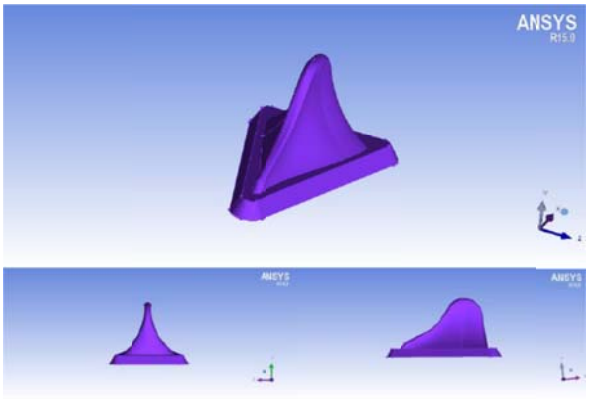
شکل ۲: شماتیک گردابه ساز برجسته

انتخاب دیگری که توصیه می شود و برای این مطالعه انتخاب شده‌است، گردابه‌سازهای مثلثی هستند (شکل۳). این نوع از گردابه سازها اغلب در لبهٔ فرار ایرفویل‌ها استفاده می‌شوند .



شکل ۳: شماتیک گردابه‌ساز مثلثی

بهترین محل قرارگیری گردابه‌ساز در خودروهای سدان در روی سقف و در ناحیه‌ای بلافاصله در بالادست جدایش جریان است و معمولاً ۱۰۰میلیمتر انتهائی سقف را برای نصب گردابه ساز انتخاب می‌کنند. فاکتورهای طراحی در این نوع گردابه سازها دو نسبت $\frac{\text{طول}(L)}{\text{ارتفاع}(h)}$ و $\frac{\text{عرض}(W)}{\text{ارتفاع}(h)}$ هستند که این نسبت ها با توجه به بهینه کاوی صورت گرفته با خودروهای سدان مشابه ، به طور تقریبی برابر بودند با: $\frac{L}{h}=2$ و $\frac{w}{h}=1$. هندسهٔ گردابه‌ساز اولیه به صورت ترکیبی از روی گردابه‌سازهای خودروهای سدان مشابه طراحی گردید (شکل۴) و مقررگردید جهت دست یابی به بهترین نتیجه ، گردابه‌ساز پایه *(size1)* دارای ابعاد $h=59.6\,mm$ و $l=105.7\,mm$ و $w=62.2cm$ در نظر گرفته‌شود. چنانچه ابعاد اولیهٔ گردابه‌ساز را A بنامیم آزمایش با ابعاد *0.6A (size2)* و *0.8A(size3)* و *1.2A(size4)* نیز انجام گیرد تا نتیجهٔ بهینه و مناسب‌ترین سایز گردابه ساز قابل حصول باشد.



شکل ۴: هندسهٔ گردابه ساز

۵- شرایط مرزی

با توجه به مرزهای مختلف موجود در مساله شرایط مرزی متفاوتی را باید مد نظر قرار داد . در ورودی سرعت ۲۲ متر بر ثانیه و در خروجی از شرط فشار ثابت استفاده شده‌است.

