

طرحی نوین برای کاهش درگ ماشین با استفاده از آگزوز (مطالعه موردی ماشین شاسی بلند شرکت اوپل برند کروسا هاچبک Vauxhall)

ژاله ازدرزاده¹، سیاوش عزیزی^{2*}

1- آموزشکده فنی و حرفه ای سما سهند، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران، پست الکترونیکی:

zh_azhdarzadeh@yahoo.com

2- آموزشکده فنی و حرفه ای سما سهند، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران، پست الکترونیکی:

syawash70@gmail.com

خلاصه

در عصر حاضر با توجه به بحران روزافزون آلودگی محیط زیست و افزایش چشمگیر قیمت سوخت های مصرفی، کاهش پسای خودرو با استفاده از روش های ابتکاری از اهمیت بالایی برخوردار است. در تحلیل ایرودینامیک خودرو به طور کلی از دو روش استفاده می شود. روش عددی که در تحلیل های مهندسی استفاده می شود شاید دارای خطای زیادی نسبت به روش آزمایشگاهی باشد اما به دلیل مشکل هزینه زیاد طرح های آزمایشگاهی امروزه روش عددی مورد اهمیت بسیار محققان واقع شده است.

در این مقاله در ابتدا سعی شده است تا با استفاده از روش های عددی، جریان سیال بر روی بدنه خودروی تویوتا کروسا به صورت دوبعدی حل شود. سپس با استفاده از سه ایده در خروجی آگزوز ماشین در پی کاهش پسا و مقایسه طرح های مختلف هستیم. برای انجام این کار با استفاده از نرم افزار فلونت، معادلات حاکم بر جریان سیال به همراه مدل K-ε استاندارد با استفاده از شرایط مرزی مناسب حل گردیده اند. با مطالعه نتایج حاصل از این تحقیق و مشاهده خطوط جریان و کاهش اندازه و تعداد گردابه های ایجاد شده در پشت اتومبیل، در پی ارائه یک نوع جدید از هندسه آگزوز هستیم. بنابراین در این مقاله، سه ایده مختلف که در جهت بهبود ایرودینامیک یک خودرو به نظر می رسد، بررسی شده و با مدل سازی و تحلیل عددی جریان بر روی اتومبیل مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج مقاله حاکی از کاهش بیشینه 13 درصد پسا در پشت اتومبیل، نسبت به حالت آگزوز ساده را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط زیست، پسای خودرو، روش های عددی، هندسه آگزوز

1. مقدمه

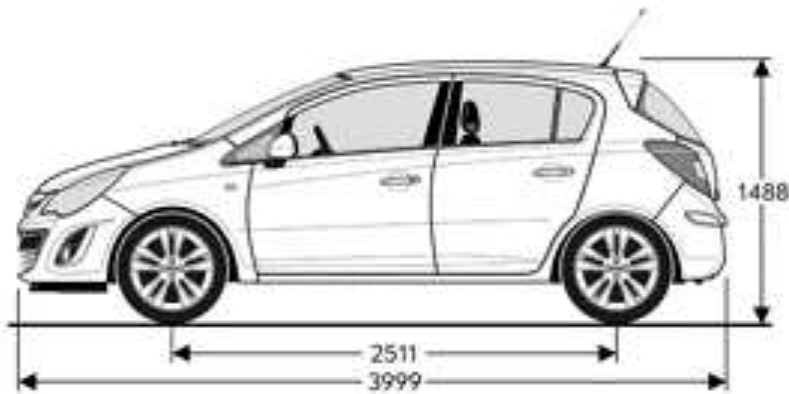
مسئله مورد بررسی در این مقاله کاهش درگ یک ماشین با استفاده از طراحی درست محل خروج دود آگزوز است. در ابتدا برای شروع کار از ماشین شرکت اوپل برند کروسا استفاده شده است؛ اما تجزیه و تحلیل برای هرگونه ماشینی قابل استفاده است. مشخصات کلی کروسا در عکس های 1 و 2 موجود است.

2. شرایط مرزی و نرم افزاری استفاده شده

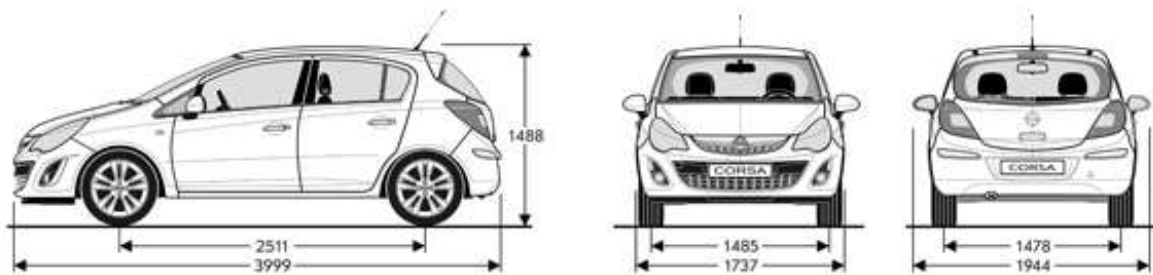
در این مقاله از تحلیل دوبعدی استفاده می شود. از وجود تایرها صرف نظر شده است به دلیل آنکه 29 درصد از کل طول جلوی ماشین را گرفته است. این مسئله در فرمول 1 آورده شده است:

$$\text{درصد} = \frac{\text{two tier distance}}{\text{all distance}} = \frac{2 \times 252}{1737} \times 100 = 29\% \quad (1)$$

