

مدل سازی آتش سوزی در تونل ها

فریبا شمسی زاده^۱، امید ابوعلی^۲

دانشگاه شیراز، بخش مهندسی مکانیک
f_shamsizadeh@yahoo.com

چکیده:

در این پروژه علاقمند به شبیه سازی چگونگی گسترش دود و آتش در فضای بسته ی یک تونل مترو هستیم ، که توجه ما بیشتر به توزیع دما، سرعت و نحوه ی گسترش دود و گازهای گرم می باشد. پروژه در دو مرحله ی validation و مدل سازی تونلی با هندسه ی تونل مترو شیراز انجام پذیرفته است. هر مرحله شامل دو مدل سازی آتش سوزی همراه با تهویه و بدون تهویه می باشد. در مرحله ی اول نتایج حاصل از حل عددی با نتایج حاصل از تست آزمایشگاهی بر روی مدلی از یک تونل مقایسه شده است و در نهایت نمودارهای توزیع دما و سرعت برای حالت بدون تهویه ترسیم گردیده اند. در حالتی که تهویه نیز موجود است فاصله ی لایه ی برگشتی (Back layering) اندازه گیری شده است. در مرحله ی دوم تونلی با هندسه ای مشابه تونل مترو شیراز مدل سازی شده است. در این مرحله جهت انجام حل عددی از آنالیز ابعادی استفاده شده است. در هر دو حالت بدون تهویه و همراه با تهویه نمودارهای توزیع دما و سرعت ترسیم شده اند. در حالتی که تهویه نیز موجود است فاصله ی لایه ی برگشتی اندازه گیری شده است و به این ترتیب تأثیر تهویه در چگونگی گسترش دود و گازهای گرم در تونل در زمان آتش سوزی نشان داده شده است.

واژه های کلیدی: آتش سوزی - تونل - مترو - Back layering

1- مقدمه

از طلوع تاریخ بشر، انسان فریفته ی آتش بوده و در طی قرن ها رابطه منحصر به فردی با این پدیده برقرار بوده است و این جذبه امروزه هم پابرجاست و به تقلید از گذشته، دوستداران مدرن آتش، از گرد آمدن در اطراف آتش های مجازی که در محیط کامپیوتری مشتعل میشوند، لذت می برند. امروزه، مدل سازی فیزیکی و ریاضی، در کنار دانش عددی، به ما اجازه ی تولید دوباره سناریو آتش را در یک محیط مجازی می دهد. البته با دید یافتن حل کاربردی در دنیای واقعی برای کپی برداری برای آتش سوزی ها غیر عمدی و غیر ارادی.

با این خط مشی فکری، علاقمند به شبیه سازی چگونگی گسترش دود و آتش در فضای بسته ی یک تونل مترو هستیم ، که توجه بیشتر به ایمنی افراد ساکن به همراه اصلاح و بهبود طراحی می باشد. تکنولوژی نمایش دادن فیزیک پیچیده ی گسترش آتش و دود در فضای شبیه سازی، دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، می باشد. این متدولوژی معادلات پایه و بنیادی که جریان سیال را توصیف می کنند حل می کند: معادلات ناویر-استوکس زمانمند و پی آمدهای ناشی از پدیده ی انتقال حرارت که با آتش همبستگی دارند. علاوه بر این، لازم است که شیمی احتراق تمامی پدیده ها به همراه معادلات توصیف کننده ی

1- کارشناس مکانیک سیالات

2- استادیار

انتقال ذرات ترکیب گردد. با استفاده از این المانها و توان کامپیوتری مناسب پیش‌بینی چگونگی گسترش آتش و دود به طور واقعی در یک هندسه‌ی دلخواه امکان پذیر است.

سیستم‌های مترو به عنوان یک راه پر بازده و مناسب برای حل مشکلات حمل و نقل در شهرهای بزرگ شناخته شده‌اند و در سرتاسر جهان خطوط مترو جدید در حال نقشه‌ریزی و ساخت هستند. برای یک آتش‌سوزی قطار مترو بسیار مهم است که سیستم تهویه‌ی اضطراری تونل قادر به کنترل جهت حرکت دود برای تأمین یک مسیر پاک و ایمن برای نجات مسافران و برای انجام عملیات اطفای حریق باشد. در یک تونل، راه‌کاربردی برای رسیدن به این هدف این است که سیستم تهویه اضطراری تونل، جریان هوای طولی مناسبی را روی آتش برقرار سازد طوری که دود و گازهای گرم در راستای دلخواه حرکت کنند.

تهویه‌ی هوا برای تونل‌ها می‌تواند با استفاده از شرایط و وسایل طبیعی، یا با استفاده از اثر پیستونی ترافیک القایی یا به وسیله‌ی سیستم‌های مکانیکی صورت پذیرد. تهویه‌ی طبیعی و تهویه توسط ترافیک القایی برای تونل‌های نسبتاً کوچک و تونل‌های با تراکم ترافیک کم مناسب هستند. تونل‌های طویل و تونل‌های با ترافیک سنگین باید دارای تهویه مکانیکی باشند. روش‌های مختلفی برای تهویه‌ی مکانیکی در تونل‌های جاده‌ای به کار برده می‌شود: سیستم‌های طولی، نیمه متقاطع و متقاطع [1].

نرم افزار مورد استفاده در این مدل سازی، NIST Fire Dynamics Simulator یا FDS می‌باشد. FDS یک برنامه‌ی کامپیوتری Fortran 90 می‌باشد که معادلات دینامیک سیال حاکمه را حل می‌کند [2] و Smokeview یک برنامه همراه است که به زبان برنامه‌نویسی C/openGL نوشته است و تصاویر و انیمیشن‌های مربوط به نتایج را ایجاد می‌نماید [3]. نسخه‌ی مورد استفاده، نسخه‌ی چهارم FDS است که در جولای سال 2004 منتشر شده است. FDS یک مدل دینامیک سیال محاسباتی (CFD) برای جریانات سیالی است که توسط آتش ایجاد می‌شوند.

2. معادلات حاکم:

در این بخش به معرفی فرضیه‌های اصلی و معادلات مورد استفاده در FDS می‌پردازیم [4].