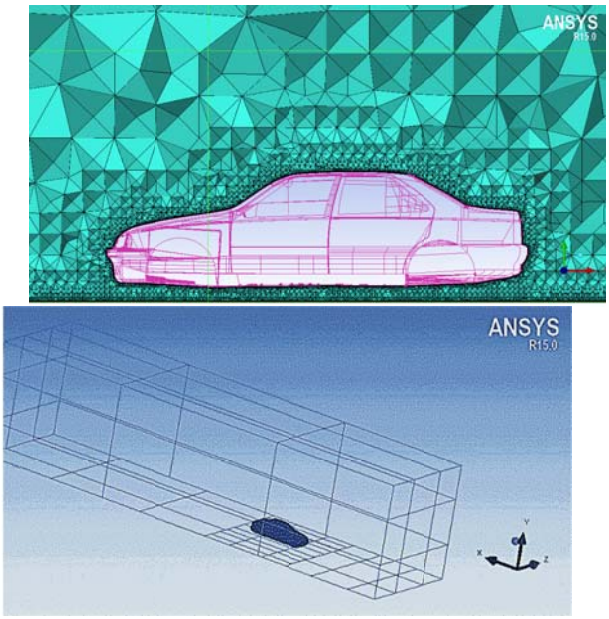
[6] bump
[7] vane

همچنین برای زمین و سطوح جامد، شرط عدم لغزش، اعمال شده‌اند . هوا گاز کامل فرض شده، و جریان هوا مغشوش و تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده است. در ضمن با توجه به سرعت کم خودروها در مقایسه با سرعت صوت، چگالی هوا ثابت فرض می‌شود. که مقدار این پارامتر در شرایط استاندارد برابر با kg/m^3 ۱,۲۲۵می باشد. باتوجه به تراکم ناپذیر بودن جریان، مقدار عددی ویسکوزیته در شرایط استاندارد برابر با $N.s/m^2$ 1.7894×10^{-4} می‌باشد.

تعیین شرایط فیزیکی مساله در حالت دو بعدی و شبکه بندی(تولید شبکه)

ابتدا باید در نرم افزار فلوئنت امکان تحلیل های جریان حول خودرو و تحلیل های مربوط به ضرایب لیفت و درگ را در حالت دوبعدی ایجاد نمود. برای این کار یک دامنهٔ محاسباتی از سیال هوا را شبیه سازی نموده و جریان هوا را از داخل آن عبور می‌دهیم. دامنهٔ محاسباتی مورد استفاده در این مساله به‌صورت تقریبی ۲ برابر طول خودرو از جلو، ۵ برابر طول خودرو از عقب آن است(در کل ۳۶ متر طول)، عرض آن ۲ برابر طول خودرو (۹متر) و ارتفاع آن نیز ۲ برابر طول (۹متر) خودرو مورد شبیه‌سازی است. اکنون می توان هندسهٔ دامنهٔ محاسباتی را تعیین کرد. دامنهٔ کار باید به اندازهٔ کافی بزرگ باشد تا تمامی گردابه ها و جریان های هوا در اطراف آن دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد. شکل(۵) دامنهٔ کلی شبیه سازی و تولید شبکه در اطراف مدل را نشان می-دهد.

از آن‌جائیکه لازم است که نتایج بدست آمده مستقل از تعداد المان‌ها باشند، شبکه‌بندی تا حدی ریز شده تا ضریب پسا مستقل از تعداد سلول‌ها گردد. تعداد المان‌ها در حالت بدون گردابه ساز ۲،۵۷۸،۷۷۴ و در حالت با گردابه ساز ۳،۰۲۴،۷۷۶ عدد می‌باشد. تعیین تعداد سلول‌ها برمبنای استقلال نتایج از شبکه‌بندی و مقدار $y+$ صورت گرفته‌است. در شبکه‌بندی سه بعدی مقدار $y+$ حدود ۳۰۰ می‌باشد.



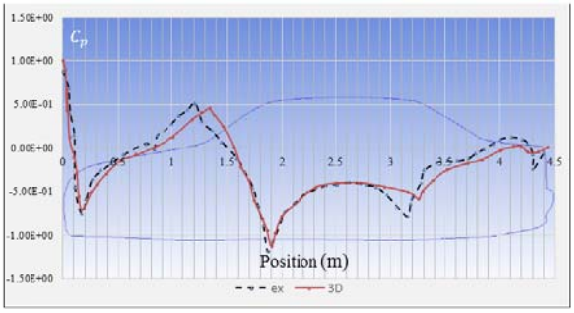
شکل۵: تولید شبکه در اطراف مدل(بالا) و دامنهٔ کلی شبیه سازی(پایین)

۶- نتایج

با اعمال شرایط مرزی و ضرایب توربولانسی که همان ضرایب پیش فرض در نظر گرفته شده‌اند و از آنجائیکه هدف محاسبهٔ ضخامت لایهٔ مرزی و ضریب درگ است ، پس از حل مساله به حالت یکنواخت[8]، ضریب پسا (C_d) برابر ۰,۱۸۳ بدست آمده است که با نتایج آزمایشگاهی تونل باد این خودرو(۰,۲۰۵۴) تا حد زیادی نزدیک می‌باشد و معتبراست.