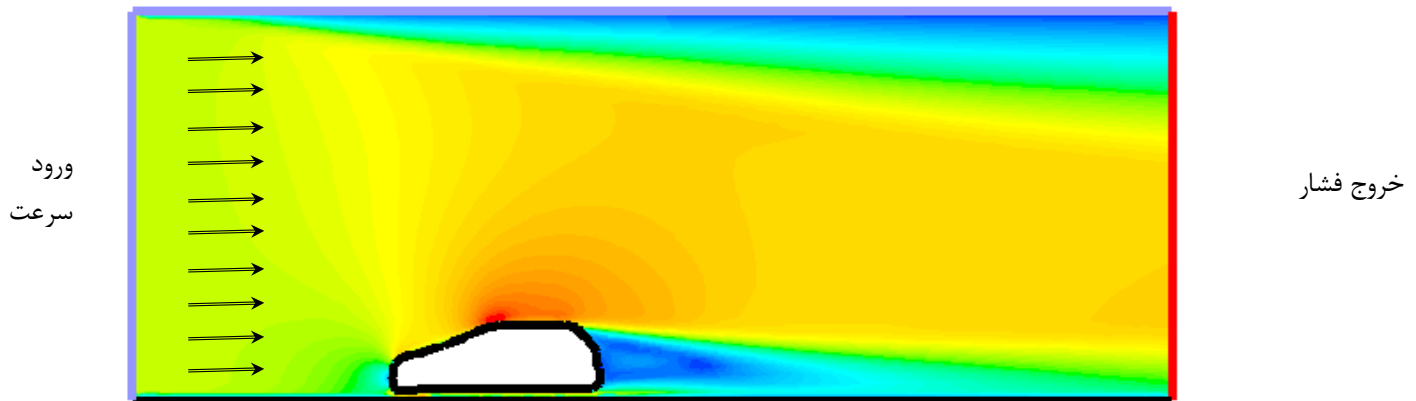
در این تحلیل از نرم افزارهای Gambit 2.4.6، Exceed 13، و Ansys Fluent 14.0.0 استفاده می شود. برخی از شرایط مرزی این مقاله در شکل 3 نشان داده شده است.



شکل 1- مشخصات ابعادی ماشین



شکل 2- مشخصات ابعادی کل ماشین



دیوار جامد

شکل 3- شرایط مرزی

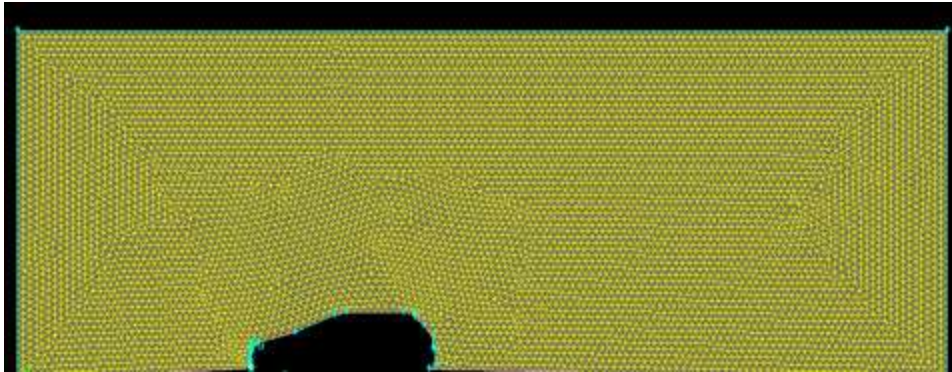
بر روی کل ماشین از شرط دیوار استفاده می شود. مشخصات دیتاهای ورودی و دیمانسیون، به نرم افزار در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1- مشخصات ورودی های سیستم

واحد	مقدار	متغیر
M	3.999	طول کل ماشین
M	1.488	ارتفاع کل ماشین
M	1.288	ارتفاع کل ماشین بدون در نظر گرفتن تایرها
M	20	طول کل مساحت سیستم
M	7.5	عرض کل مساحت سیستم
m/s	27.778	سرعت سیال ورودی به سیستم
atm	1	فشار سیستم
عدد	13000	تعداد نودهای سیستم
-	100	تعداد تکرار نرم افزار
-	1×10^{-6}	کمینه هر واحد
kg/m ³	1.225	چگالی هوا
M	1	عمق معیار
K	288.16	دمای محیط
kg/m.s	1.7894×10^{-5}	ویسکوزیته هوا

3. کار با نرم افزار Exceed و Gambit

ابتدا با استفاده از نرم افزار معروف digitizer نقاط دوبعدی ماشین را به دست می آوریم. سپس با ورود این نقاط به داخل نرم افزار مش زنی و شرایط مرزی را بر روی سیستم انجام می دهیم و برای ورود به نرم افزار فلوئنت آماده می کنیم. شکل 4 فایل ورودی به فلوئنت را نشان می دهد. البته باید گفت که در این مقاله با دو روش عدم وجود سیال زیر ماشین و باوجود آن حل شده است.



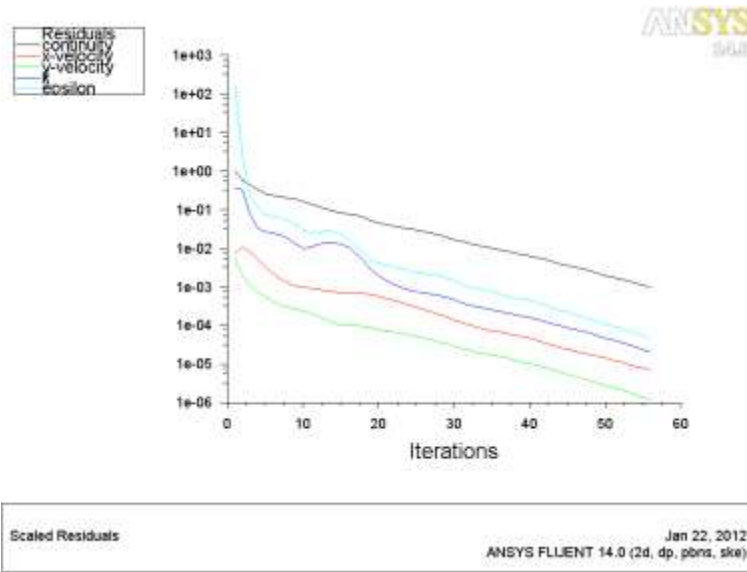
شکل 4- مش زنی در گمبیت

سپس نرم افزار فلوئنت را باز کرده و فایل مش زنی را وارد می نماییم. برای حل این مقاله از متد کا-اپسیلون ($k - \epsilon$) استفاده شده است.