2.1. مدل هیدرودینامیکی:

یک فرم تقریبی از معادلات Navier-stokes مناسب برای جریان با عدد ماخ پایین در این مدل مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات دارای خاصیت بیضوی هستند و سازگار با پروسه‌های با سرعت کم و دارای جابجایی حرارتی. محاسبات به صورت مدل‌سازی گردابه‌های بزرگ (Large Eddy Simulation (LES)) که در آن گردابه‌های با سایز بزرگ به صورت مستقیم محاسبه می‌شوند و پروسه‌های پراکنده که سایز کوچک تراز شبکه بندی را دارا هستند مدل‌سازی می‌شوند. در این پروژه روش LES با توجه به دلایل کاربردی (تحلیل شبکه و توان محاسباتی) به کار برده شده است. لذا تئوری و معادلات مربوط به LES ذکر خواهند شد.

چهار معادله‌ی بقا (جرم، ذرات (اجزاء)، مومنتم و انرژی) برای مخلوط گاز ایده‌آل چند جزئی قابل انبساط حرارتی در FDS حل می‌شوند، که به صورت مجزا معرفی خواهند شد:

2.1.1. بقای جرم

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad \text{رابطه (1)}$$

ترم اول تغییرات چگالی با زمان را نشان می‌دهد و ترم دوم جابجایی جرم را بیان می‌کند. u برداری است که سرعت در راستاهای w, v, u را نشان می‌دهد.

2.1.2. بقای اجزاء

بقای نسبت جرمی Y مربوط به جزء شیمیایی I به صورت زیر داده می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i u = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i'' \quad \text{رابطه (2)}$$

ترم اول در سمت چپ نشان دهنده‌ی تراکم اجزاء با توجه به تغییرات چگالی با زمان و ترم دوم نشان دهنده‌ی جریان ورودی و خروجی اجزاء از حجم کنترل با توجه به جابجایی است. سمت راست، ترم‌های جریانات ورودی و خروجی اجزاء از حجم کنترل با توجه به پخش و نرخ تولید اجزاء مشخص در درون حجم کنترل در اثر انجام واکنش‌های شیمیایی است.

3.1.2. بقای مومنتم

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad \text{رابطه (3)}$$

سمت چپ عبارت بالا نشان دهنده افزایش مومنتم و نیروهای اینرسی می‌باشد، در حالی که سمت راست شامل نیروهایی است که روی آن عمل می‌کنند. این نیروها شامل فشار p ، جاذبه g و بردار نیروی خارجی f (که نشان دهنده‌ی نیروی drag همراه با قطرات آب پاشیده شده از آب پاش است که به حجم کنترل نفوذ می‌کند) و اندازه‌ای از تانسور تنش ناشی از لزجت است که بر روی سیال درون حجم کنترل اثر می‌کند. از بین این نیروها، جاذبه مهم‌ترین است زیرا نشان دهنده‌ی تأثیرات بویانسی بر روی جریان است.

4.1.2. بقای انرژی

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \cdot \nabla p \right) + \dot{q}''' - \nabla \cdot q_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad \text{رابطه (4)}$$

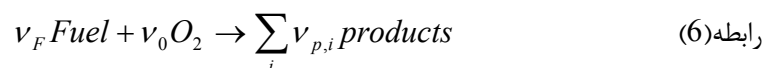
سمت چپ نرخ تراکم انرژی خالص را نشان می‌دهد در حالی که سمت راست شامل ترم‌های مختلف به دست آوردن یا از دست دادن انرژی است که در این تراکم انرژی شرکت دارند. این‌ها شامل ترم مربوط به کار صورت گرفته توسط فشار، انرژی که محرک سیستم است که نشان دهنده‌ی HRR در واحد حجم است \dot{q}''' ، بردار فلاکس حرارتی تابشی q_{rad} و ترم جابجایی $\nabla \cdot k \nabla T$ است. آخرین عبارت نشان دهنده‌ی تغییرات انرژی همراه با اجزاء شیمیایی است که در داخل پخش می‌شوند.

5.1.2. معادله‌ی حالت

$$P_0 = \rho T \mathcal{R} \sum (Y_i / M_i) = \rho T \mathcal{R} / M \quad \text{رابطه (5)}$$

2.2. مدل احتراق:

در مدل احتراق بر اساس نسبت اختلاط (mixture fraction)، احتراق بر اساس نرخ اختلاط سوخت و اکسنده محاسبه می‌شود. واکنش‌های شیمیایی بین سوخت و اکسیژن، برای رسیدن به واکنش استوکیومتری یک مرحله‌ای، در نظر گرفته شده‌اند.



که اعداد v_i ، ضرایب استوکیومتری برای کل پروسه‌ی احتراق است که واکنش بین سوخت 'F' و اکسیژن 'O₂' برای تولید تعدادی محصول 'P' را نشان می‌دهد. نسبت اختلاط Z به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \frac{sY_F - (Y_0 - Y_0^\infty)}{sY_F + Y_0^\infty}; s = \frac{v_0 M_0}{v_F M_F} \quad \text{رابطه (7)}$$

Y_0^∞ ، نسبت جرمی اکسیژن در فضای ambient است و Y_F نسبت سوخت در جریان سوخت است. M_0 و M_F جرم مولکولی سوخت و اکسیژن هستند. نسبت اختلاط قانون بقا را به شکل زیر ارضا می کند:

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad \text{رابطه (8)}$$

2.3 مدل تشعشع حرارتی:

$$kI_b = \begin{cases} \kappa \sigma T^4 / \pi & \text{Outside flame Zone} \\ \max(\chi_r \phi_c / 4\pi, \kappa \sigma T^4 / \pi) & \text{Inside flam zone} \end{cases} \quad \text{رابطه (9)}$$

در این رابطه σ همان ثابت استفان-بولتزمن است و q'' ، HRR در واحد حجم و χ_{rad} ، مقدار موضعی HRR است که به عنوان تابش حرارتی ساطع شده است. χ ضریب جذب موضعی است و وابسته به نسبت اختلاط و دما می باشد و توسط یک زیر مدل به نام RADCAL که توسط FDS تکمیل و اجرا شده است، محاسبه می گردد (McGratten2004).

2.4 فلاکس حرارتی جابجایی:

$$\phi_c = h \Delta T \quad W/m^2; \quad h = \max \left[C |\Delta T|^{1/3}, \frac{k}{L} 0.037 \text{Re}^{4/5} \text{Pr}^{1/3} \right] \quad W/m^2/K \quad \text{رابطه (10)}$$

که در آن ΔT اختلاف دما بین دیوار و گاز است و $C_{nat,con}$ ضریب جابجایی طبیعی است و L طول مشخصه مربوط به سائز مانع فیزیکی است و K ضریب هدایت حرارتی گاز و Re عدد رینولدز و Pr عدد پرنتل مربوط به گازی که از روی مانع عبور می کند، می باشند.