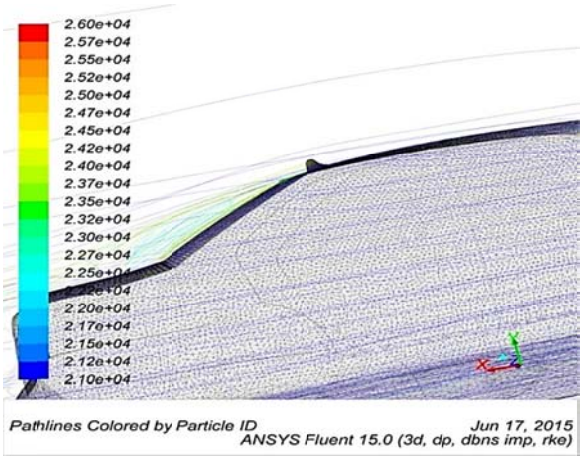
از طرف دیگر، مقایسهٔ توزیع ضریب فشار روی سطح خودرو با مقادیر آزمایشگاهی(تونل باد)، که در شکل(۶) انجام شده-است نشان می‌دهد که نتایج عددی در بیشتر نقاط بدنه تطابق قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی دارند و این مقایسه و انطباق روند تحقیق را تایید می‌کند.

[8] Steady



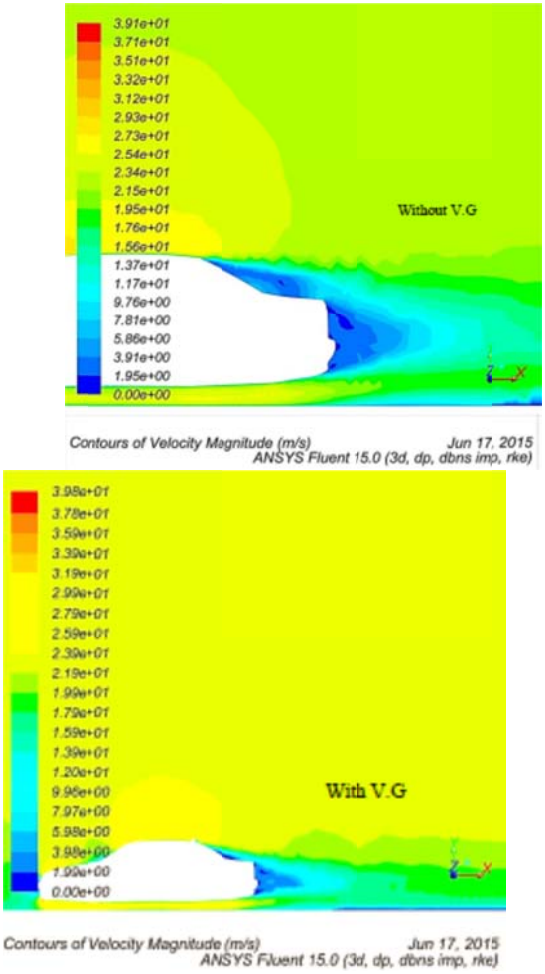
شکل۶: مقایسهٔ ضریب فشار محاسبه شده توسط مدل توربولانسی با نتایج تجربی منتشر شده در سطح بالای خودرو

در شبیه سازی صورت گرفته مشاهده گردید که در انتهای سقف خودرو جدایش‌های سه بعدی باعث به وجود آمدن گردابه-های مخروطی شکل می‌شوند و جریان روی شیشهٔ عقب و دنبالهٔخودرو را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این گردابه‌ها در روی شیشهٔعقب ونیمهٔ پایین آن جدایش ایجاد می‌نمایدکه در محل اتصال شیشه به صندوق عقب ایجاد آشفتگی می-نماید. نصب گردابه ساز در انتهای سقف باعث کاهش آشفتگی گردید که این امر در شکل(۷) که مسیر حرکت جریان را نشان می‌دهد، مشخص است.