برای کوپل کردن فشار با دما از متد کوپل استفاده می شود. برای مومنتوم از درجه 2 و برای توربولانس درجه 1 انتخاب شده است. در خروجی نیز رز جوال های سیستم برای کاورج شدن و ضریب درگ کل ماشین آورده شده است. اشکال کانتور سرعت و فشار نیز موجود می باشند. برای حالت تکرار از 100 بار و برای حالت دقت از میکرو استفاده شده است.

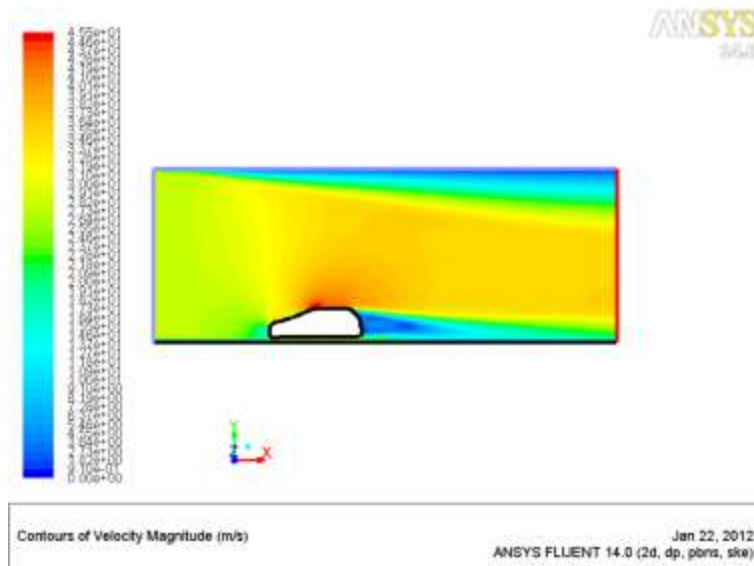
در زیر شبیه سازی کروسا به حالت عادی و بدون هیچ تغییری را انجام می دهیم. به دلیل آنکه برای فهمیدن تغییرات هر پارامتری این اعداد رفرنس های ما هستند.

شکل 5 نمودار رزیجوال های سیستم را نشان می دهد. یکی از نکات این نمودار به جواب رسیدن دیرتر معادله پیوستگی است. در همه تحلیل ها انجام شده همیشه معادله پیوستگی با سرعت کمتری و دقت کمتر به جواب می رسد.

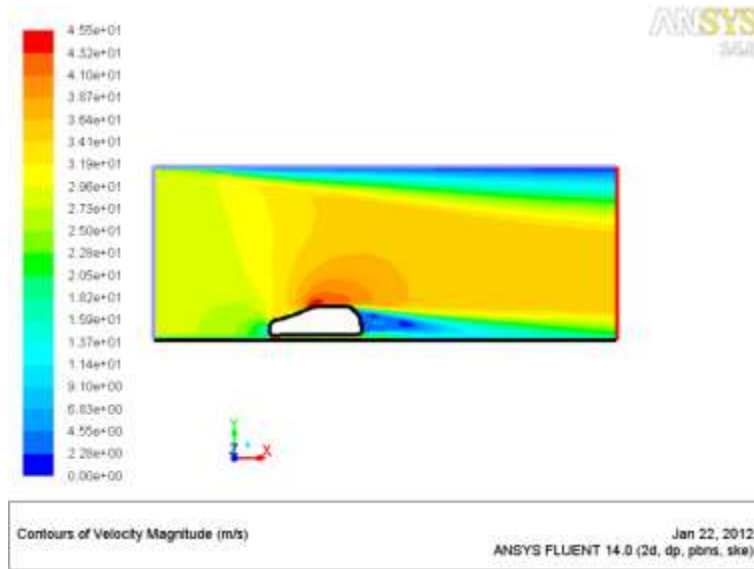


شکل ۵- رزیجوآل های سیستم

شکل 6 تا 13 نمودارهای کانتورهای سرعت، فشار و بردار سرعت دور سیستم را نشان می دهد. این اشکال دید بسیار خوبی از سیستم حرکت یک ماشین را نشان می دهند. شکل 6 بیشینه ی سرعت را در قسمت بالایی ماشین نشان می دهد که 17 متر بر ثانیه از سرعت ماشین بیشتر است.

