Archive of SID

مقاله

شبیه‌سازی توزیع آلودگی ناشی از خودروها در خیابان‌های شهری

کوروش گودرزی، استادیار دانشکدهٔ فنی - مهندسی، دانشگاه یاسوج
kgoudarzi@yu.ac.ir
محمد ذاکری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران
mohamad_zakeri@auto.iust.ac.ir

چکیده
خیابان‌های تنگ و باریک شهرها نقشی اساسی در انباشت آلودگی ایفا می‌کنند. جریان آشفتهٔ ایجادشده نیز تأثیری منفی بر سلامت شهروندان دارد. همچنین تأثیر باد بر تراکم آلودگی در خیابان‌ها بیشتر از جریان آشفته به‌وجودآمدهٔ توسط خودروهاست. با علم بر این مطلب، درک صحیح نحوهٔ توزیع آلودگی در مناطق گوناگون شهر ضروری به‌نظر می رسد. در این مقاله از مدل محاسباتی دینامیک سیالات برای شبیه‌سازی جریان در خیابان‌ها و در اطراف خودروها استفاده شده است. با این شبیه‌سازی نحوهٔ توزیع آلودگی در خیابان‌های شهر نشان داده شده است. همچنین ضریب درگ هر یک از خودروها به‌دست آمده، در دوحالتِ همراه با جریان باد و بدون جریان باد مقایسه شده است. در ادامه نتایج بیشترین و کمترین خودرو از لحاظ مصرف سوخت و آلودگی کمتر مشخص و تأثیر خطوط حاصل از جریان یکی از خودروها بر دیگری به‌دقت بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: خودرو، ضریب درگ، خطوط جریان، آلودگی، مصرف سوخت

مقدمه

در بسیاری از کلان‌شهرها، افزایش ناگهانی وسائل نقلیهٔ موتوری، طی دهه‌های گذشته، سبب ترافیک‌های سنگین خیابانی در سفرهای درون‌شهری شده است. آلودگی‌های ناشی از این حجم ترافیک مشکلات زیست –محیطی و بهداشتی بسیاری را، به‌خصوص برای اقشار آسیب‌پذیر جامعه، پدید آورده است. امروزه سلامت مردم تحت تأثیر آلودگی‌ها شهری و خیابان‌های ناامن است. در این میان، اقشاری که در معرض بیشترین خطرات قرار دارند، عموماً کودکان، افراد سالمند، معلولین و فقرا هستند؛ زیرا این اقشار برای جابه‌جایی از روش‌هایی همچون پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و وسائل نقلیهٔ عمومی استفاده می‌کنند. همچنین آلودگی هوا در شهرهای گوناگون، که عمدتاً ناشی از خودروهاست، سالیانه به‌سبب عواملی که مهم‌ترین آنها

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

بیماری‌های قلبی –عروقی و تنفسی است، باعث مرگ حدود ۱/۲ میلیون نفر می‌شود. به‌طور کلی خیابان‌ها نقش مهمی در حفظ آلودگی، میزان مصرف سوخت خودروها و زندگی افراد ایفا می‌کنند. تاکنون مطالعات و تحقیقات بسیاری پیرامون بررسی آئرودینامیکی خودروها در بزرگراه‌ها و خیابان‌ها انجام شده است. بخشی از این مطالعات به‌صورت تجربی است[۱ – ۳]. در سال‌های گذشته نیز با استفاده از روش‌های عددی تحقیقاتی انجام شده است[۴ – ۷]. به‌عنوان نمونه می‌توان به مطالعات سولازو و واردولاکیس (۲۰۰۸) اشاره کرد که در تونل باد دانشگاه کارلسروئه آلمان، به‌کمک نرم‌افزار FALUENT انجام شده است[۸ و ۹]. در این مطالعه علاوه بر بررسی خطوط جریان اطراف هر خودرو، بیشترین و کمترین خودرو از لحاظ مصرف سوخت برای هر حالت نیز بررسی شده است. نکته‌ای که باید خاطر نشان شد تأثیر جریان بادی است که از کنار به خودروها می‌وزد و نتایج حاصل در دو حالت با باد و بدون باد بررسی می‌شوند. حیدر و همکاران (۱۹۹۷) نیز مطالعاتی روی جریان برگشتی در جهت عمودی توزیع جریان انجام داده است[۱۰]. در یک طول تخمین زده شده است که ۹ خودرو پشت‌سرهم به‌صورت تقریبی تخمین زده شده‌اند. جریان برگشتی به‌صورت سه‌بعدی همگن فرض شده است. مسئلهٔ توزیع جریان در ناحیهٔ جریان برگشتی به‌عنوان حل لایهٔ مرزی در نظر گرفته شده است. چون ضخامت جریان برگشتی از طول جریان برگشتی کمتر شده، سرعت متوسط جریان در طول ناحیهٔ جریان برگشتی به‌عنوان یک اختلال جریان سرعت بیان شده است.

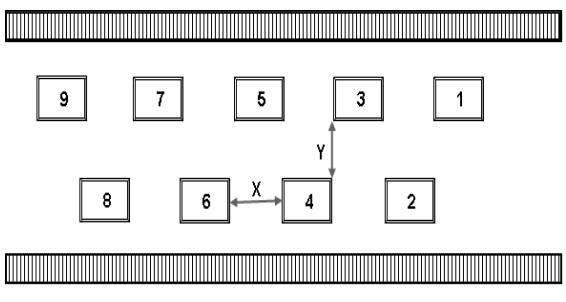
در این مقاله نقش دینامیک سیالات محاسباتی در بررسی ضریب درگ خودرو، همچنین خطوط جریان که نشان‌دهندهٔ گسترش آلودگی در بزرگراه است نشان داده شده است. برای این منظور خودرو را جسمی غیرآئرودینامیک فرض و همچون یک مکعب آن را مدل می‌کنیم. مدل به‌دست‌آمده را در نرم‌فزار CATIA جهت تحلیل وارد نرم‌افزار شبیه‌سازی سیالاتی ANSYS.CFX شده است. در نرم‌افزار تحلیلی برای شرایط مشخص مسئله در حالت‌های موردنظر تحلیل انجام شده و در نهایت نتایج ارائه شده است.

مدل‌سازی

همان‌طور که گفتیم، خودروها و خیابان‌ها در نرم‌افزار CATIA مدل شده و برای تحلیل به نرم‌افزار ANSYS.CFX ارسال شده است. مدل توربولانسی استفاده‌شده در این مقاله SST و نوع مسئله حالت پایدار است. در هنگام استفاده از شرایط باد، یک شرط مرزی ورودی و یک شرط مرزی خروجی نیز به مسئله اضافه می‌شود. سرعت خودروها ۳۰ متر بر ثانیه و سرعت باد نیز ۰/۵ متر بر ثانیه فرض شده است. متغیرهای هندسی مسئله در شکل ۱ مشخص شده، ابعاد متغیرها نیز در جدول ۱ نمایش داده شده است.

خودروها در خیابان‌های شهری، همانند شبیه‌سازی در تونل باد توسط نرم‌فزار مدل شده‌اند. برای انجام تحلیل نیز از نرم‌افزار سیالاتی ANSYS.CFX استفاده شده است.

ابعاد تونل باد عبارت است از: طول ۵۰ متر، عرض ۱۶متر و ارتفاع ۶ متر. تونل باد شبیه‌سازی‌شده در شکل ۲ نمایش داده شده است.



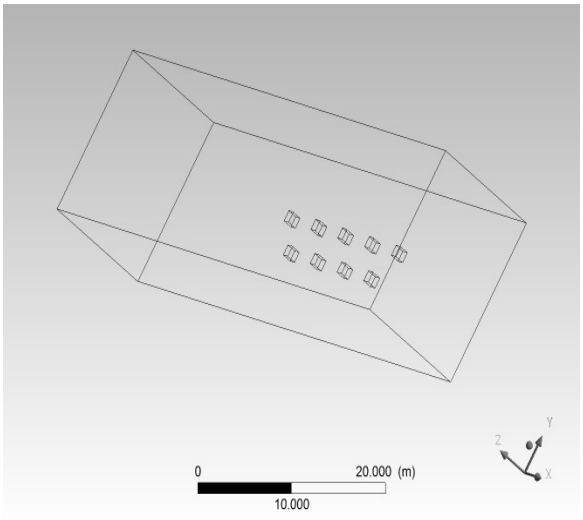
شکل ۱. متغیرهای هندسی خودروها و شمارهٔ آنها در خیابان

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. متغیرهای هندسه

X (m)	۷	۶	۵	۴
Y (m)	۲	۲	۲	۲
X/Y	۳/۵	۳	۲/۵	۲



شکل ۲. مدل خودروها در تونل باد

هندسهٔ خودرو نیز در جدول ۲ آمده است. توجه داشته باشید که تعداد المان‌های شبکهٔ تولیدشده ۶۶۹۵۶۳ المان است. نوع المان‌ها نیز چهارگوش می‌باشد.

جدول ۲. هندسهٔ خودرو

طول	۱
عرض	۱
ارتفاع	۱
فاصلهٔ خودرو تا کف زمین	۰/۰۸

نتایج

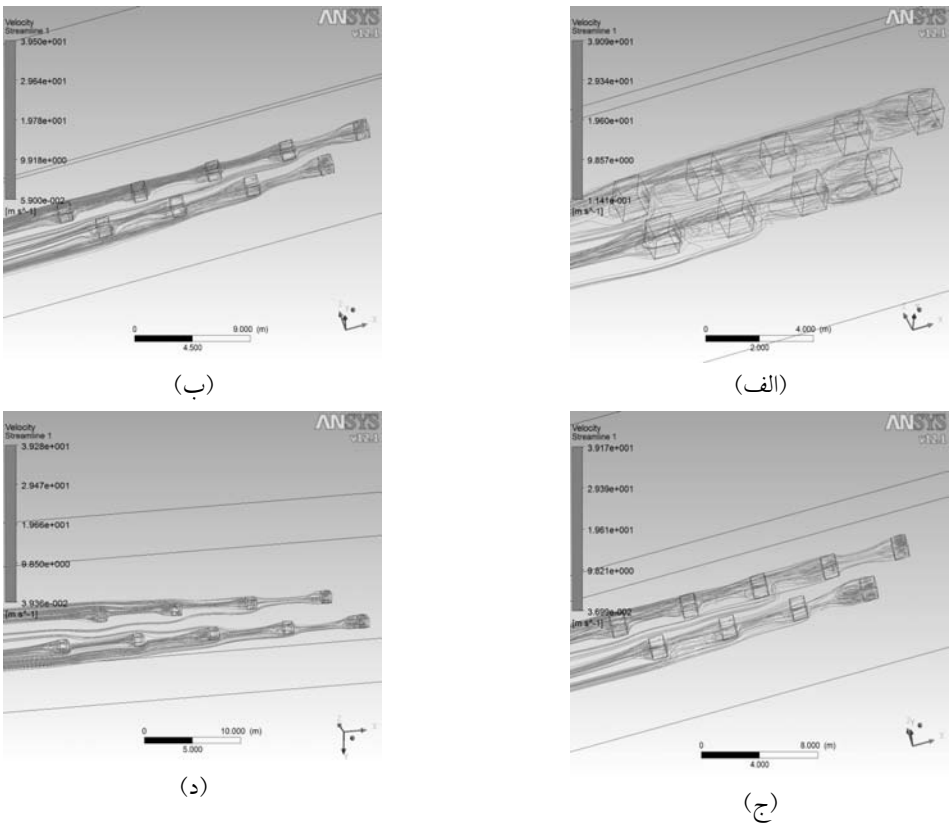
حالت بدون باد

در این حالت سرعت خودروها ۳۰ متر بر ثانیه در جهت محور X و سرعت باد در نظر گرفته نمی‌شود. شرایط مرزی برای دیواره‌ها دارای اصطکاک آزاد و برای دیواره‌های خودرو بدون اصطکاک در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت مرحله به مرحله جواب‌ها برای هندسه‌های گوناگون استخراج شده، خطوط جریان و ضرایب درگ به‌دست‌آمده برای هر خودرو نشان داده شده و با هم مقایسه می‌شوند. همان‌طور که در قسمت‌های پیش نیز گفته شد، متغیرهای هندسی X و Y می‌باشند که نسبت این دو متغیر به‌عنوان مبنای مقایسه برای تأثیر خودروهای کناری بر یکدیگر می‌باشد. انتظار می‌رود که با تغییر این متغیرها نیروی درگ و در نتیجه ضرایب درگ تغییر کنند. در شکل ۳ خطوط جریان و جریان برگشتی در خودروها برای حالات گوناگون و نحوهٔ گسترش آلودگی در خیابان نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جریان برگشتی به‌دلیل اختلاف فشار زیاد در جلو و پشت خودروهای اول و دوم زیاد می‌باشد و در نتیجه جریان برگشتی زیادی تولید می‌کند. همچنین تأثیر خودروهای جلو و کنار بر خودروی مورد نظر در شکل دیده می‌شود. نحوهٔ پخش آلودگی، که ناشی از گازهای سمی خارج شده از اگزوز خودروها می‌باشد، نیز در شکل‌ها نشان داده شده است.

همچنین مقادیر ضرایب درگ برای حالت‌های گوناگون بدون باد در شکل ۴ نمایش داده شده است. مشخص می‌شود که هرچه به سمت خودروهای عقب‌تر پیش می‌رویم ضریب درگ کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که برای دو خودروی آخر برای اکثر حالات، کمترین ضریب درگ و به‌دنبال آن کمترین مصرف سوخت وجود دارد.

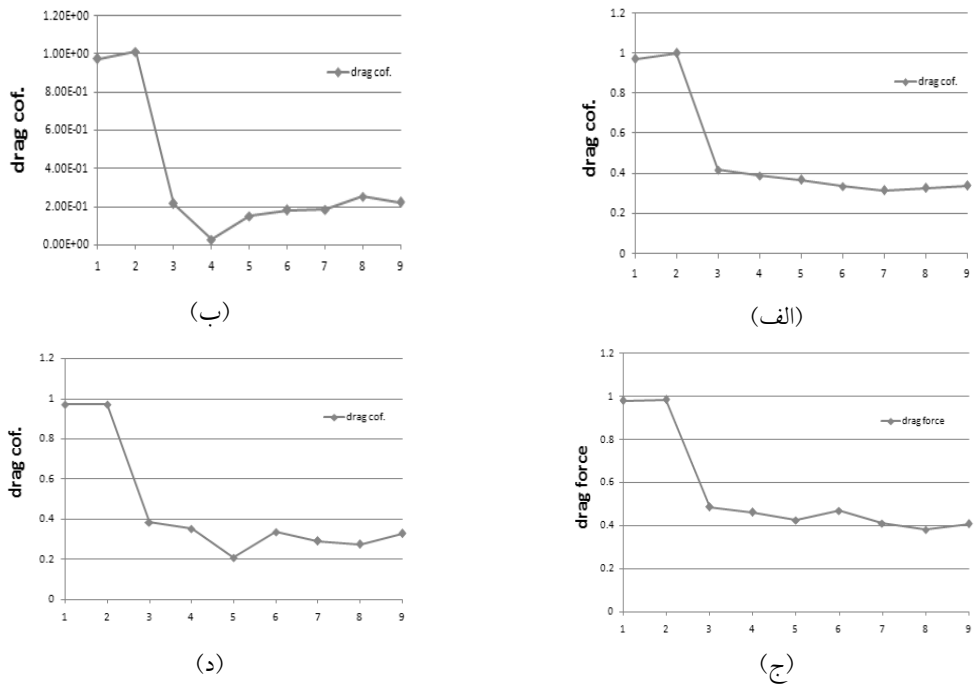
Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. خطوط جریان و نحوهٔ توزیع آلودگی در خیابان برای حالت‌های گوناگون

الف) $X/Y=2$ **، ب)** $X/Y=2.5$ **ج)** $X/Y=3$ **و د)** $X/Y=3.5$



شکل ۴. مقایسهٔ ضریب درگ خودروها برای حالت‌های گوناگون

الف) $X/Y=2$ **، ب)** $X/Y=2.5$ **ج)** $X/Y=3$ **و د)** $X/Y=3.5$

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

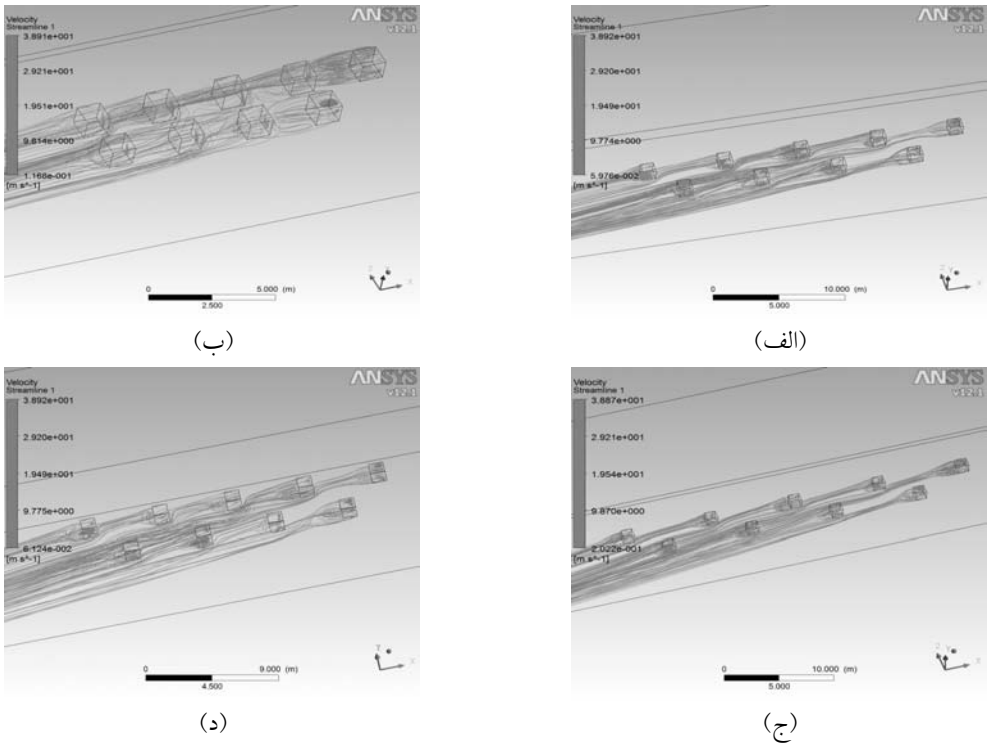
Archive of SID

نکته‌ای که باید بدان توجه داشته باشیم این است که هر چه ضریب درگ خودرو بالاتر باشد، میزان مصرف سوخت آن بیشتر و در نتیجه آلودگی ناشی از آن نیز بیشتر خواهد شد. در نمودارهای ۴ دیده می‌شود که برای حالت حرکت خودرو بدون باد خودروی شمارهٔ ۲ دارای بیشترین ضریب درگ است و بیشترین نقش را در تولید آلودگی خواهد داشت و برعکس خودروهای ۴ برای حالت الف، خودروی ۵ برای حالت ب، خودروی ۷ برای حالت ج و خودروی ۸ برای حالت د دارای کمترین ضریب درگ و در نتیجه کمترین سهم آلودگی می‌باشند.

حالت همراه باد

در این حالت سرعت خودروها ۳۰ متر بر ثانیه در جهت محور X و سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی برای دیواره‌ها دارای اصطکاک آزاد و برای دیواره‌های خودرو بدون اصطکاک در نظر گرفته می‌شود. حرکت خودروها در جهت محور X و جهت وزش باد در جهت محور Y می‌باشد. در این قسمت نیز جواب‌ها برای هندسه‌های گوناگون استخراج شده، خطوط جریان و ضرایب درگ به‌دست‌آمده برای هر خودرو نشان داده شده و با هم مقایسه می‌شوند. متغیرهای هندسی X و Y می‌باشند، نسبت این دو متغیر نیز به‌عنوان مبنای مقایسه برای تأثیر خودروهای کناری بر یکدیگر می‌باشد. انتظار می‌رود در اینجا نیز با تغییر هندسه تفاوت قابل توجهی در ضریب درگ خودروها و تأثیر هر خودرو بر خودروی کناری مشاهده شود.

خطوط جریان و نحوهٔ توزیع آلودگی در شکل ۵ نمایش داده شده است. باتوجه به این شکل می‌توان تفاوت چشمگیر جریان برگشتی و اندازهٔ ضرایب درگ نسبت به حالت حرکت خودرو بدون باد را مشاهده کرد.

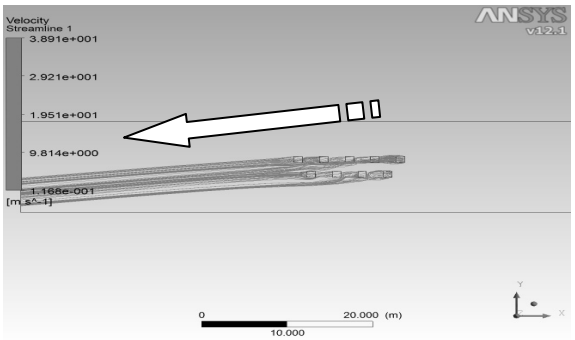


شکل ۵. خطوط جریان و نحوهٔ توزیع آلودگی در خیابان برای حالت‌های گوناگون
الف) $X/Y=2$ **، ب)** $X/Y=2.5$ **ج)** $X/Y=3$ **و د)** $X/Y=3.5$

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

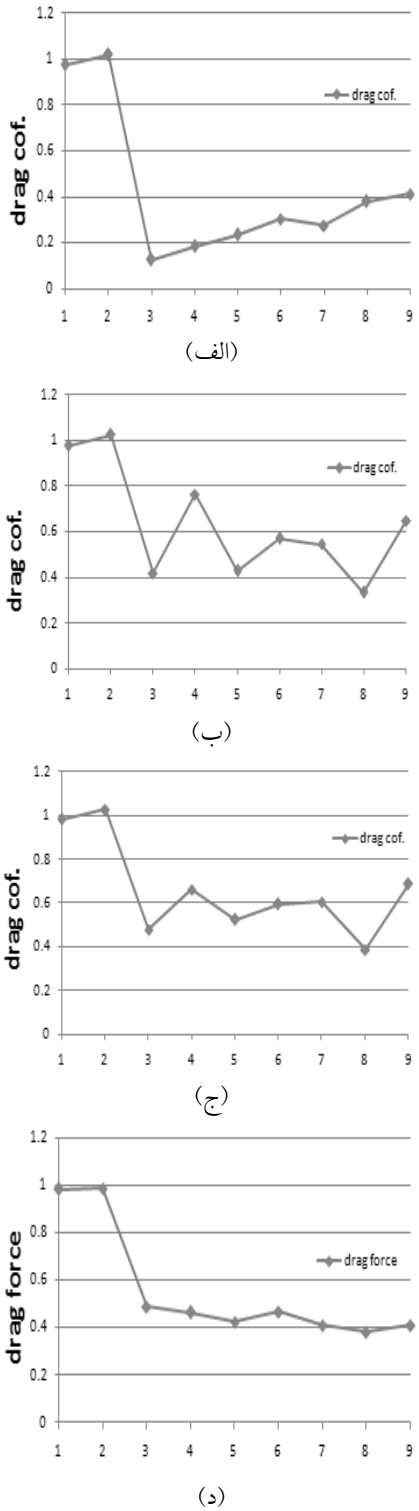
Archive of SID

به‌طوری‌که در این شکل مشاهده می‌شود وزش باد تأثیر چشمگیری در گسترش آلودگی، همچنین تأثیر متقابل خودروها دارد. از این شکل همچنان می‌توان نحوهٔ توزیع آلودگی و جهت حرکت آن را به‌سمت عابران پیاده مشاهده کرد که به‌عنوان نواحی خطر برای سلامتی محسوب می‌شوند. مدلی از نحوهٔ توزیع آلودگی در شکل ۶ نمایش داده شده است که نواحی پرخطر آلودگی را نشان می‌دهد. دینامیک سیالات محاسباتی نقشهٔ اساسی در آشکارکردن این پدیده دارد. براحتی نحوهٔ گسترش آلودگی با استفاده از تحلیل دینامیکی سیال، که در اینجا هواست و در شرایط اتمسفریک لحاظ شده است، قابل رویت می‌باشد. همچنین اختلاف قابل توجه با حالت حرکت خودرو بدون باد قابل مشاهده است.



شکل ۶. مناطق پرخطرِ آلوده

نحوهٔ توزیع ضریب درگ برای این حالت نیز در شکل ۷ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود خودروی ۲ در این حالت بیشترین ضریب درگ و در نتیجه بیشترین مصرف سوخت را دارد. همچنین خودروی شمارهٔ ۳ به‌طور متوسط در تمامی حالات دارای کمترین ضریب درگ و در نتیجه کمترین مصرف سوخت است. به‌طور کلی فاصلهٔ طولی زیاد باعث ایجاد جریان برگشتی



شکل ۷. مقایسهٔ ضریب درگ خودروها برای حالت‌های گوناگون

الف) $X/Y=2$ ، **ب)** $X/Y=2.5$

ج) $X/Y=3$ ، **د)** $X/Y=3.5$

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتری در پشت خودروها می‌گردد و با توجه به نمودارها دیده می‌شود که هرچه این نسبت فاصله افزایش می‌یابد، جریان برگشتی بیشتر و در نتیجه گردابه‌های بیشتری در پشت خودروها ایجاد می‌شود و درنتیجه مقدار ضریب درگ افزایش می‌یابد. این افزایش ضریب درگ، و درپی آن نیروی درگ، باعث افزایش مصرف سوخت خودرو می‌شود.

افزایش نیروی درگ سبب افزایش میزان آلایندگی می شود. هم چنین دیده می‌شود که هرچه خودروها در بین یکدیگر و در فاصلهٔ طولی در وسط قرار بگیرند، کمترین نیروی درگ و در نتیجه کمترین میزان مصرف سوخت را خواهند داشت. این پدیده را می‌توان به حرکت یک خودرو در پشت یک کامیون یا یک اتوبوس و هر وسیلهٔ نقلیهٔ بزرگ تشبیه کرد که هر قدر خودرو در پشت این وسیله‌ها قرار بگیرد، به‌دلیل شکست نیروی اصطکاکی و مقاوم و فشاری سیال؛ یعنی هوا، کمترین نیروی درگ بر آن وارد می‌شود و در نتیجه مصرف سوخت آن کاهش می‌یابد.

از نمودار ۸ می‌توان به اختلاف حالت حرکت خودرو بدون وزش باد و همراه با وزش باد پی برد. همان‌طور که مشخص است ضریب درگ خودروها در حالت وزش باد بالاتر از حالت بدون وزش باد است که این نشان‌دهندهٔ افزایش مصرف سوخت در خودروها می‌شود. البته این نکته را نیز باید خاطر نشان کرد که وزش باد باعث پخش آلودگی به طرف عابران پیاده و گسترش آلودگی می‌شود و برای سلامتی افراد بسیار مضر است.

در شکل ۸ نمودارهای با نقاط مربعی نشان‌دهندهٔ ضرایب درگ خودروی در حال حرکت همراه با وزش باد و نمودارهای با نقاط لوزوی نشان‌دهندهٔ ضریب درگ خودرووی در حال حرکت بدون وزش باد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف زیادی از نظر نیروی درگ بین این دو حالت وجود دارد و یکی از دلایل مهم آن آشفتگی جریان ناشی از حرکت باد می‌باشد. در تمامی موارد به‌طور متوسط در حالت متغیر هندسی $X/Y=3.5$ بیشترین ضریب درگ و در نتیجه بیشترین مصرف سوخت خودروها مشاهده شده است. همچنین هر یک از خودروها در حالت هندسه $X/Y=3.5$ در هنگام وزش باد دارای بیشترین ضریب درگ و بیشترین مصرف سوخت می‌باشند.

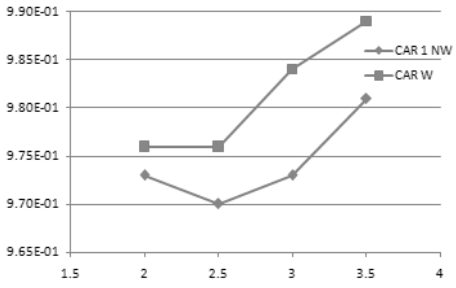
نتایج نهایی

در این مقاله مدل جریان در روی خودروها در خیابان‌های شهری، در دو حالت همراه با وزش باد و بدون وزش باد، با استفاده از دینامیک محاسباتی سیالات انجام شد. مدل توربولانس استاندارد محاسبه براساس SST بود. به‌طور کلی نتایج نهایی بدین‌صورت می‌باشد:

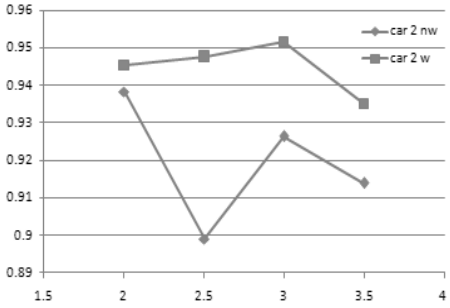
- از نتایج به‌دست آمده مشخص شد که هر خودرو بر خودروی کناری خود تأثیر متقابل دارد.
- در تمامی حالات خودروی ۲ دارای بیشترین مصرف سوخت می‌باشد و در تمامی موارد به‌طور متوسط در حالت متغیر هندسی $X/Y=3.5$ بیشترین ضریب درگ و در نتیجه بیشترین مصرف سوخت خودروها مشاهده شده است.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

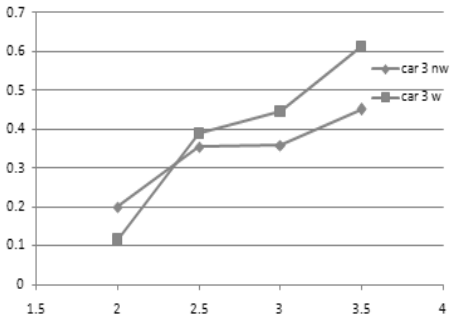
Archive of SID



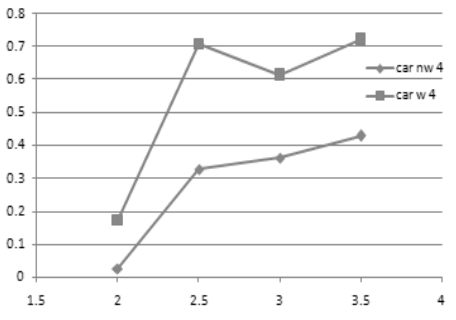
(الف)



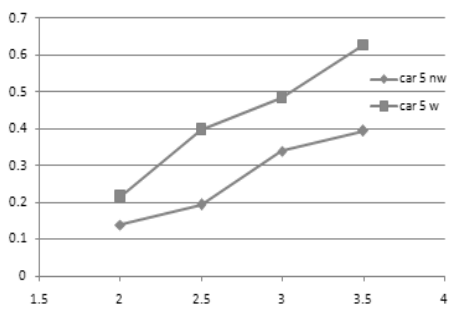
(ب)



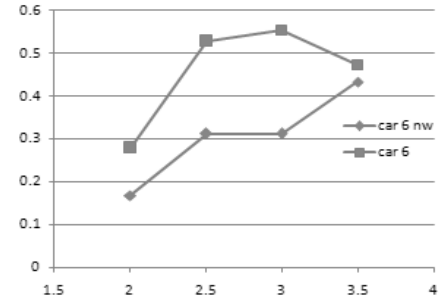
(ج)



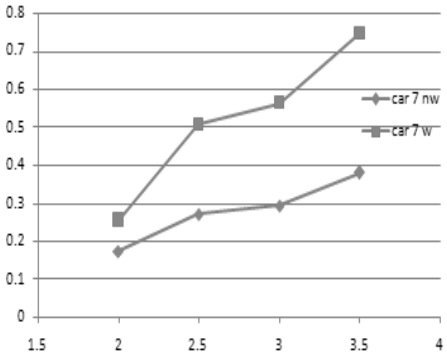
(د)



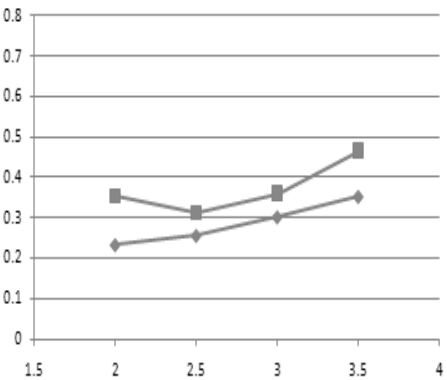
(هـ)



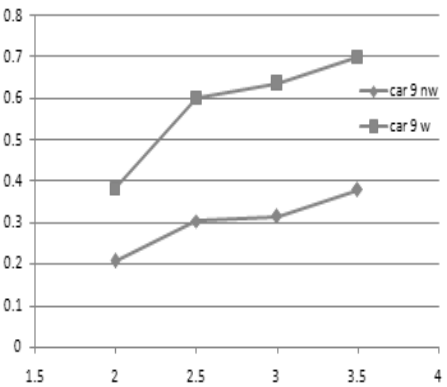
(و)



(ز)



(ح)



(ت)

شکل ۸. بررسی مقایسهٔ ضرایب درگ هر خودرو در حالت‌های گوناگون با باد و بدون باد از نظر هندسه

www.SID.ir

Archive of SID

- نتایج نشان می‌دهد که دو خودروی اول ۵ برابر بیشتر از خودروهای عقب سوخت مصرف می‌کنند و در عوض خودروهای عقب‌تر دارای نیروی درگ کمتر و مصرف سوخت کمتر می‌باشند.
- نتایج نشان می‌دهد که هر چه نسبت X/Y بیشتر می‌شود ضریب درگ و در نتیجه نیروی درگ بیشتر می‌گردد.
- از مقایسه حالت‌ها برای وضعیت بدون باد و باد مشخص می‌گردد که ضریب درگ در حالت باد تقریباً دو برابر حالت بدون باد است و در نتیجه مصرف سوخت خودروها در این حالت بیشتر می‌گردد و این به‌دلیل آشفتگی جریان حاصل از جریان باد و حرکت خودروهاست.
- اگر خودروها در موقعیتی قرار بگیرند که در وسط باشند، کمترین مصرف سوخت و کمترین فشار به موتور خودرو وارد خواهد شد.
- در تمامی موارد، در حالتی که نسبت *X/Y=2* می‌باشد ضرایب درگ خودرو کمترین است و برای حالتی که *X/Y=3.5* می‌باشد، خودروها دارای بیشترین ضریب درگ هستند.
- از لحاظ آلایندگی با توجه به خطوط جریان مشخص می‌گردد که نواحی نشان داده شده در هر دو حالت با باد و بدون باد دارای بیشترین آلایندگی‌اند و از لحاظ سلامتی برای شهروندان مضر. این مناطق، مناطق خطرناکند به‌خصوص در حالت وزش باد که باعث می‌شود کل آلودگی در پشت خودروها به‌سمت عابران پیاده برود.

مراجع

[1] Sotiris Vardoulakis, Bernard E. A. Fisher, Norbert Gonzalez-Flesca, Koulis Pericleous; "Model sensitivity and uncertainty analysis using roadside air quality measurements"; Atmospheric Environment 36 (2002), pp. 2121–2134.

[2] Efisio Solazzo, Sotiris Vardoulakis, Xiaoming Cai; "Evaluation of traffic-producing turbulence schemes within Operational Street Pollution Models using roadside measurements"; Atmospheric Environment 41 (2007), pp. 5357–5370.

[3] Prashant Kumar, Paul Fennell, Rex Britter; "Effect of wind direction and speed on the dispersion of nucleation and accumulation mode particles in an urban street canyon"; Science of the total Environment 402(2008), pp. 82 – 94.

[4] Efisio Solazzo, Xiaoming Cai, Sotiris Vardoulakis; "Improved parameterisation for the numerical modelling of air pollution within an urban street canyon"; Environmental Modelling & Software 24 (2009), pp. 381–388.

[5] Sotiris Vardoulakis, Bernard E.A. Fisher, Koulis Pericleous, Norbert Gonzalez-Flesca; "Modeling air quality in street canyons: a review"; Atmospheric Environment 37 (2003), pp. 155–182.

[6] Prashant Kumar, Andrew Garmory, Matthias Ketzel, Ruwim Berkowicz, Rex Britter; "Comparative study of measured and modeled number concentrations of nanoparticles in an urban street canyon"; Atmospheric Environment 43 (2009), pp. 949–958.

[7] Marta J.N. Oliveira Pana˜o, Helder J.P. Goncalves, Paulo M.C. Ferra˜o; "Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate"; Building and Environment 44 (2009), pp. 177–187.

[8] Solazzo, E., Vardoulakis, S., Cai, X., "Evaluation of traffic producing turbulence schemes within operational dispersion model using roadside measurements"; Atmospheric Environment 41(2007), pp. 5357–5370.

[9] Solazzo, E., Vardoulakis, S., Cai, X., "Modeling wind flow and vehicle-induced turbulence in urban streets"; Atmospheric Environment 41 (2008), pp. 5357–5370.

[10] Hider, Z., Hibberd, S., Baker, C., "Modeling particulate dispersion in the wake of a vehicle"; *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 67–68,(1997), pp. 733–744.

www.SID.ir