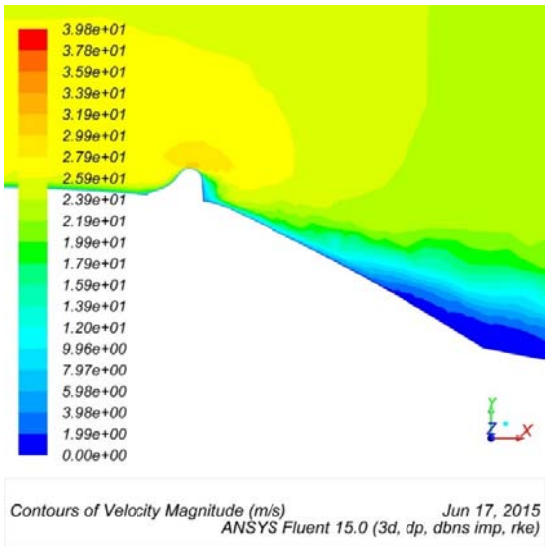
شکل۷: خطوط مسیر جریان روی خودرو با گردبه ساز

شکل(۸) توزیع سرعت را روی سطح خودرو در حالت های با گردابه ساز و بدون گردابه ساز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد که دنبالهٔ خودرو در مقایسه باخودروی بدون گردابه‌ساز کشیده‌تر شده است و در حقیقت وجود گردابه‌ساز باعث ایجاد جریان‌های گردابی و تغییر مومنتوم در لایهٔ مرزی شده و جدایش جریان از روی شیشهٔعقب خودرو را به تاخیر می‌اندازد.



شکل۸: نمودار توزیع سرعت بدون گردابه ساز (بالا) و با گردابه ساز (پایین)

شکل(۹) جزئیات بیشتری از تاخیر جدایش و تغییر مکان آنرا نشان می‌دهد.



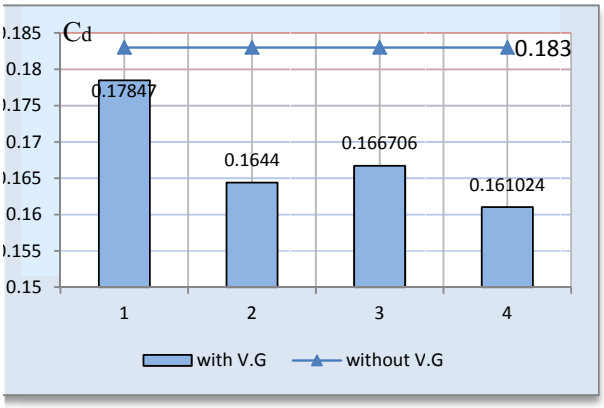
شکل۹: نمودار توزیع سرعت با گردابه ساز از نمای نزدیک تر

برای بررسی تاثیر گردابه ساز روی بدنهٔ خودرو محاسبهٔ ضریب پسا آیرودینامیکی نیز برای چهار سایز گردابه ساز انجام گرفته است و امکان مقایسه و انتخاب بهترین سایز آنها را فراهم ساخته‌است سرعت آزمایش۲۲ متر بر ثانیه که میانگین سرعت رانندگی در ایران است در نظر گرفته شده-است جدول(۱) نشان دهندهٔ ضریب پسا و درصد کاهش آن در حالت های مختلف می‌باشد:

جدول۱: مقایسهٔ تاثیر گردابه سازهای مختلف روی ضریب پسا و میزان کاهش آن

	بدون گردابه ساز	با گردابه ساز			
		Size1	*Size2*	*Size3*	*Size4*
Cd	*0.183*	*0.17874*	*0.1644*	*0.166706*	*0.161024*
درصد کاهش *Cd*		*2.33%*	*10.16%*	*8.9%*	*12%*

در شکل(۱۰) نیز ،درصد کاهش ضریب پسا به ازای گردابه ساز های مختلف مورد مقایسه قرار داده شده‌است.