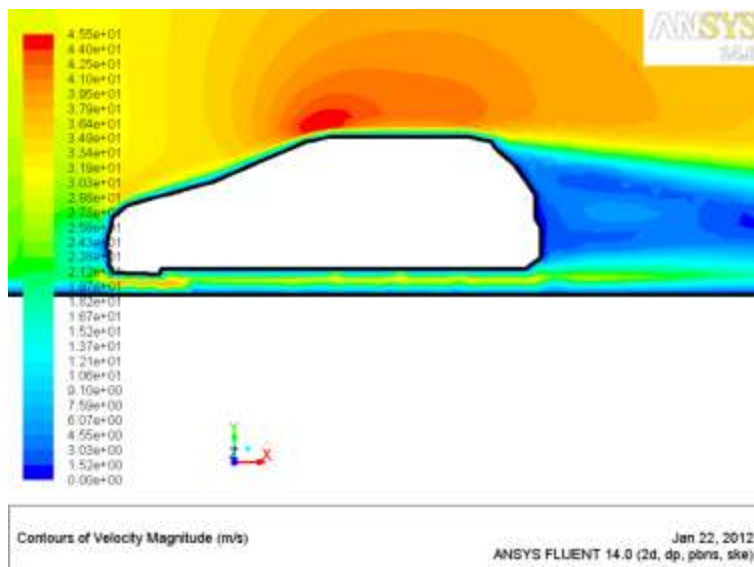


شکل 6- کانتور سرعت



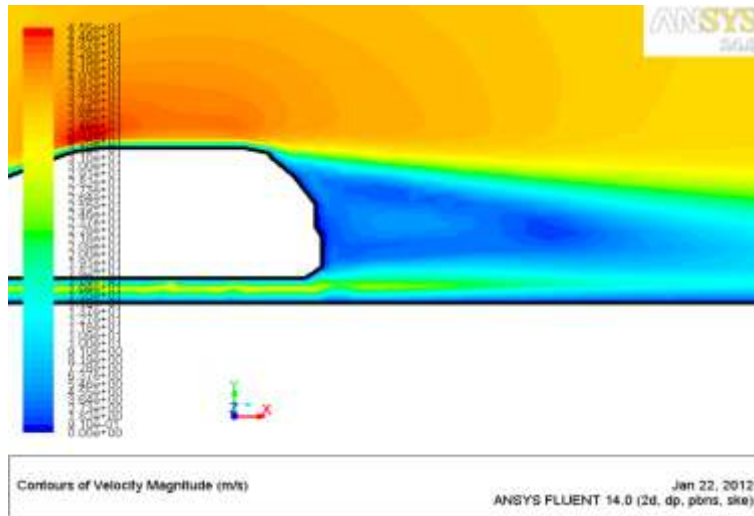
شکل 7- کانتور سرعت

شکل 8 در نقطه ابتدایی ماشین کنار رادیاتور نقطه منفرد وجود دارد و سرعت در این ناحیه در یک نقطه به صفر می رسد.



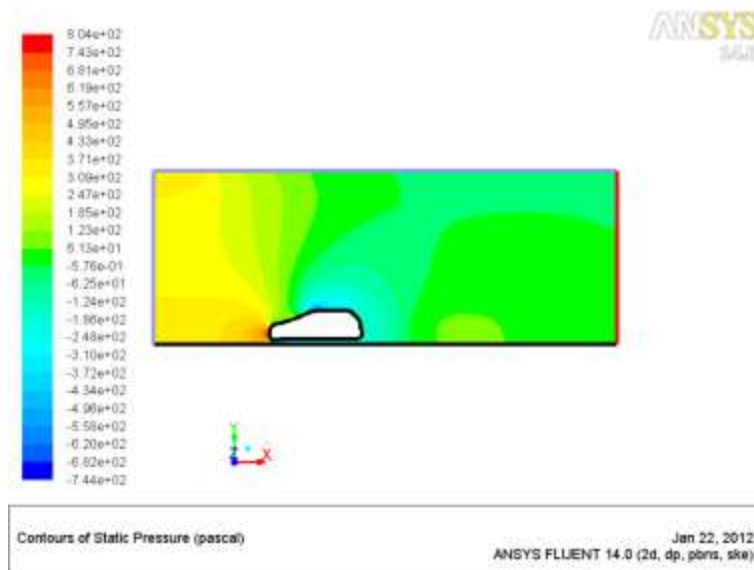
شکل 8- کانتور سرعت

شکل 9 پشت ماشین را نشان می دهد. مقدار کاهش سرعت تا صفر متربرثانیه وجود دارد.



شکل ۹- کانتور سرعت

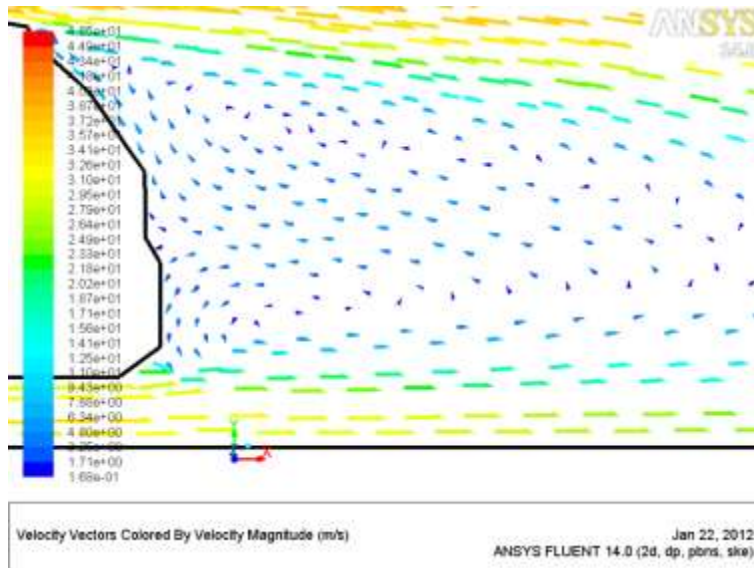
شکل 10 کانتورهای فشار را نشان می دهد. در جلوی ماشین به دلیل وجود نقطه‌ی استگنیشن بیشینه فشار 804 پاسکال است. مقدار فشار جو 101 پاسکال گرفته شده است.



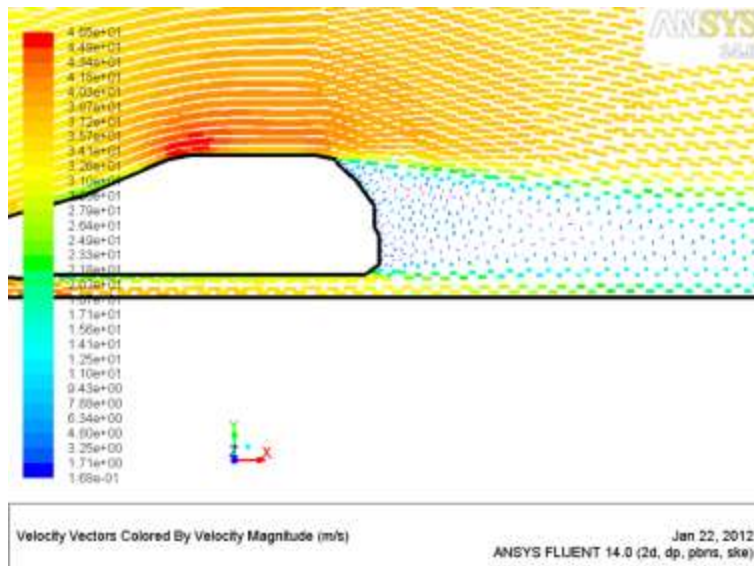
شکل 10- کانتور فشار

اما مشکل اساسی وجود ورتکس در عقب ماشین است. هدف اصلی این مقاله از بین بردن این ورتکس هاست. همچنان که در شکل 11 تا 13 می بینیم ورتکس های زیادی وجود دارند که در کل به دو ورتکس بسیار قوی که یکی کنار شیشه عقب و دیگری بالای آگزوز، تشکیل شده است. این ورتکس ها با تلف کردن انرژی باعث کاهش فشار منطقه شده و چون که فشار جلوی ماشین بیشتر از عقب آن است باعث ایجاد ناحیه شبه خلأ در عقب می شود و نیروی درگ را افزایش می دهند.