2.5 مدل تغییرات شیمیایی در اثر حرارت:

اگر سطح ماده thermally thick در نظر گرفته شود، معادله انتقال حرارت هدایت یک بعدی برای دمای ماده $T(x, t)$ در راستای x که درون جسم جامد قرار دارد (نقطه $x=0$ نشان دهنده سطح است) اعمال می شود. معادله فوق به شکل زیر است:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right); \quad -k \frac{\partial T}{\partial x} (0, t) = \phi_c + \phi_r m'' \Delta H_v \quad \text{رابطه (11)}$$

ρ ، k ، c به ترتیب چگالی، ضریب گرمایی ویژه و ضریب هدایت جسم که وابسته به دما هستند، می باشند. q''_{con} فلاکس حرارتی جابجایی و q''_{rad} فلاکس حرارتی تابشی خالص است. m'' نرخ اتلاف جرم بر واحد سطح و ΔH_v حرارت تبخیر است. نرخ تغییرات شیمیایی با استفاده از قانون نرخ آرنیوس تک مرحله ای مرتبه اول تخمین زده می شود که به شکل زیر می باشد:

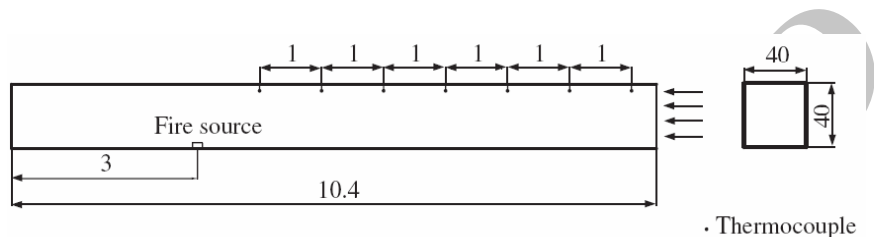
$$m'' = A \rho e^{-E_A / RT} \quad \text{رابطه (12)}$$

مقدار ضریب A و انرژی فعال سازی E_A طوری انتخاب می شوند که احتراق بسیار نزدیک به دمای احتراق صورت پذیرد.

Validation 3

3.1. مدل سازی تونل آزمایشگاهی:

تونلی که برای تست آزمایشگاهی به کار برده شده است، با ضریب (1/20) مقیاس شده است. تونل با مقیاس کامل دارای طول 208 m بوده است. این مقدار مطابق با طول 10/4m در مدل ساخته شده از تونل می باشد. تونل فوق از جنس transparent acrylic به ضخامت 10mm و مقطع نزدیک به منبع آتش سوزی برای جلوگیری از تغییر شکل تونل در اثر حرارت، از یک نوع گچ ضد حریق به ضخامت 10mm ساخته شده است. سطح مقطع تونل به شکل مستطیل و aspect ratio آن برابر یک می باشد. طول و عرض تونل اصلی 8 m و با مقیاس بندی فوق به 0/4 m برای مدل ساخته شده، تبدیل شده است. نمایی از تونل را در شکل (1) می بینید. Ethanol به عنوان سوخت به کار برده شده است و در هر دو حالت نرخ آزادسازی حرارت به طور میانگین 9/96kw در نظر گرفته شده است [5].



شکل (1): طرح شماتیک مدل تونل

3.2. مدل سازی عددی و شرایط مرزی:

مدل FDS، نوعی از معادلات Navier-Stokes مناسب برای جریان با سرعت پایین و ایجاد شده توسط حرارت با تأکید بر روی دود و انتقال حرارت ناشی از آتش، را حل می نماید. مشتقات جزئی معادلات بقای جرم، مومنتم و انرژی به عنوان تفاوت محدود (finite difference) تخمین زده می شوند و حل در زمان بر روی شبکه بندی مستطیلی و سه بعدی پیش می رود. تشعشع حرارتی با استفاده از روش حجم محدود (finite volume) بر روی شبکه‌ی مشابه شبکه‌ی حل جریان، محاسبه می شود. ذرات لاگرانژی برای مدلسازی جابجایی دود و تخلیه آب پاش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تعداد سلول‌ها در حالت بدون تهویه 518,400 و در حالتی که تهویه وجود دارد 600,000 بوده است. در تمامی موارد اجرا شده تا 200 ثانیه پس از جریان مدل سازی شده است.

در هر دو حالت بدون تهویه و با تهویه دیوارها از نوع thermally thick wall در نظر گرفته شده‌اند. در حالت بدون تهویه ورودی و خروجی تونل از نوع open انتخاب گشته‌اند به این مفهوم که هوای داخل تونل با هوای بیرون در ارتباط است و می تواند تبادل گرمی داشته باشد. در حالت بدون تهویه ورودی از همان نوع open و خروجی به عنوان مرز ورود هوای تهویه در نظر گرفته شده است. سرعت مطلق هوای ورودی 0/5 m/s و در جهت منفی محور x می باشد.

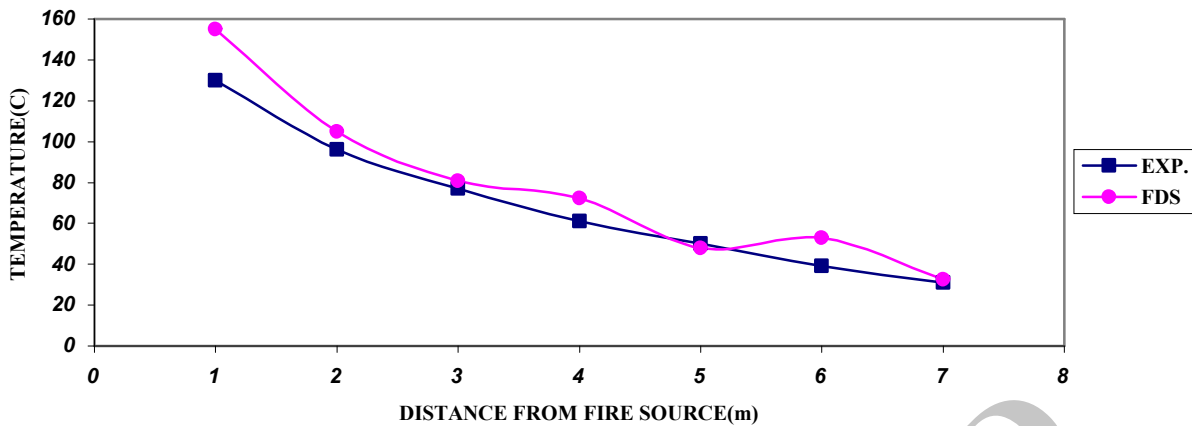
3.4. نتایج:

نتایج مربوطه در دو قسمت بررسی شده‌اند:

3.4.1. تونل با تهویه طبیعی:

- مقایسه ی توزیع دما در طول تونل در ارتفاع 2cm زیر سقف:

TEMPERATURE VS. DISTANCE FROM FIRE SOURCE



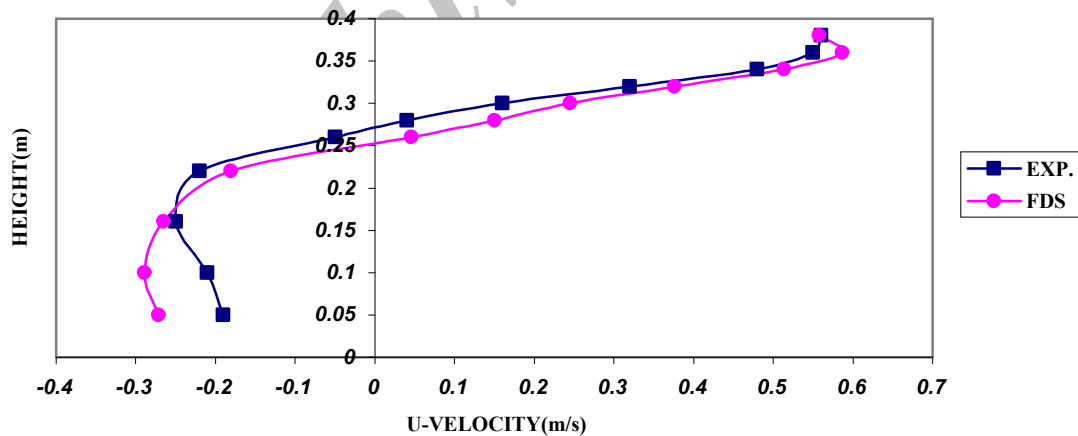
شکل (2): نمودار توزیع دما نسبت به فاصله از منبع آتش سوزی

در شکل (2) مقادیر به دست آمده از حل عددی با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده اند. نمودار فوق به خوبی نزدیکی مقادیر حاصل از حل عددی و مقادیر آزمایشگاهی را نشان میدهد. میزان خطای میانگین 13/84% بوده است که با توجه به پیچیدگی جریان و همچنین دقت نرم افزار که خطا را تا 20% مجاز می داند رضایت بخش بوده است.

- مقایسه ی توزیع سرعت:

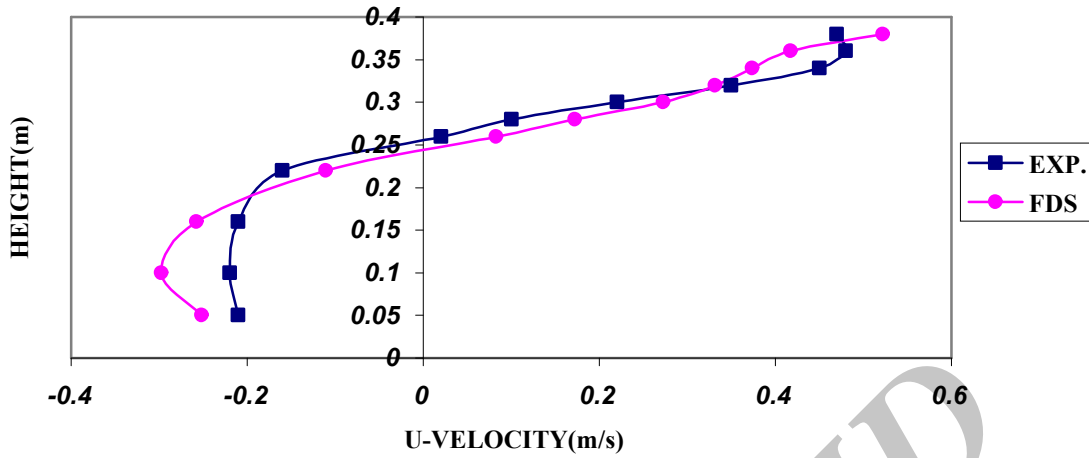
نمودارهای مربوط به این توزیع در فواصل 2، 4 و 6 متری از آتش سوزی به ترتیب در شکل های (3) و (4) و (5) آمده اند.

HEIGHT VS. U-VELOCITY(x=2m)



شکل (3): نمودار توزیع سرعت نسبت به ارتفاع در فاصله 2cm از منبع آتش سوزی

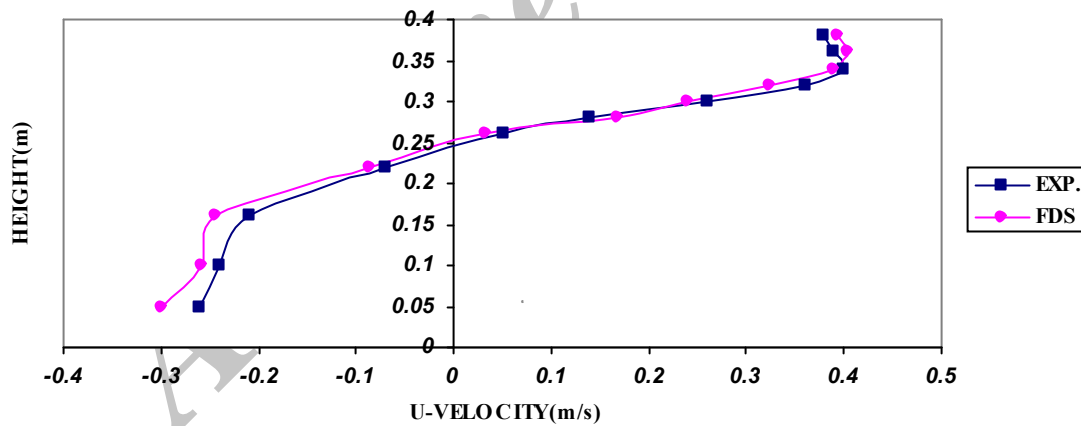
HEIGHT VS. U-VELOCITY(x=4m)



شکل(4): نمودار توزیع سرعت نسبت به ارتفاع در فاصله 4cm از منبع آتش سوزی

توزیع سرعت های به دست آمده از حل عددی و حل آزمایشگاهی با تقریب بسیار مناسبی منطبق بر یکدیگر هستند، به استثنای قسمتی از نمودار مربوط به توزیع سرعت در فاصله ی 4متری از آتش سوزی که البته روند دو نمودار در این مورد نیز تقریباً مشابه هستند. لذا نتایج مربوطه بیانگر حل عددی مناسبی برای پدیده پیچیده آتش سوزی در این نمونه بوده است.