شکل ۱۰: مقایسهٔ درصد کاهش ضریب پسا برای۴ گردابه ساز مختلف

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش جریان در بالای خودروی پژو۴۰۵ به طور عددی به کمک نرم افزار فلوئنت مورد مطالعه قرار گرفته‌است و پس از مدلسازی سه بعدی و حل عددی، ناحیه ای که جدایش در آن جا اتفاق می‌افتد شناسایی گردیده‌است. سپس با طراحی و کارگذاشتن گردابه ساز پسای خودرو کاهش یافته-است. به منظور صحه گذاری بر نتایج به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی موجود کمک گرفته شده‌است. نکات نتیجه گرفته شده در این تحقیق عبارتند از:

به کار گیری گردابه‌ساز بر روی خودرو در کاهش نیروی پسا موثر است و بیانگر این است که افزودن تولیدکننده‌های گردابه به علت افزایش انرژی جنبشی به لایهٔ مرزی که در حال جدا شدن از سطح جسم است، جدایش جریان از روی سطح را به تعویق می‌اندازد و در نتیجه باعث کاهش پسا و متعاقباً باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد که در حال حاضر هدف اکثر خودروسازان می‌باشد.

۸- مراجع

[1] Gyatt, G. W. Development and testing of vortex generators for small horizontal axis wind turbines. National Aeronautics and Space Administration, 1986.

[2] Lin, John C. "Review of research on low-profile vortex generators to control boundary-layer separation." Progress in Aerospace Sciences 38, no. 4 (2002): 389-420.

[3] Gustavsson, Torbjörn, and Tomas Melin. "Application of Vortex Generators to a blunt body. Technical Report."

[4] Ahmed, H., and S. Chacko. "Computational Optimization of Vehicle Aerodynamics." In Proc. of the 23rd International DAAM Symposium, vol. 23, no. 1, pp. 313-318. 2012.

[5] Rohatgi, Upendra S. "Methods of reducing vehicle aerodynamic drag." InASME 2012 Summer Heat Transfer Conference, pp. 8-12. 2012.

[6] Levin, Johan, and Rikard Rigdal. "Aerodynamic analysis of drag reduction devices on the underbody for SAAB 9-3 by using CFD." (2011).

[7] Islam, Md Rasedul, Md Amzad Hossain, Mohammad Mashud, and Md Tanvir Ibny Gias. "Drag Reduction of a Car by Using Vortex Generator."

[8] Koike, Masaru, Tsunehisa Nagayoshi, and Naoki Hamamoto. "Research on aerodynamic drag reduction by vortex generators." Mitsubishi Motors Technical Review 16 (2004).

[9] B.Beheshti boroumand, M.H.Karimian" Various Methods of reducing car aerodynamic drag."/Conference 9th of Dynamics of Flows in 2004 in Shiraz.(In Persian)

[10] E.Saboohi, P.H.Tehrani, " Aerodynamics drag analysis of Kia Pride."/Mechanical Engineering Journal, Nr.75, 2004(In Persian)

[11] S.Ahmadi, A.H.Kakaei, A.Goudarzi" Numerical analysis Flow around the rear Flap in SAMAND" /Conference 7th of Mechanical engineering Tehran university, 2012.(In Persian)

[12] M.H.Javareshkian, R.S.Sedghian, A.Azarkhish, " Numerical & experimental analysis of aerodynamics force of car."/Magazine of technical & engineering faculty of Tabriz university, 2006 (In Persian)