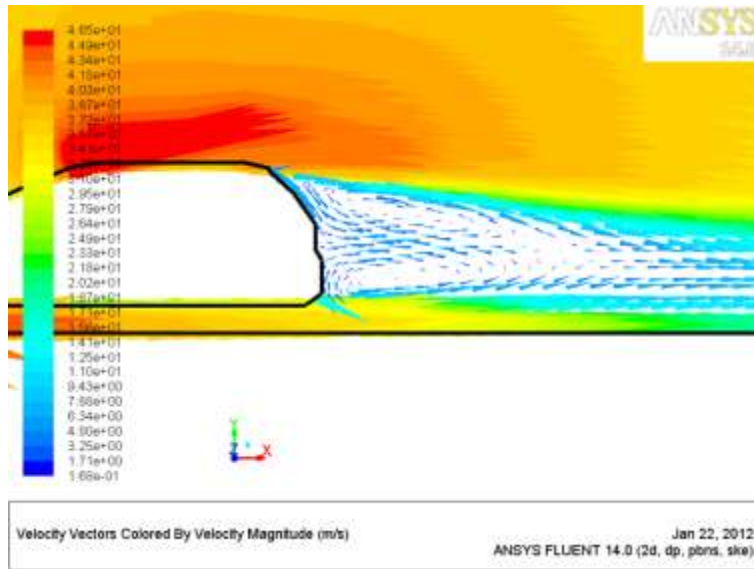
برای جلوگیری از این مشکل می توان جهت و ناحیه ای که دودهای اگزوز از آن بیرون می آیند را طوری طراحی کرد که باعث کاهش ورتکس ها شود. روش های زیادی برای این کار وجود دارد. در این مقاله سعی بر زیاد شدن روش ها برای مقایسه ی آنها شده است. در بخش بعدی به کارهای انجام شده در این مقاله می پردازیم.



شکل 11- بردارهای سرعت

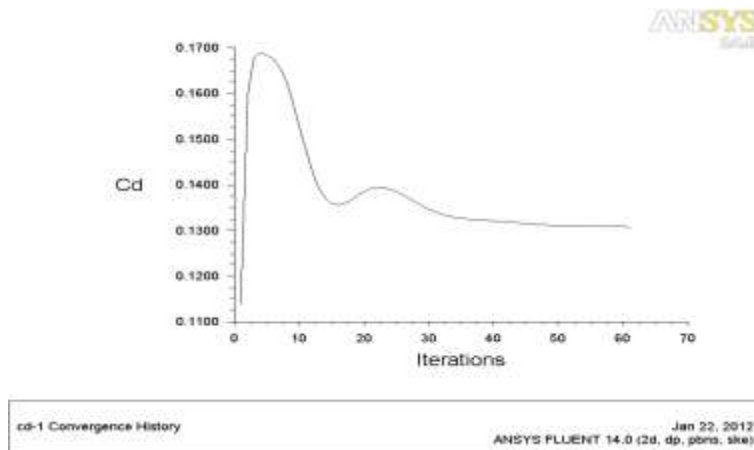


شکل 12- بردارهای سرعت



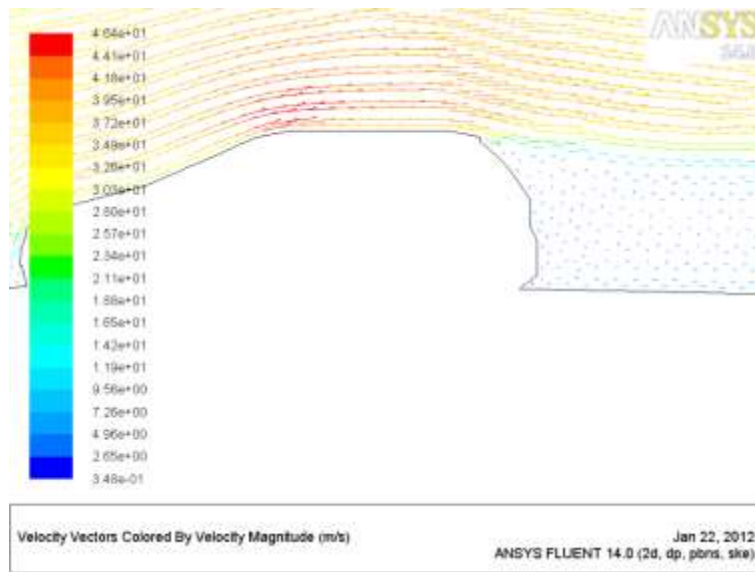
شکل 13- بردارهای سرعت

شکل 14 نمودار درگ کلی سیستم را نشان می‌دهد.



شکل 14- درگ سیستم

مقدار دقیق این درگ 0.13068 است. البته این درگ بدون در نظر گرفت کف ماشین می‌باشد، به دلیل آنکه برای طراحی اگزوز باید از محیط خارجی به داخل سیستم دبی بیاید. اگر ماشین داخل سیستم مش زنی باشد نمی‌توان به نرم‌افزار فلونت گفت که ورودی از داخل سیستم است. شکل ورتکس‌ها در سیستم جدید به صورت شکل 15 است.



