

بررسی عملکرد فن‌ها در تهویه آلاینده‌های تونل رسالت

خسرو اشرفی¹، مجید شفیعی‌پور مطلق²، مصطفی کلهر³، وحید
اصفهانیان⁴

- 1- استادیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- 2- استادیار، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران
- 3- دانشجوی کارشناسی‌ارشد عمران محیط زیست، دانشگاه تهران
- 4- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران

چکیده:

شبیه‌سازی جریان سیال درون تونل روشی مناسب برای مطالعه و بررسی پراکنش آلاینده‌ها و ارزیابی راندمان تهویه تونل می‌باشد. در این مقاله از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی فلونت برای شبیه‌سازی تمام مقیاس تونل رسالت تهران و حل دقیق معادلات جرم و تکانه و بخش آلاینده‌ها استفاده شده است. میزان غلظت مونوکسیدکربن حاصل از شبیه‌سازی در نقاط مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده در تونل، برای چند سناریوی متفاوت، مقایسه شده است. نتایج حاصله نشان دهنده آن است که چیدمان فن‌ها در تونل بصورت بهینه صورت نگرفته است.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی عددی، تهویه، تونل، آلاینده.

1- مقدمه

استفاده از نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای مدل‌سازی پدیده‌های فیزیکی از کارآمدترین شیوه‌های پیش‌بینی و مطالعه انواع پدیده‌های فیزیکی پیرامون است. امکان حل سه‌بعدی و تمام مقیاس جریان سیال، این نرم‌افزارها را به‌عنوان ابزارهای قابل اعتماد برای بررسی و مطالعه جریان انواع سیالات تبدیل کرده است. استفاده از این نرم‌افزارها در مطالعات محیط‌زیستی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است [1 و 2].
پیش‌بینی و مطالعه پراکنش آلاینده‌ها در محیط‌های باز مانند جو و سایر محیط‌های بسته و نیمه باز به موضوعی قابل تامل در حیطه استفاده از نرم‌افزارهای CFD تبدیل شده است. وگا و همکاران در پژوهشی به شبیه‌سازی

¹ دکتراي مهندسي مکانیک، 02161113151، khashrafi@ut.ac.ir
² دکتراي مهندسي مکانیک، 02161113151، shafiepourm@yahoo.com
³ کارشناس مهندسي عمران، 09126826597، mostafa.kalhor@hotmail.com
⁴ دکتراي مهندسي مکانیک، 02188020741، evahid@ut.ac.ir

سه‌بعدی سیستم تهویه طولی تونل مموریال¹ پرداخته‌اند. در این تحقیق رفتار دود تولیدی در هنگام آتش‌سوزی توسط نرم افزار فلوئنت در حالت سه‌بعدی و غیر دائم شبیه‌سازی شده و با داده‌های تجربی موجود مقایسه شده است که حاکی از همبستگی خوب بین نتایج حاصله می‌باشد [3].

اغلب مطالعات صورت گرفته متمرکز بر پراکنش دود و حرارت به هنگام آتش‌سوزی بوده است. در شرایط آتش‌سوزی خودروها متوقف شده و لذا اثر تلاطم القایی بواسطه حرکت پیستونی خودروها و همچنین میزان آلاینده‌های خروجی از آنها در نظر گرفته نمی‌شود. در این مقاله به شبیه‌سازی تمام مقیاس پراکنش آلاینده‌ها در تونل رسالت پرداخته شده است. خودروها با توجه به مطالعات آماری صورت گرفته درون تونل توزیع شده و بصورت متحرک شبیه‌سازی شده‌اند. میزان آلاینده‌های خروجی از آنها نیز بصورت منبع سطحی در کف تونل در نظر گرفته شده است.

2- معادلات حاکم

در هر مقطع از تونل با در نظر گرفتن جریان یک‌طرفه با تهویه طولی و شرایط حالت دائم سه‌بعدی، تراکم‌ناپذیر، و متلاطم، معادلات پایستگی جرم، پخش ذرات، و تکانه به صورت زیر خواهند بود:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_n) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} Y_n) = -\nabla J_n + R_n + S_n \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial(-\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} \quad (3)$$

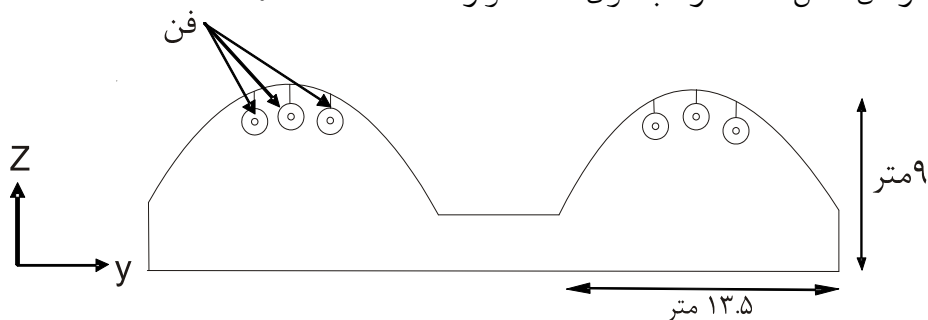
در معادلات بالا U_i مولفه سرعت در جهت $i=1,2,3$ ، Y_n کسر جرمی آلاینده n ام، ρ چگالی هوا، \mathbf{V} بردار سرعت، J_n شار جزء n ام، R_n نرخ واکنش‌های شیمیایی، S_n نرخ خالص تولید یا از بین رفتن آلاینده n ام، v لزجت سینماتیکی و u'_i مولفه تلاطمی سرعت در جهت i می‌باشند. از نرم‌افزار فلوئنت برای حل دقیق معادلات بالا استفاده شده است. برای شبیه‌سازی تلاطم از مدل $k-\epsilon$ به صورت استاندارد استفاده شده است و برای در نظر گرفتن تلاطم ثانویه القایی خودروها، اقدام به شبیه‌سازی تمام مقیاس خودروها درون تونل شده است.