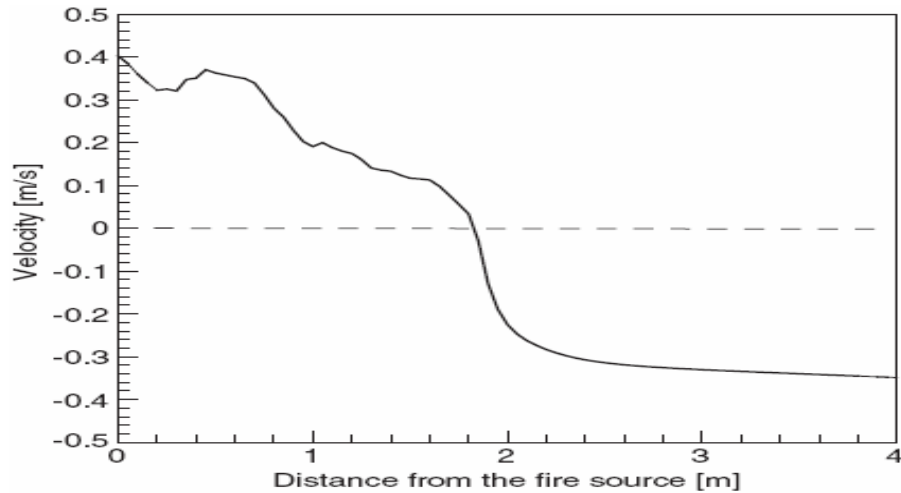
HEIGHT VS. U-VELOCITY(x=6m)



شکل(5): نمودار توزیع سرعت نسبت به ارتفاع در فاصله 6cm از منبع آتش سوزی

3. 4. 2. تونل با تهویه مکانیکی (طولی):

در این قسمت به بررسی فاصله ی back layering می پردازیم. این مقدار با توجه به شکل (6)، که با مقادیر آزمایشگاهی ترسیم شده است 1/82 m بوده است.

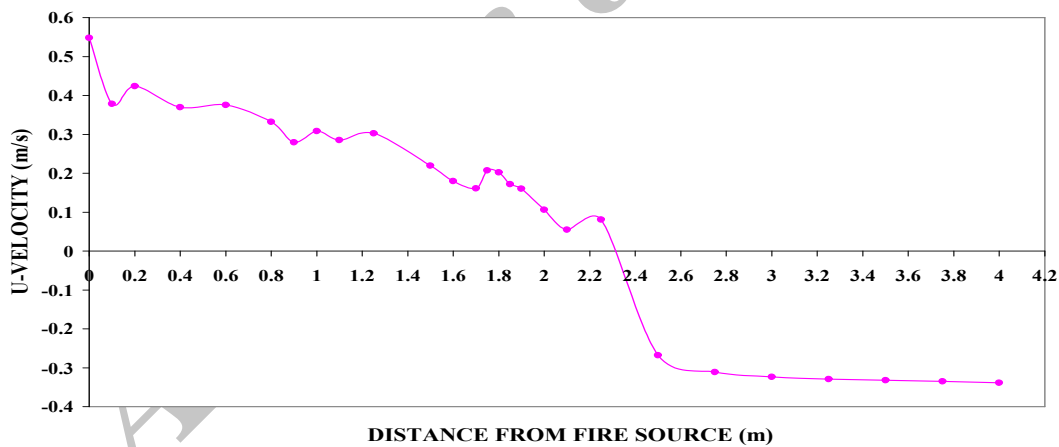


Velocity distribution under the ceiling for 9.96 kW fire with 0.5 m/s ventilation velocity

شکل(6): نمودار آزمایشگاهی توزیع سرعت نسبت به فاصله از منبع آتش سوزی

در شکل(7) با استفاده از نتایج به دست آمده از حل عددی صورت گرفته، نمودار مشابهی ترسیم شده است. طبق این نمودار فاصله ی back layering برابر با 2/31 m به دست آمده است. لذا میزان خطا در این قسمت 26/9٪ می باشد.

U-VELOCITY VS. DISTANCE FROM FIRE SOURCE



شکل(7): نمودار توزیع سرعت نسبت به فاصله از منبع آتش سوزی حاصل از حل عددی

4. مدل سازی تونل باهندسه ای مشابه تونل مترو شیراز:

4.1. هندسه و مشخصات جریان در تونل:

ابعاد اصلی تونل فوق عبارتند از: طول 1025m ، عرض 8 m و ارتفاع 5 m. این تونل دارای دو فن دمنده ی هوا به داخل تونل و یک فن مکنده است. اگر طول تونل را در جهت x و عرض آن را در جهت y و ارتفاع آن را در جهت z در نظر بگیریم، در صفحه ی $y=0$ و در فاصله ی 10متری از ابتدای تونل vent ی به ابعاد $1/7$ m طول و $2/6$ m ارتفاع قرار دارد که هوا را با دبی حجمی $65,000$ ($m^3/hour$) به فضای داخلی تونل می فرستد. vent مشابه دیگری نیز در صفحه ی $y=8$ و در همان فاصله ی 10 متری از انتهای تونل همین دبی حجمی را وارد تونل می کند. vent دیگری نیز در صفحه ی $y=8$ در فاصله ی 563 متری از

ابتدای تونل و به ابعاد 3m در 3m قرار دارد. این فن دبی حجمی $(m^3/hour)$ 200,000 را از فضای داخل تونل مکش می نماید.