شکل 15- ورتکس های عقب سیستم جدید

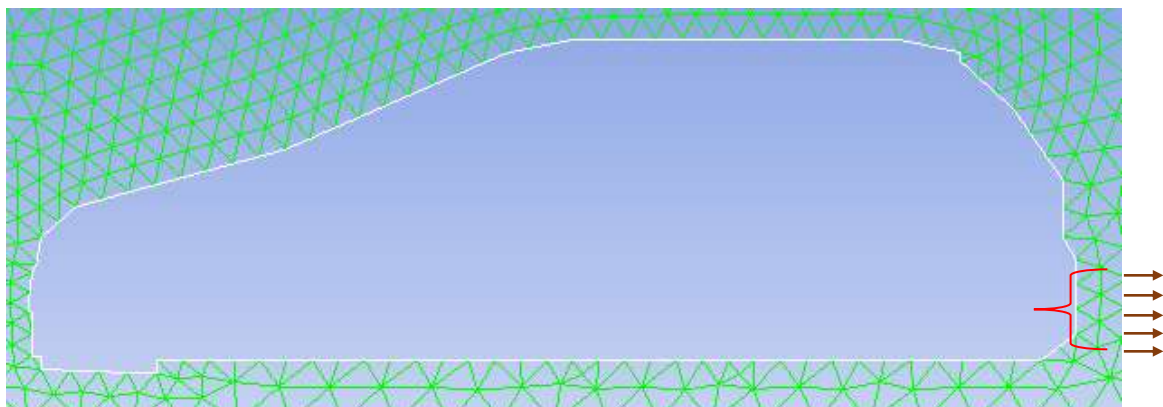
4. شبیه سازی

شبیه سازی شماره یک: گرفتن خروجی آگروز به صورت یکپارچه

در شبیه سازی اول به دنبال سرعت بهینه گازهای خروجی مقطع نشان داده شده در شکل 16 هستیم. فرض شده است که دبی از مقطع نشان داده شده خارج می شود؛ به دلیل آنکه عمق مؤثر را یک متر گرفتیم و ارتفاع مقطع در ماشین 29.76 سانتی متر است پس داریم:

$$Q = V \times A \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{1 \times 0.2976} \cong 3.36 \times Q \quad (2)$$

برای پیدا کردن سرعت بهینه ابتدا باید شبیه سازی برای چندین سرعت انجام بشود و باهم مقایسه بشوند. در این بخش برای 11 سرعت از صفر تا سرعت سیستم مقادیر جدول 2 انتخاب شده و نمودار درگ برای هر کدام رسم شده است.

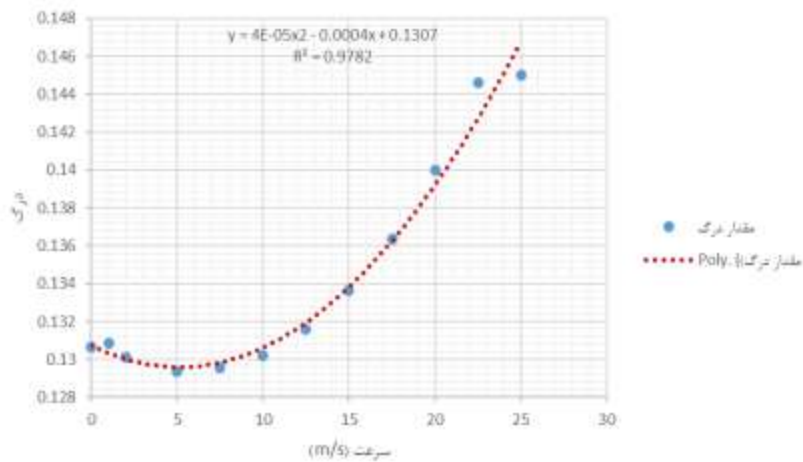


شکل 16- مقطع خروجی اگزوز شبیه سازی یک

جدول 2- سرعت های انتخابی برای شبیه سازی یک

مقدار درگ	سرعت خروجی اگزوز (متر بر ثانیه)	شبیه سازی
0.13068	0	رفرنس
0.13088	1	1
0.13009	2	2
0.12937	5	3
0.12956	7.5	4
0.13020	10	5
0.13159	12.5	6
0.13365	15	7
0.13635	17.5	8
0.14000	20	9
0.14460	22.5	10
0.14500	25	11

شکل 17 نمودار درگ نسبت به سرعت را نشان می دهد.



شکل 17- نمودار درگ بر حسب سرعت

شکل 17 مقدار بهینه را 5 متر بر ثانیه نشان می دهد که مقدار بسیار معقولی است و توانایی ایجاد آن را داریم. مقدار دبی به صورت زیر خواهد بود:

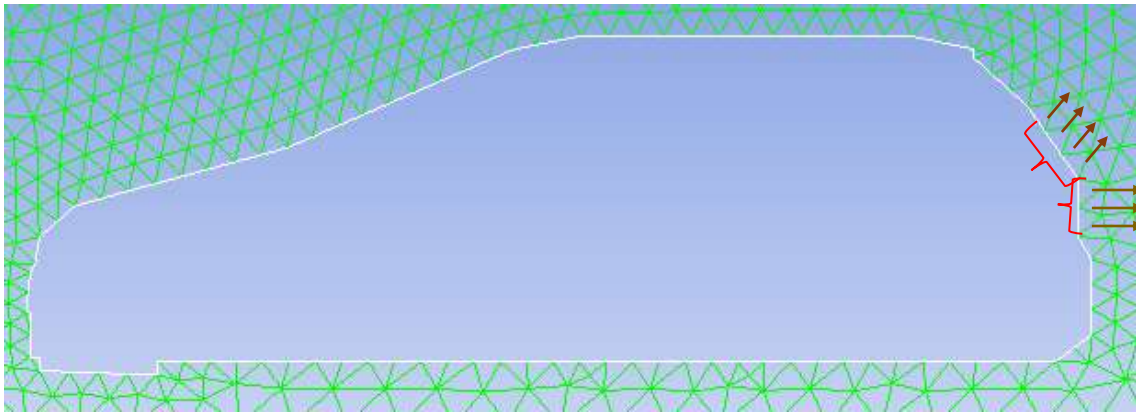
$$Q = \frac{5}{3.36} \cong 1.488 \frac{m^3}{s} \quad (3)$$

مقدار کاهش درگ :

$$\%drag\ reduce = \frac{D_{old} - D_{new}}{D_{old}} = \frac{0.13068 - 0.12937}{0.13068} \times 100 \cong 10\% \quad (4)$$

که مقدار بسیار خوبی برای ماشین است.

شبیه سازی شماره دو: گرفتن خروجی اگزوز به صورت دو ناحیه در شبیه سازی دوم به دنبال سرعت بهینه گازهای خروجی مقطع نشان داده شده در شکل 18 هستیم.