3- هندسه تونل

تونل رسالت با طول $l=890$ متر و شیب طولی متوسط 2,5 درصد دارای مقطعی به شکل 1 می‌باشد. تونل دارای 24 عدد

¹-Memorial tunnel

جت فن بوده که در هشت مقطع به فواصل 110 متری از یکدیگر در طول تونل کار گذاشته شده اند. همانطور که در شکل 1 نمایان است در هر مقطع سه فن به صورت محوری قرار گرفته اند. تهویه تونل به صورت طولی توسط فن‌ها و همچنین تأثیر پیستونی حرکت خودروها صورت می‌گیرد. مشخصات عملکردی فن‌ها در جدول 1 آورده شده است.



شکل 1: مقطعی از تونل رسالت

جدول 1: مشخصات فن‌های به کار رفته در تونل رسالت [6]

قدرت شفت kW	نیروی اسمی N	سرعت خروجی m/s	دبی m ³ /s
28,4	1130	29,5	33,3

هندسره مدل توسط نرم افزار گمبیت شبکه بندی شده است. در ایجاد هندسه مدل فن‌ها به صورت یک حجم معین در فضا و خودروها نیز به صورت دیواره های متحرک دارای تخلخل تعریف شبیه سازی شده اند. از آنجا که نسبت حجم فن به حجم تونل برابر با 0,00001 می باشد لذا برای پوشش دادن تمام جزئیات درون تونل از سلول های چهار وجهی استفاده شده است.

شبکه بندی تونل با فواصل 2 متری شروع شده و تا ریزتر شدن فاصله بین نقاط ادامه یافته و در نهایت در گام 1 متری اختلاف بین دو جواب حاصله به اندازه قابل قبول 0,001 رسید و لذا مدل توسط مجموعه نقاط با گام های 1 متری شبکه بندی شد که در مجموع 526,458 سلول چهار وجهی را شامل می شود.

4- شبیه سازی خودرو

حرکت خودروها به وسیله ایجاد تلاطم اضافی و به دام انداختن جرمی از هوا در جهت حرکت خود، باعث تشدید تلاطم های کوچک و بزرگ مقیاس جریان هوا درون تونل می شود [5].

مطالعات صورت گرفته توسط سدیفیان و همکاران نشان می دهد که تلاطم ثانویه ایجاد شده توسط حرکت خودروها

تاثیر خود را عمدتاً بر جریان هوای پشت سر خودرو می‌گذارد.

برای شبیه‌سازی خودروهای درون تونل ابتدا یک خودروی نمونه طوری تعریف شده است که این خودرو معرف تمامی خودروهای عبوری از تونل از نظر ابعاد، سرعت، میزان آلاینده‌گی باشد (جدول 2).

جدول 2: مشخصات خودروی نمونه تعریف شده در تونل

ضریب همسنگ سواری	سن	میزان انتشار پایه	سرعت	ابعاد
1	7,6	Euro II	81 km/h	2×4×1,5

با توجه به آمار خودروهای عبوری از تونل (جدول 3) در هر لحظه به تعداد 90 خودرو درون تونل وجود خواهد داشت.

جدول 3: آمار عبور خودروهای عبوری از تونل رسالت [6]

سرعت متوسط km/h	0-30 km/h	30-50 km/h	50-200 km/h	متوسط تعداد خودرو
81	6125	4665	44821	90

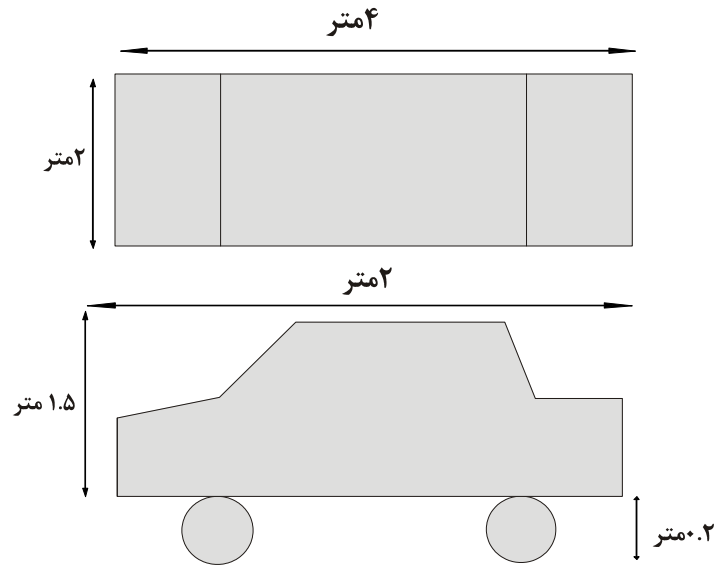
با توجه به اینکه 95% خودروهای درون تونل دارای سرعت 80 کیلومتر بر ساعت و طول متوسط 4 متر بوده‌اند، لذا خودروی نمونه با همین مشخصات تعریف شده است (شکل 2). برای معادل‌سازی میزان آلاینده‌های تولیدی از ضریب همسنگ سواری (جدول 4) استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی تاثیر حرکت خودرو بر جریان هوای درون تونل از شرایط مرزی دیواره متحرک و پوروس جامپ استفاده شده است. برای این منظور میزان سطح تماس مفید یک خودرو نمونه داخل تونل محاسبه شده و توسط یک دیواره متحرک متخلخل در ارتفاع 0,2 متری از سطح زمین شبیه‌سازی شده است (شکل 3).