قدرت آتش سوزی را طبق مقادیر آماری 10MW و مرکز آن را در نقطه $(271/5, 2/5)$ در نظر گرفته ایم. سوخت مورد استفاده را propane در نظر گرفته ایم. سطح آتش سوزی را 3m در 2/6m قرار داده ایم. دمای هوای محیط و هوای ورودی توسط دو فن و در نتیجه دمای اولیه ی دیواره ها 40C و دمای هوای خارج از تونل 30C در نظر گرفته شده است. جنس دیواره ها از بتون (CONCRETE) و ضخامت آن 40cm قرار داده شده است. دیواره ی خارجی تونل را عایق بندی شده در نظر گرفته ایم. علاوه بر این در هر دو سوی سطح مقطع تونل مکعب هایی به ابعاد 0/8 m در 0/8 m در پایین تونل و از جنس دیواره ها قرار دارد که تا انتهای تونل کشیده شده اند. در شکل (7.1) سطح مقطع تونل را می بینیم.

4.2. آنالیز ابعادی:

با توجه به این که مدل سازی و حل عددی تونل با ابعاد اصلی امکان پذیر نمی باشد، لذا ناچار به انجام آنالیز ابعادی برای ساختن یک تونل scale شده هستیم. عبارت معروف و عمومی برای سرعت تهویه ی بحرانی توسط Wu و Bakar و بر اساس ارتفاع هیدرودینامیکی تونل ارائه شده اند. این دو سرعت تهویه ی بحرانی بدون بعد شده و نرخ آزاد سازی حرارت بون بعد شده را به صورت زیر تعریف کرده اند [6].

$$Q^* = \frac{Q}{\rho_0 C_p T_0 g^{1/2} H_D^{2/5}} \quad \text{رابطه (13)}$$

$$\text{رابطه (14)}$$

$$V^* = \frac{V_{cr}}{\sqrt{gH_D}}$$

V^* : non-dimensional critical ventilation velocity

Q^* : non-dimensional heat release rate

با توجه به این روابط به رابطه های زیر برای انجام مدل سازی می رسیم.

$$V_M = V_F \sqrt{\frac{L_M}{L_F}} \quad \text{رابطه (15)}$$

$$Q_M = Q_F \left(\frac{L_M}{L_F} \right)^{5/2} \quad \text{رابطه (16)}$$

4.3. مدل سازی عددی و شرایط مرزی:

روش حل عددی همان است که در مدل سازی تونل مربوط به قسمت validation توضیح داده شده است. تعداد سلول ها در حالت بدون تهویه و درحالی که تهویه نیز وجود دارد، هردو، 1,080,000 بوده است. در تمامی موارد اجرا شده تا 200 ثانیه پس از جریان مدل سازی شده است.

در هر دو حالت بدون تهویه و با تهویه دیوارها از نوع thermally thick wall و عایق بندی شده (insulated) در نظر گرفته شده اند. در هر دو حالت بدون تهویه و با تهویه ورودی و خروجی تونل از نوع open انتخاب گشته اند به این مفهوم که هوای داخل تونل با هوای بیرون در ارتباط است و می تواند تبادل گرمی داشته باشد.

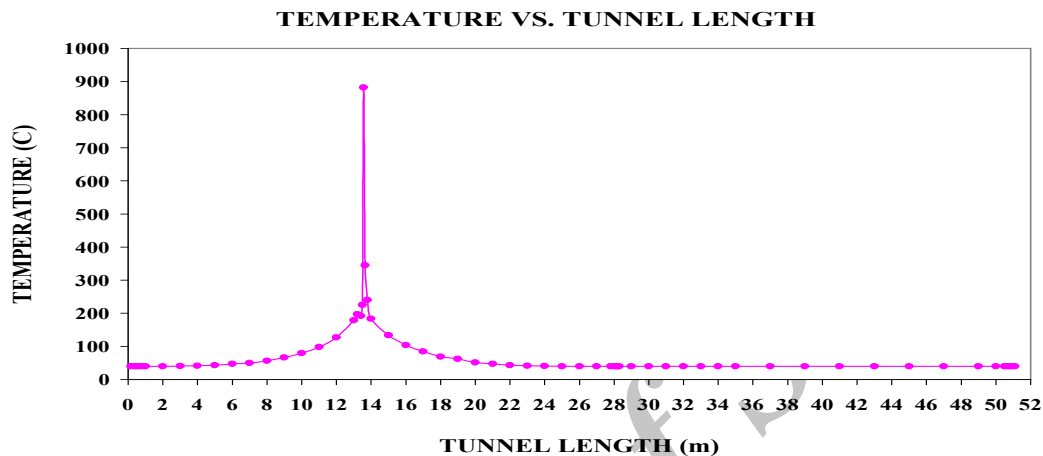
دمای اولیه ی دیواره ها به استثنای محل آتش سوزی برابر با دمای محیط یعنی 40C در نظر گرفته شده است. دمای سطح سوخت 500C قرار داده شده است.

5.4 نتایج:

نتایج مربوطه در دو قسمت بررسی شده اند:

5.4.1 تونل با تهویه طبیعی:

- توزیع دما در طول تونل:

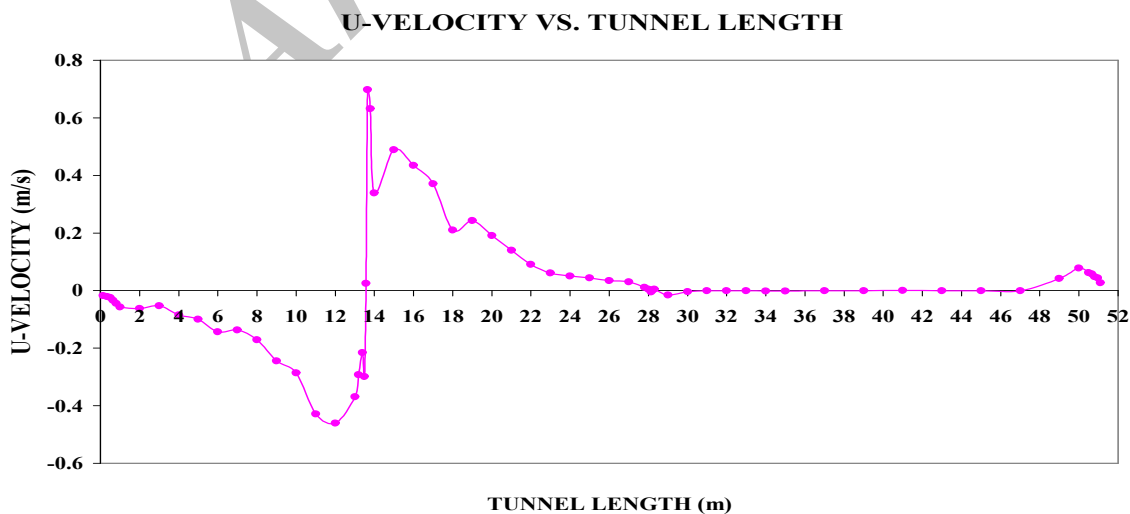


شکل(8): نمودار توزیع دما در طول تونل

توزیع دمای فوق کاملاً با آن چه که انتظار داشتیم مطابقت دارد و می بینیم که توزیع دما در دو سمت محل آتش سوزی تقریباً مشابه است.

- توزیع سرعت در طول تونل و یافتن فاصله ی *back layering* :

در شکل(9) می بینیم که در حالت بدون تهویه، توزیع سرعت نیز حالت متقارن دارد دود در نیمه ی سمت چپ تا انتهای تونل و در نیمه ی سمت راست نیز تقریباً به همین فاصله گسترش یافته است.



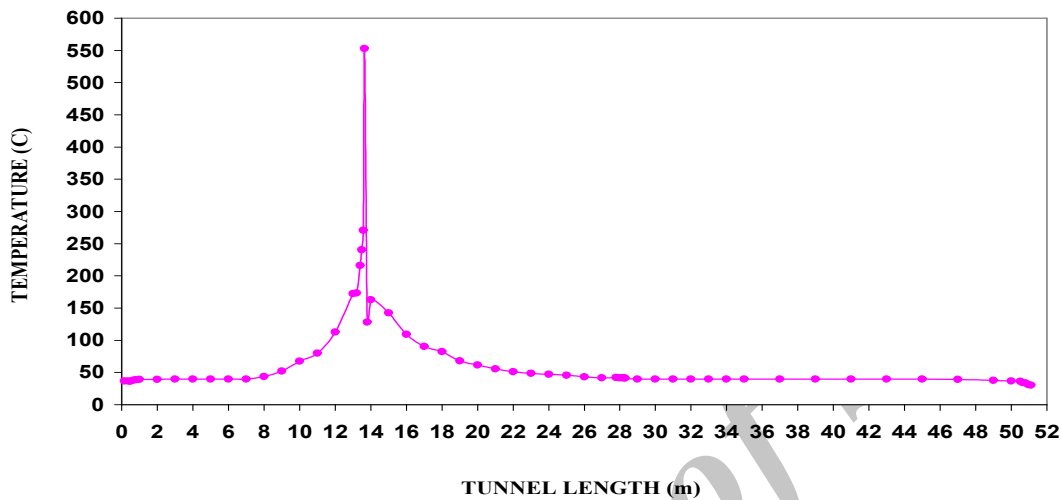
شکل(9): نمودار توزیع سرعت در طول تونل

4.5.2. تونل با تهویه مکانیکی (طولی):

- توزیع دما در طول تونل:

می بینیم که دمای ماکزیمم و دما در نقاط مختلف دیگر در این حالت از دما در حالت بدون تهویه به مقدار قابل توجهی کم تر می باشد و تاثیر تهویه در ایجاد یک فضای مناسب تر کاملاً مشهود است.

TEMPERATURE VS. TUNNEL LENGTH

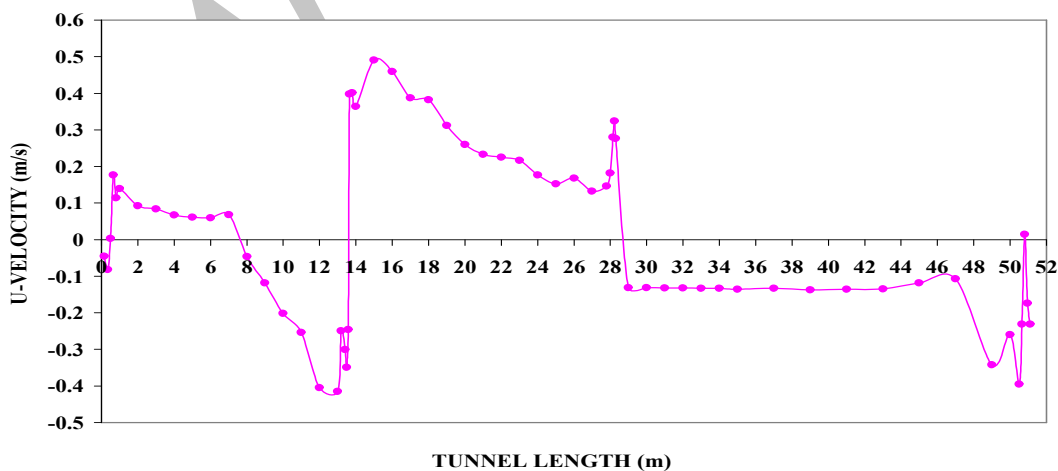


شکل (10): نمودار توزیع دما در طول تونل

- توزیع سرعت در طول تونل و یافتن فاصله ی back layering:

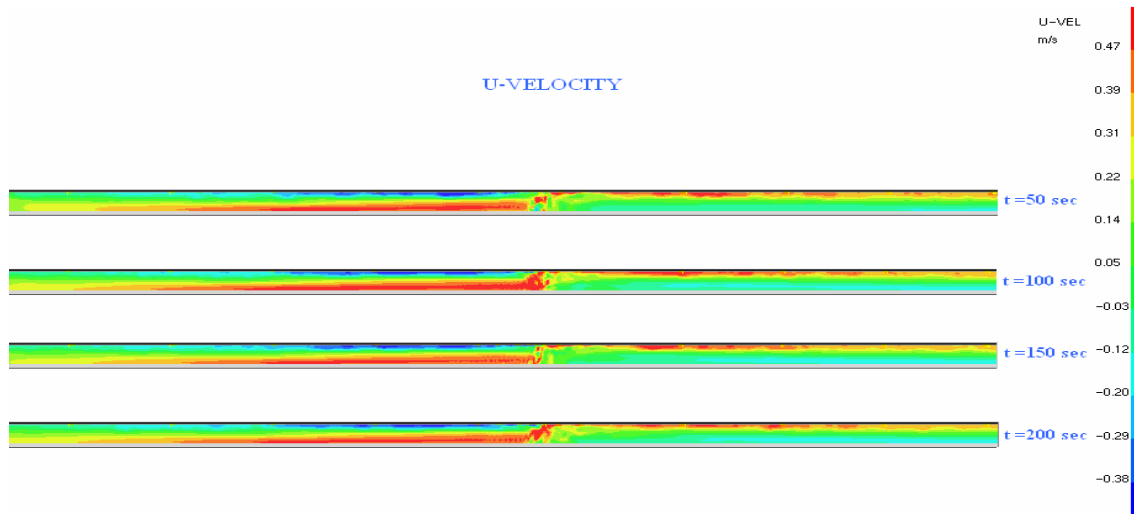
می بینیم که در این حالت دیگر توزیع سرعت متقارن وجود ندارد و کاملاً مشهود هست که دود در تمام طول تونل گسترش نمی یابد. طبق نمودار دود تا فاصله ی 7/6 m از ابتدای تونل پیشروی کرده است لذا فاصله ی back layering نیز برابر با 5/975 m می باشد.

U-VELOCITY VS. TUNNEL LENGTH

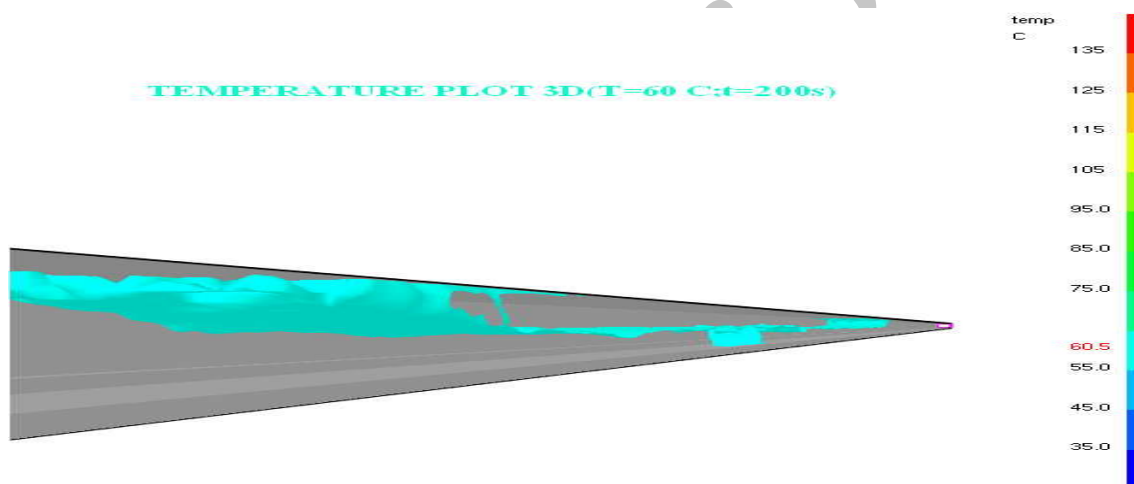


شکل (11): نمودار توزیع سرعت در طول تونل

4. 2. 5. 1 تصاویر:



شکل (12): توزیع سرعت در زمان های مختلف پس از آغاز آتش سوزی در محل آتش سوزی



شکل (13): کانتور سه بعدی از سطوح با دمای 60C و در زمان 200 sec

5. نتیجه گیری:

مقایسه ی مقادیر مربوط به توزیع دما در حالت بدون تهویه در قسمت validation بیانگر خطای 13/84٪ می باشد؛ که با توجه به پیچیدگی جریان مدل سازی شده و همچنین دقت نرم افزار که خطای محاسباتی را تا 20٪ می پذیرد ، رضایت بخش بوده است. علاوه بر این تطابق نمودارهای مربوط به توزیع سرعت در صفحاتی به فواصل مختلف از آتش سوزی، برای حل عددی و آزمایشگاهی ، کاملاً مشهود است. در این قسمت در حالتی که تهویه موجود است ، مقدار back layering به دست آمده دارای خطای 26/9٪ نسبت به واقعیت بوده است؛ که چندان رضایت بخش نمی باشد. در کل می توان نتیجه گرفت که دو هدف اولیه ی پروژه مبنی بر یادگیری نرم افزار validate کردن حل آزمایشگاهی به خوبی تحقق یافته اند.

در قسمت دوم که هدف نهایی پروژه محسوب می گردد ، با رسم نمودارهای توزیع دما در هر دو حالت با تهویه وبدون تهویه به این نتیجه می رسیم که دمای ماکزیمم در طول تونل و همچنین دمای هوا در نقاط مختلف در حالت بدون تهویه بیشتر از حالتی است که تهویه موجود است؛ که این نتیجه کاملاً قابل قبول و مورد انتظار است.

نمودار توزیع سرعت ها نیز بیانگر این امر هستند که در حالت بدون تهویه دود و گازهای گرم در جهت منفی محور x تا ابتدای تونل پیشروی کرده و از سمت راست نیز به طور تقریباً مشابهی و تا فاصله ای تقریباً برابر با پیشروی در سمت چپ تونل به دلیل تقارن نسبی گسترش یافته است.

درحالتی که سیستم تهویه فعال است ، دود و گازهای گرم ناشی از آتش سوزی تنها تا فاصله ی 5/975m از مرکز آتش سوزی و در واقع تا فاصله ی 7/6m از ابتدای تونل پیشروی کرده است. به این ترتیب با توجه به مقیاس بندی صورت گرفته فاصله ی back layering در تونل واقعی 119/5 m به دست می آید و تا فاصله ی 152 m از ابتدای تونل و طبق نمودارهای سرعت و دما از سمت انتهایی تونل تا نیمه ی آن و به عبارتی تا محل قرارگیری فن میانی ، تونل دارای فضای پاک و ایمن می باشد.

نتایج فوق مؤید تأثیرات قابل توجه سیستم های تهویه در ایجاد یک فضای ایمن و عاری از آلودگی در زمان رخداد پدیده ی آتش سوزی است.

منابع و مراجع:

1. Kashef, A.; Bénichou, N.; Lougheed, G.. Numerical Modelling of Movement and Behaviour of Smoke Produced from Fires in the Ville-Marie and L.-H. – La Fontaine Tunnels: Literature Review,2003.
2. Kevin McGrattan, Glenn Forney. Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide, 2006.
3. Glenn P. Forney ,Kevin B. McGrattan. User's Guide for Smokeview Version 4,2006.
4. Kevin McGrattan. Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide, 2006.
5. Sung Ryong Lee, Hong Sun Ryou. A numerical study on smoke movement in longitudinal ventilation tunnel fires for different aspect ratio, 2005.
6. Jae Seong Roh, Hong Sun Ryou, Dong Hyeon Kim, Woo Sung Jung, Yong Jun Jang. Critical velocity and burning rate in pool fire during longitudinal ventilation,2006.