شکل 18 - مقطع خروجی اگزوز

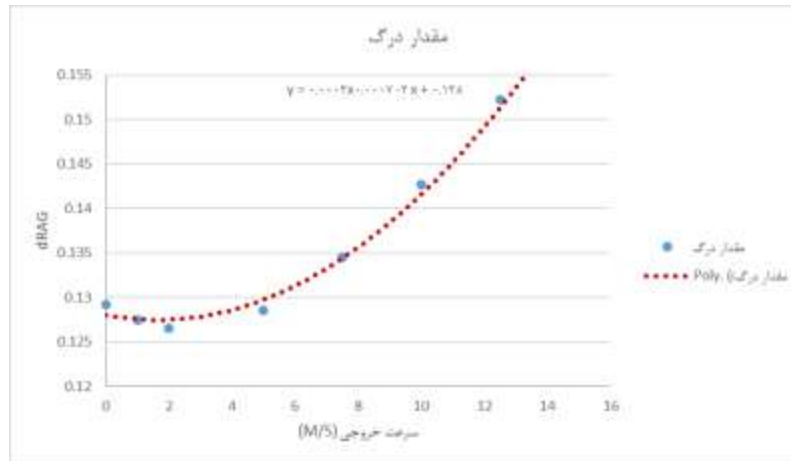
دلیل این امر از بین بردن ورتکس بالایی است. به این دلیل که ورتکس پایینی در شبیه سازی اولیه فقط 10 درصد کاهش درگ داشت.

جدول 3- سرعت های انتخابی برای شبیه سازی شماره دو

مقدار درگ	سرعت خروجی اگزوز (متر بر ثانیه)	شبیه سازی
0.12923	0	رفرنس
0.12744	1	1
0.12653	2	2
0.12857	5	3
0.13449	7.5	4
0.14265	10	5
0.15225	12.5	6
0.16265	15	7

نمودار درگ نسبت به سرعت خروجی اگزوز در شکل 19 رسم شده است. مقدار کمینه درگ مقدار 0.1275 است در سرعت 2.5 متر بر ثانیه و با توجه به فرمول زیر 13.3 درصد کاهش درگ داریم.

$$\%drag\ reduce = \frac{D_{old} - D_{new}}{D_{old}} = \frac{0.12923 - 0.12750}{0.12923} \times 100 \cong 13.3\% \quad (5)$$

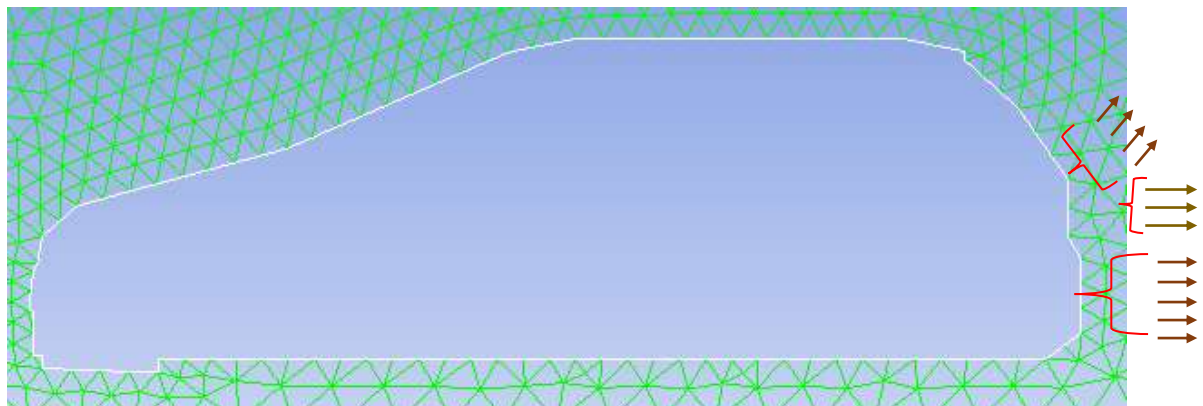


شکل 19- نمودار درگ نسبت به سرعت خروجی گازهای اگزوز برای شبیه سازی دوم

حال در پروژه آخر به صورت مختصر پروژه های اول و دوم را ادغام می نمایم.

شبیه سازی سوم

در شبیه سازی حاضر هم قسمت پایین و هم بالا برای اگزوز استفاده شده است. شکل 20 اشل کلی خروج دود در پروژه شبیه سازی سوم را نشان می دهد.



شکل 20- شرایط شبیه سازی سوم

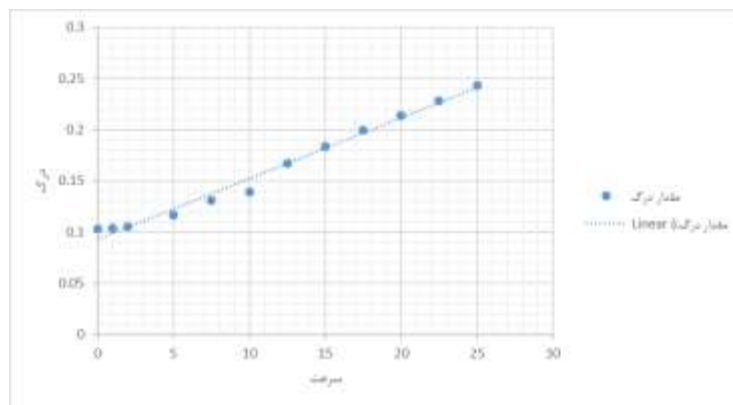
جدول 4 مشخصات شبیه سازی سوم را نشان می دهد.

جدول 4- مشخصات شبیه سازی سوم

مقدار درگ	سرعت خروجی اگزوز (متر بر ثانیه)	شبیه سازی
0.10327	0	رفرنس
0.10408	1	1
0.10571	2	2
0.11658	5	3
0.13107	7.5	4

0.13921	10	5
0.16735	12.5	6
0.18387	15	7
0.19949	17.5	8
0.21401	20	9
0.22855	22.5	10
0.24320	25	11

با رسم نمودار درگ نسبت به سرعت به دنبال محل بهینه آن هستیم. شکل 21 این نمودار را نشان می دهد.