جدول 4: ضرایب همسنگ سواری برای خودروهای موجود در شهر

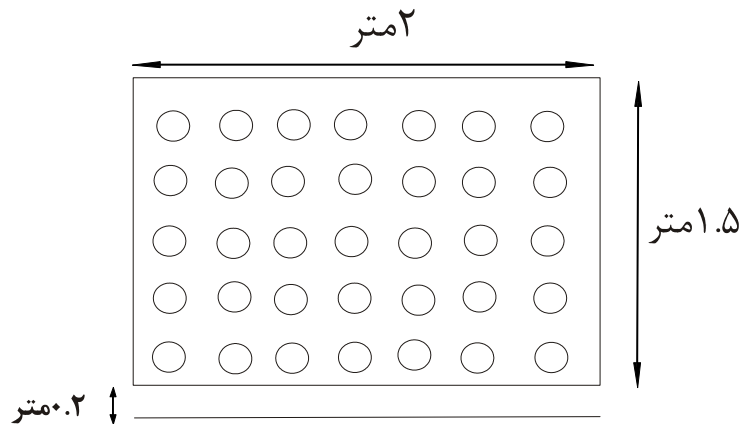
تهران [7]

سواری	تاکسی	می‌بوس	اتوبوس	اتوبوس واحد	موتور و دوچرخه	وسایل سنگین
1,57	2,17	2,5	2,5	5	0,5	2,5



شکل 2: نمایی از خودروی نمونه تعریف شده برای شبیه‌سازی

برای محاسبه پارامترهای مربوط به تعریف دیواره متخلخل از ابعاد مربوط به منافذ و مجاری عبور هوا در هنگام برخورد با خودرو که عمدتاً ناشی از قسمت کاپوت و جلوی رادیاتور است استفاده شده است. ضریب نفوذ به دست آمده به‌طور یکنواخت به دیواره متحرک تعمیم داده شده است.



شکل 3: شبیه‌سازی خودرو توسط دیواره متحرک و متخلخل

2.4- توزیع خودروها درون تونل

با توجه به اینکه 95% از خوردوهای عبوری از تونل دارای سرعت 81 km/h در ساعت می‌باشند که این خودروها مطابق شکل 4 در خطوط اول و دوم توزیع شده‌اند:

$$90 \times 95\% = 86 \text{ Cars}$$

$$86 \div 2 = 43 \text{ Cars per lane I And II}$$

$$90 - 86 = 4 \text{ Cars in lane III}$$

از طرفی با توجه به آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی ایران میزان فاصله ایمنی مجاز با خودروی در حال حرکت

در جلو برای سرعت‌های بیش از 80 km/h به میزان پنج برابر طول خودروی (L) مورد نظر است، لذا:

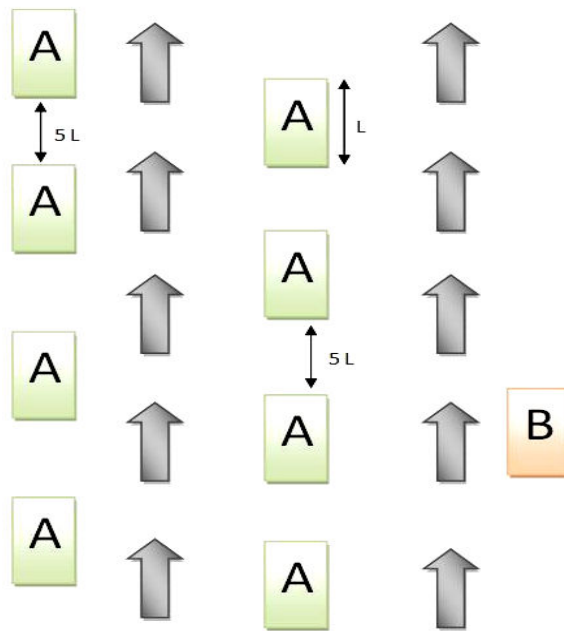
$$\text{فاصله ایمنی} = 5 \times 4 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

$$\text{طول تونل} < 43 \times 20 \text{ m} = 860 \text{ m}$$

بنابراین خودروهای موجود در خط سوم تونل چهار عدد خودرو خواهند بود که در طول تونل به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند.

5- شبیه‌سازی منابع آلاینده و محاسبه دبی جرمی آن

خودروهای عبوری از تونل علاوه بر ایجاد تلاطم ثانویه به عنوان منبع جرم نیز عمل می‌کنند و طی عبور از تونل مقادیری از انواع گازها با دبی جرمی مشخصی به جریان هوا تزریق می‌کنند که باید در محاسبه و مطالعه پراکنش جریان هوا در تونل وارد معادلات شود.



شکل 4: نحوه توزیع خودروها درون تونل رسالت

منابع آلاینده درون تونل در واقع همان آگزوز خودروها می‌باشد. با توجه به سرعت خودروها و وجود جریان هوا درون تونل می‌توان این منابع را به صورت یکپارچه و به عنوان یک منبع سطحی در کف تونل در نظر گرفت. ضریب انتشار آلاینده‌ها برای خودروها محاسبه و به صورت منبع سطحی در کف تونل در نظر گرفته شده است.

برای این منظور متوسط سن خودروهای درون شهر تهران محاسبه شده¹ و بر اساس سیکل ECE برای شهر تهران، به ازای هر سال ضریبی برای افزایش میزان انتشار مطابق فرمول تجربی زیر در نظر گرفته شده است [9]:

$$Y = ax + b \quad (9)$$

که در آن a ضریب تخریب mg/km.yr ، b میزان انتشار پایه بر حسب mg/km ، و x سن خودرو بر حسب سال می‌باشد. میزان ضریب a و b برای آلاینده‌ها و خودروهای مختلف متفاوت است. با برقراری تعادل جرمی بین بنزین سوخته شده و گازهای تولیدی خواهیم داشت:

$$9.4 \text{ lit}/100\text{km} \times 80 \text{ km}/\text{h} \times 1/3600 \text{ h}/\text{s} = 0.0021 \text{ lit}/\text{s}$$

$$0.0021 \text{ lit}/\text{s} \times 0.71 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1.491 \text{ g}/\text{s}$$

در نهایت کسر جرمی محصولات به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{H}_2\text{O} : 0.09072$$

$$\text{CO}_2 : 0.18127$$

$$\text{CO} : 0.00029$$

$$\text{N}_2 : 0.7263$$

دبی جرمی کل گازهای خروجی از آگزوز خودرو نمونه برابر با $23,924 \text{ g}/\text{s}$ خواهد بود. با تقسیم مقدار به دست آمده بر مساحت کف تونل و با احتساب 90 خودروی درون تونل میزان دبی جرمی گاز منتشره از کف تونل برابر با $0,00016 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{s}$ خواهد بود. این مقدار دبی جرمی به صورت شرایط مرزی ورودی جرم در کف تونل در مدل وارد شده است.

6- شبیه‌سازی فن

در تونل رسالت در هشت مقطع از فن‌های محوری یکسان استفاده شده است که در هر مقطع سه فن به کار رفته است. برای شبیه‌سازی تاثیر فن‌ها بر جریان به دو روش می‌توان عمل نمود. در روش اول می‌توان با برقراری اختلاف فشار بین مقطع ورودی و خروجی فن این شبیه‌سازی را انجام داد. در روش دوم حجم موثر فن‌ها محاسبه شده و به این حجم تعریف شده با توجه به راندمان و توان فن‌ها منبع تکانه اختصاص می‌یابد [3].

با توجه به نقش فن‌ها در تونل که تنها وظیفه آنها رقیق‌سازی آلاینده‌ها و هدایت آنها به سمت خروجی تونل بوده و با توجه به اینکه این فن‌ها از نوع فن‌های محوری هستند لذا از روش منبع تکانه برای شبیه‌سازی آن استفاده شده است [3].

¹ در محاسبه متوسط سن خودروهای آمار خودروهای تولیدی از سال ۱۳۵۶ به بعد در نظر گرفته شده است. متوسط سن خودروها برابر ۷٫۶ سال می‌باشد.

برای این منظور در ابتدا حجم مفید و میزان نیروی خروجی هر فن با توجه به شیب افقی تونل محاسبه شده و نسبت آن بصورت [مترمکعب/نیوتن] در مدل وارد شده است.

$$\text{حجم فن} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L = \frac{\pi}{4} \times 1200^2 \times 3450 = 3/90 \text{ m}^3$$

$$\text{تکانه فن} = \frac{(N \times \text{eff})}{V} = \frac{1130 \times 0.9466}{3/90} = 274/27 \frac{N}{\text{m}^3}$$

M_y	M_x	تکانه فن‌ها
213,13	-168	فن‌های شماره 1 تا 6
244,10	-118	فن‌های شماره 7 تا 12
268,8	-43,88	فن‌های شماره 13 تا 24

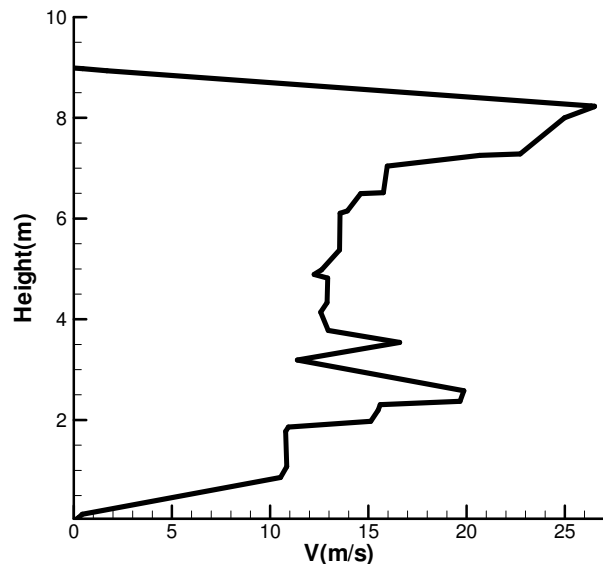
M_y و M_x به ترتیب تکانه در جهت x و y می‌باشند. عملکرد فن‌ها در تونل رسالت بگونه‌ی است که با توجه به غلظت مونوکسیدکربن موجود در تونل راندمان فن‌ها تغییر می‌کند. برای در نظر گرفتن این پارامتر از امکانات توابع udf در نرم افزار استفاده شده و برنامه‌ی بدین منظور نوشته شده که توان خروجی از فن‌ها را با میزان غلظت مونوکسید کربن مرتبط می‌کند. عملکرد این تابع به گونه‌ی است که برای غلظت‌های مونوکسید کربن زیر 35ppm فن‌ها خاموش شده و برای مقادیر غلظت بیش از این مقدار فن‌ها با حداکثر توان شروع به کار می‌کنند.

7- نتایج

با توجه به پیچیدگی جریان و تغییر دائمی نیمرخ سرعت درون تونل، به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصله از شبیه‌سازی از میزان غلظت مونوکسیدکربن به‌عنوان ماده مشخصه و معیاری برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی صورت گرفته استفاده شده است.

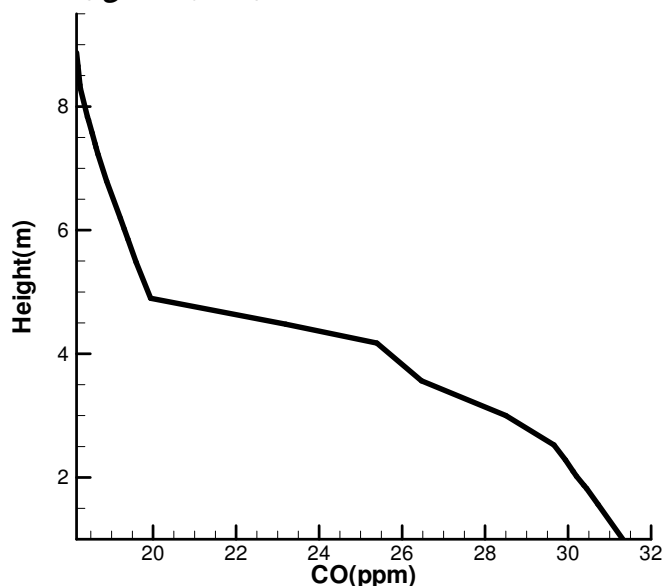
غلظت مونوکسیدکربن در تونل توسط حسگرهای موجود در تونل به صورت یک ساعته گزارش می‌شود. میزان متوسط غلظت مونوکسیدکربن برای 9 ماهه اول سال میانگین‌گیری شده و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در همان نقاط مقایسه شده است. نیمرخ‌های سرعت، غلظت و انرژی جنبشی تلاطم برای مقطع A در فاصله 250 متری از ابتدای تونل در شکل‌های 5، 6 و 7 نشان داده شده است.

همانطور که در شکل 5 نمایان است حرکت پیستونی خودروها به شدت نیمرخ سرعت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین مطابق شکل میزان افزایش سرعت قابل توجهی در ارتفاع نزدیک به سقف تونل ایجاد شده است که بعلت عملکرد فن‌ها می‌باشد.



شکل 5: نیمرخ تغییرات سرعت در مقطع A در تونل رسالت

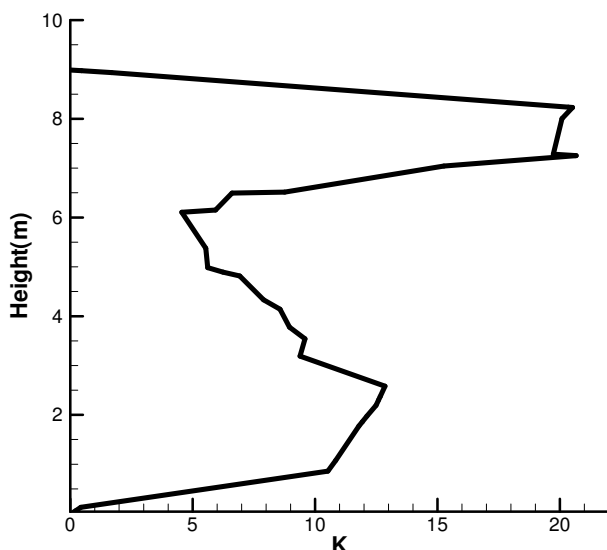
نیمرخ تغییرات غلظت مونوکسید کربن برای مقطع A در شکل 6 نشان داده شده است. با توجه به اینکه منبع سطحی آلودگی در کف تونل است لذا مقادیر حداکثر غلظت در کف تونل بوده و با بالاتر رفتن از کف تونل میزان غلظت کاهش می‌یابد. کاهش غلظت در ارتفاع بواسطه تلاطم القایی خودروها و عملکرد فن‌ها می‌باشد. و در نزدیکی فن‌ها مقدار غلظت به حداقل مقدار خود می‌رسد.



شکل 6: نیمرخ تغییرات غلظت مونوکسید کربن در مقطع A از تونل رسالت

با توجه به تاثیر حرکت خودروها بر جریان تونل انتظار می‌رود که در نزدیکی کف تونل میزان انرژی

جنبشی تلاطم بیشترین مقدار را داشته باشد. مطابق شکل 7 میزان انرژی جنبشی تلاطم در ارتفاع تونل به حداقل میزان خود می‌رسد.



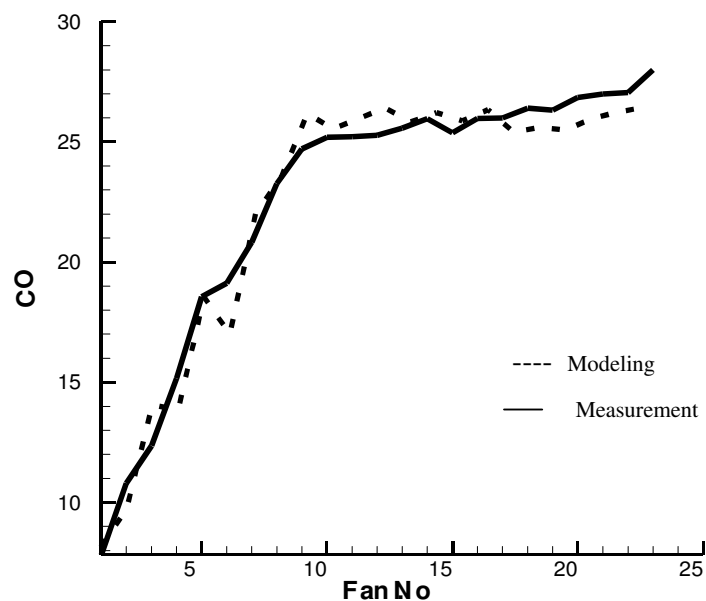
شکل 7: نیمرخ تغییرات انرژی جنبشی تلاطم در مقطع A از تونل رسالت

8- صحت‌سنجی شبیه‌سازی

همان‌طور که اشاره شده میزان غلظت مونوکسیدکربن اندازه‌گیری شده در تونل با میزان غلظت به‌دست آمده از نتایج شبیه‌سازی به‌منظور صحت‌سنجی استفاده شده است. نیمرخ تغییرات غلظت مونوکسید کربن در طول تونل در محل فن‌ها که حاصل از مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج شبیه‌سازی می‌باشد در شکل 8 نشان داده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بصورت خطچین نشان داده شده است. با توجه به اینکه در تونل رسالت آلاینده‌ها به‌صورت طولی و تنها از خروجی تونل خارج می‌شوند و در طول تونل مجاری یا دودکشی برای خروج آلاینده‌ها وجود ندارد لذا همان‌طور که انتظار می‌رود غلظت در طول تونل رفته رفته افزایش می‌یابد و حداکثر غلظت در خروجی تونل اتفاق می‌افتد.

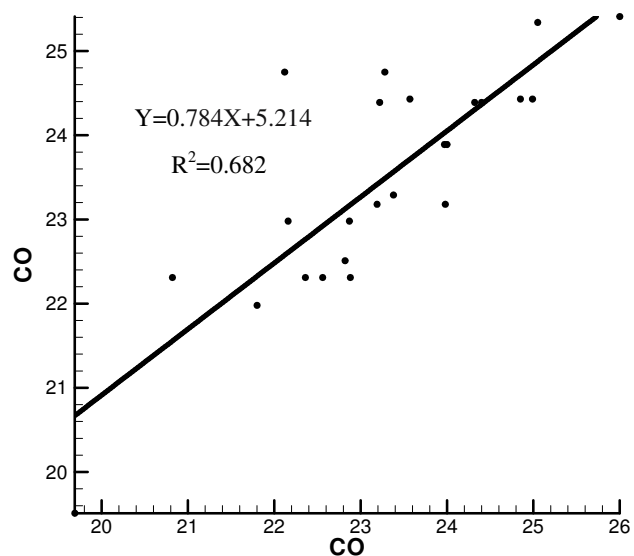
انطباق خوب نمودارها در قسمت‌های انتهایی تونل را می‌توان به افزایش غلظت در نزدیکی خروجی و بنابراین عملکرد دائمی و بدون نوسان فن‌ها با حداکثر توان خود در این نواحی، به‌علت توابع udf به‌کار رفته، نسبت داد. به‌عبارت دیگر در سایر نواحی تونل به‌علت عملیات متوسط‌گیری انجام گرفته روی داده‌ها به‌منظور شبیه‌سازی تونل، خطای ایجاد شده در تعیین غلظت مونوکسیدکربن و به تبع آن تنظیم توان خروجی فن‌ها افزایش می‌یابد که این امر منجر به افزایش اختلاف بین داده‌های حاصل از

شبیه‌سازی و مقادیر اندازه‌گیری شده در نواحی غیر از نواحی انتهایی تونل می‌شود.



شکل 8: نیمرخ تغییرات غلظت مونوکسید کربن در طول تونل رسالت

میزان همبستگی بین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و غلظت‌های اندازه‌گیری شده در نمودار شکل 9 نشان داده شده است. نتایج حاکی از همبستگی با ضریب 0,682 بین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته است.

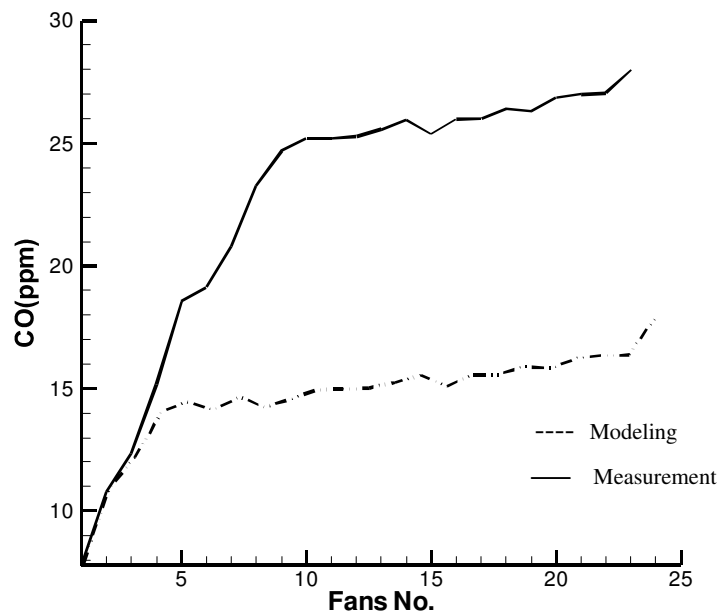


شکل 2: همبستگی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته

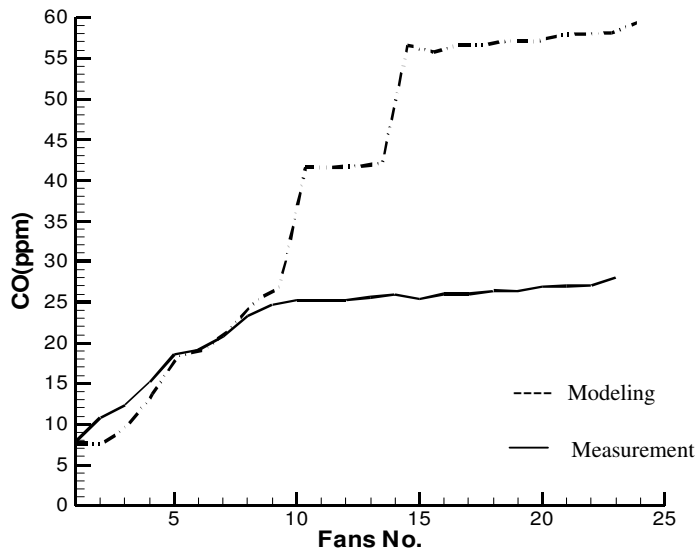
9- سناریوهای مختلف عملیاتی

برای بررسی عملکرد و کارآیی فن‌ها در شرایط مختلف عملیاتی، سناریوهای مختلفی تعریف شده و مدل برای این سناریوها اجرا شده است. سناریوهای تعریف شده به شرح زیر است:

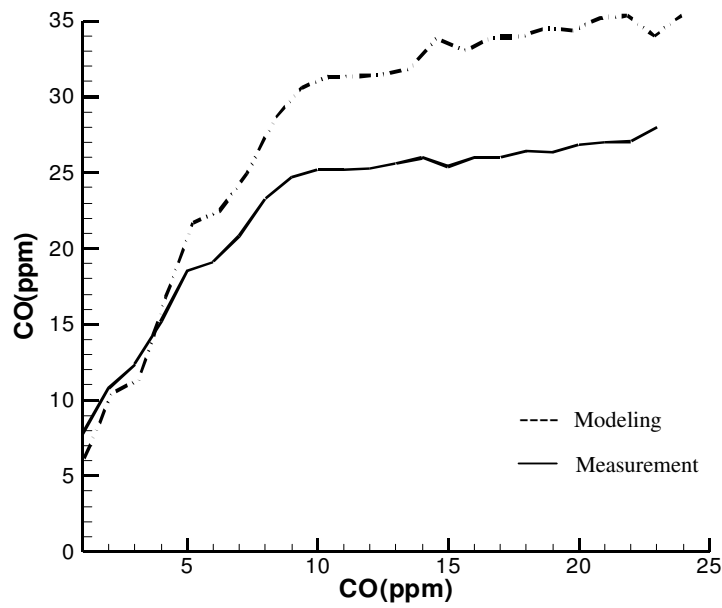
- 1- توان فن‌ها دو برابر حالت کنونی باشد.
 - 2- فن‌ها از کار بیافتند.
 - 3- خودروها به دلیل تصادف یا شرایط دیگر متوقف شده باشند.
 - 4- خودروها استاندارد آلاینده‌گی Euro IV را داشته باشند.
- برای هر یک از شرایط فوق مدل اجرا شده است و نتایج با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مقایسه شده است. نتایج برای این شرایط در شکل‌های 10 تا 13 نشان داده شده است.



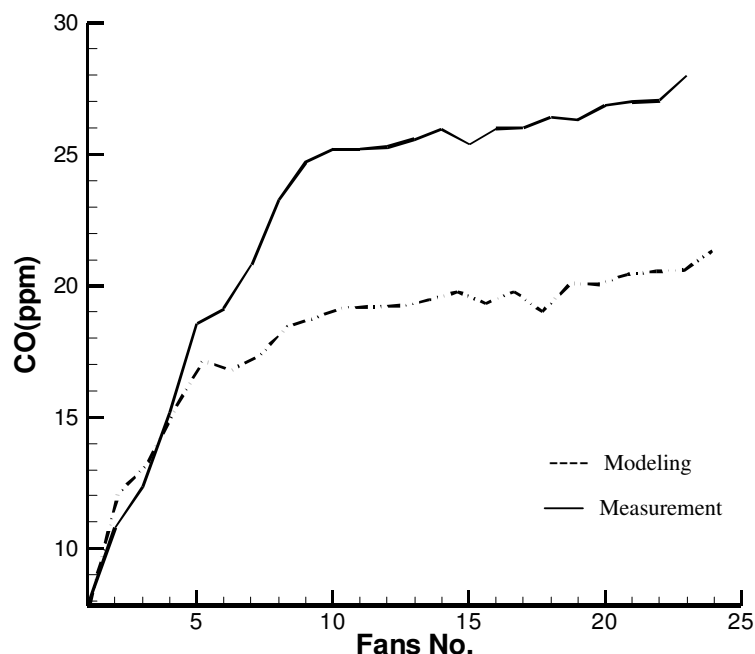
شکل 10: مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مدلسازی در شرایطی که توان فن‌ها دو برابر شده باشد



شکل 11: مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مدلسازی در شرایطی که فن‌ها از کار افتاده باشند



شکل 12: مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مدلسازی در شرایطی که خودروها متوقف شده باشند



شکل 13: مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مدلسازی در شرایطی که خودروها استاندارد Euro-IV را داشته باشند

10- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصله نشان‌دهنده همبستگی قابل قبول بین داده‌های واقعی و نتایج شبیه‌سازی است. با توجه به اینکه سرعت و حجم ترافیک عبوری از تونل دائماً در حال تغییر است، لذا نحوه متوسط‌گیری از داده‌ها و آمارهای موجود تاثیر بسیار زیادی در نتایج شبیه‌سازی خواهد داشت. برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر می‌توان متوسط‌گیری از آمارهای موجود را در بازه‌های کوچکتر چند روزه یا حتی چند ساعته انجام داد و مدل را برای هر یک از این بازه‌ها جداگانه اجرا کرد.

مطابق نتایج حاصله میزان غلظت در انتهای تونل همواره حداکثر است، هر چند این مقادیر مگر در برخی از سناریوهای بیان شده از میزان استاندارد تجاوز نمی‌کند، ولی به‌علت اینکه تنها خروجی برای تهویه آلاینده‌ها مقطع خروجی تونل است و هیچ سازه خروجی دیگری در تونل وجود ندارد لذا فن‌های موجود در قسمت انتهایی تونل، به‌عبارت دیگر فن‌های 19، 20، 21، 22، 23، 24 همواره با حداکثر توان خود در حال عمل هستند و پیش‌بینی می‌شود با افزایش حجم ترافیک راندمان فن‌ها برای کاهش غلظت آلاینده‌ها کافی نخواهد بود و متعاقباً هزینه تعمیر و نگهداری آنها نسبت به سایر فن‌های موجود در تونل بسیار بیشتر خواهد بود.

به همین منوال فن‌های موجود در نزدیکی ورودی تونل نیز به علت غلظت بسیار پایین آلاینده‌ها در اکثر موارد خاموش بوده و فشاری را متحمل نمی‌شوند و عملاً خارج از

مدار هستند. به نظر می‌رسد چیدمان یکنواخت کنونی فن‌ها بصورت 3 فن در هشت مقطع تونل راندمان مناسب و بهینه‌ای ندارد.

11- قدردانی

نویسندگان این مقاله از مسئولین شرکت کنترل ترافیک تهران به جهت حمایت‌هایشان نهایت تشکر و قدردانی را ابراز می‌کنند.

12- مراجع

- 1- Kagawa, J. (1984)., "Health effects of air pollutants and their management," Atmospheric Environment, 18, 613-620.
- 2- Bellasio, R. (1997)., "Modelling traffic air pollution in road tunnels," Atmospheric Environment, 31, 1539-1551.
- 3- Vega, M. G. Diaz, K. M. A., Oro, J. M. F.(2008)., "Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system:Memorial Tunnel case, " Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 539-551.
- 4- Migoya, E., Crespo, A., Garcia, J., And Hernandez, J.(2009)., "A simplified model of fires in road tunnels. Comparison with three-dimensional models and full-scale measurements" Tunnelling and Underground Space Technology, 24, 37-52.
- 5- Sedefian, L.; Rao, S. T.; Czapski, U. (1981) Effects of traffic-generated turbulence on near-field dispersion. Atmos. Environ., vol. 15, pp. 527-535.
- 6- داده‌های سازمان کنترل ترافیک تهران، مرکز کنترل تونل رسالت، زمستان 1386
- 7- داده‌های سازمان کنترل ترافیک تهران، پاییز 1385
- 8- Chen, K. S., Chung, C. Y., and Wang, S. W. (2002)., "Measurements and three-dimensional modeling of airflow and pollutant dispersion in an undersea traffic tunnel," Journal of the Air and Waste Management Association, 52, 349-363.
- 9- یدقار، امیر محمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران 1385.