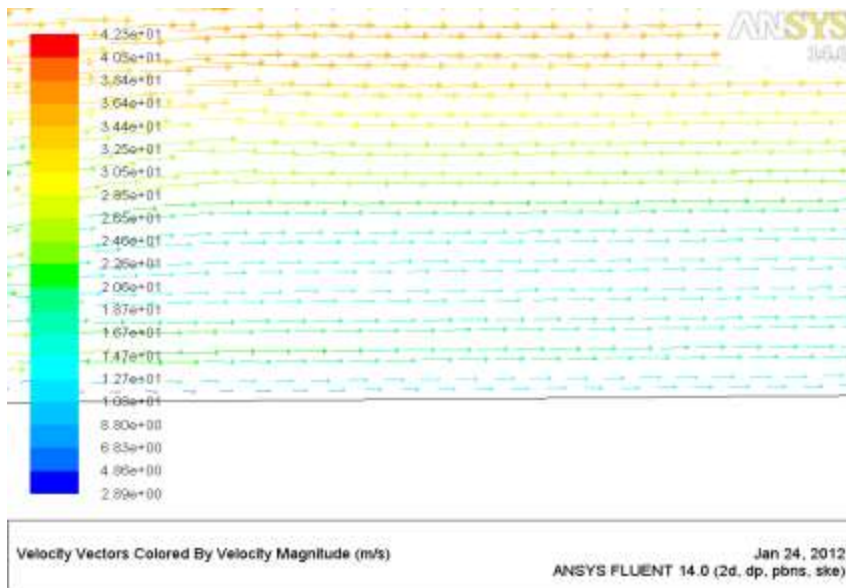


شکل 21- نمودار درگ نسبت به سرعت برای پروژه سوم

در این مورد مقدار بهینه ای وجود ندارد و با افزایش سرعت خروج دقیقاً مثل ماشین جت شده و سرعت را افزایش می دهد.

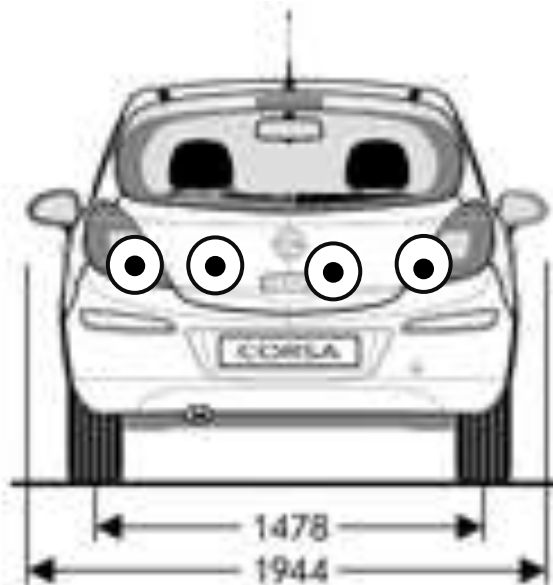
5. نتیجه گیری

برای شبیه سازی سوم در سرعت 20 متر بر ثانیه اشل سرعت پشت ماشین همانند شکل 22 است.



شکل 22- اشل سرعت در 20 متر بر ثانیه

این اشل حالت بهینه را نشان می دهد که هیچ ورتکسی در آن وجود ندارد ولی ساخت چنین ماشینی از نظر صنعتی سخت به نظر می رسد. شکل 22 به صورت شماتیک طرح شبیه سازی شده نهایی را نشان می دهد. بیشینه حالت کاهش درگ برای حالت اول 10 درصد و حالت دوم 13.3 درصد است.



شکل 23- عقب ماشین کرسا

6. قدردانی

از آقای دکتر مجید بازارگان که همواره نویدبخش زندگی برای ما بوده است، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

7. مراجع

1. Hucho, W.-H, Md. Hasan "The aerodynamic drag of cars current understanding, Unresolved problems, and Future Prospects" Aerodynamic Drag mechanisms of bluff bodies and road vehicles, plenum press, New York, 1978.
2. Hoerner S. F. , ' Fluid dynamic drag. Practical information on aerodynamic drag and hydrodynamic resistance', Published by author, Midland Park, N. J. ,1958.
3. Carr G. W. , ' New MIRA drag reduction prediction method for cars.', Automotive Engineer , June/July, 1987.
4. Holt, D. J. , Underbody Aerodynamics: The next area of refinemant, SAE Journal, 1982.
5. Cooper K. R. , Bertenyi T. , Dutil G. , Syms J. and Sovran G. , " The aerodynamic performance of underbody diffusers", SAE 980030, 1998.
6. Skea, A. F. and Bullen, P. R. and Qiao, J. , Underbody Aerodynamics: Using CFD to simulate the air flow around a rotating wheel of a passenger car, Autotech, Birmingham, 1999.
7. Skea, A. F. and bullen, P. R. and Qiao, J. , Review of Underbody Aerodynamics: Testing Techniques; Airflow characteristics; CFD Contribution, Ford Technical journal, 2000.
8. Casella, M. , Mirolo, E. , Ribaldone, E. and scantamburlo.G. , The use of CFD Techniques in the solution of automotive problems, JSAE spring convention, paprer 20005346, 2000 [8] Fluent Users Manual, Chapter 9, Turbulence Models, 1998 [9] Hucho, W. H. , 'Aerodynamics of road vehicles, Society of Automotive Engineers Inc', 1998.
9. ثاحمدی، حمیدرضا و مجید عباسعلیزاده، (۱۳۹۲)، "طراحی و پیشنهاد یک باربند آیرودینامیکی جهت کاهش نیروی درگ خودرو"، دومین کنفرانس ملی سیستم های مکانیکی و نوآوری های صنعتی، اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
10. بهشتی برومند، بهناز و محمدحسین کریمیان، (۱۳۸۳)، "تحلیل روش هایی مختلف جهت بهبود ایرودینامیک خودرو"، نهمین کنفرانس دینامیک شاره ها، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی.