

تعیین سرعت بحرانی درون تونل البرز حین آتش‌سوزی

بهزاد نیکنام^{۱*}؛ حسن مدنی^۲؛ حسین سالاری راد^۳

چکیده

دود و گازهای سمی خارج شده از آتش‌سوزی درون تونل، برای سلامتی کاربران تونل بسیار مضر است. بنابراین برای خروج افراد و وسائط نقلیه و جلوگیری از گسترش این مواد در بالادست محل آتش‌سوزی، تامین هوای تازه اهمیت زیادی دارد. سرعت بحرانی جریان هوا، مهمترین فاکتور موثر برای طراحی سامانه ایمنی درون تونل و جلوگیری از گسترش دود در جلوی محل آتش‌سوزی در امتداد جهت جریان می‌باشد. برای برآورد این سرعت، تونل البرز واقع در آزادراه تهران-شمال، حین آتش‌سوزی با انرژی حرارتی آزاد شده برابر ۱۰۰ مگاوات به مدت ۹۶۰ ثانیه به کمک یک مدل عددی سه بعدی با نرم افزار FDS شبیه سازی شده است. مدل سه بعدی تونل به طول ۵۰۰ متر، و روند آتش‌سوزی بر اساس آهنگ گرمای آزاد شده متناسب با زمان احتراق هپتان شبیه سازی شده است. شبیه سازی جریان مغشوش و احتراق به ترتیب براساس معادلات لس (LES) و معادلات شکست ادی (EDDY). مدل سه بعدی با شبکه بندی متشکل از سلول های مربعی با اندازه ۵۰ سانتی متر انجام شد. در این تحقیق نتایج شبیه سازی، با روابط تجربی مقایسه شدند. بر اساس نتایج مدل عددی برای آتش‌سوزی با اندازه ۱۰۰ مگاوات، سرعت بحرانی ۳/۵ متر در ثانیه پیش بینی شده که همخوانی مناسبی با رابطه ارائه شده توسط اوکا و اتکینسون دارد و به عنوان سرعت بحرانی برای کنترل دود در بالادست آتش‌سوزی با اندازه ۱۰۰ مگاوات پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: سرعت بحرانی، آتش‌سوزی، شبیه‌سازی عددی، نرم‌افزار FDS، تونل البرز

Determining Critical Wind Velocity During Fire Accident in Alborz Tunnel

B. Niknam, H. madani and S. Salarirad

ABSTRACT

Smoke and toxic gases created by fire accidents in tunnel are very harmful for tunnel users health and safety. So fresh air supply for fire smoke control in the fire upstream, is important. Thus, the critical velocity is a most important factor for this. In order to determine the critical velocity during fire in the Alborz tunnel 3dimensional model of the tunnel and fire was created by FDS software. Fire with 100 mw size for 960second in model with 500m length was simulated. Fire and Smoke was modeled by HRR and heptanes' combustions. Unsteady flow and combustions was simulated by LES and Eddy break up model. Model was meshed by 50 cm cell. Finally, simulation result was validated by experimental equation. simulation predicted value for critical velocity is 3.5 m/s which have good agreement with Oka and Atkinson experimental equation so we propose 3.5 m/s as critical velocity for fire with 100 mw in Alborz Tunnel.

KEYWORDS : Critical Velocity, Fire, Numerical Simulation, FDS Software, Alborz Tunnel

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۲۷

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۲

^{۱*} نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛

behzadniknam@aut.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ hmadani@aut.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ salarir@aut.ac.ir

۱- مقدمه

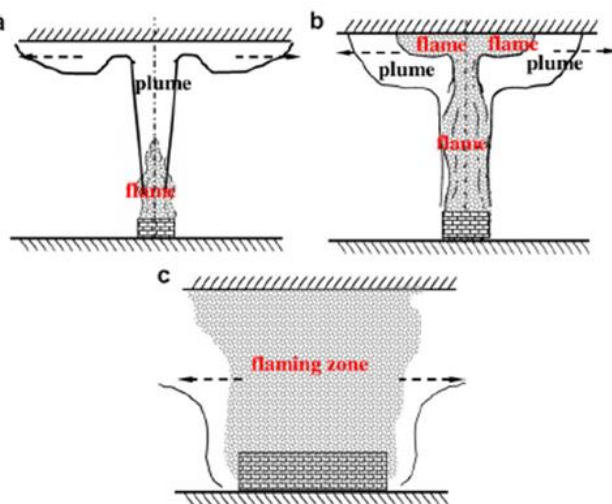
دود تعیین شده است، باشد. برای محاسبه سرعت بحرانی روابطی توسط هسلدن، کندی و پیارک ارائه شد [۴] سرعت بحرانی در محدوده خاصی از گرمای آزاد شده، با توان یک سوم آهنگ گرمای آزاد شده رابطه دارد. در مقادیر بالاتر به تدریج ارتباط بین سرعت بحرانی و گرمای آزاد شده از رفته و سرعت بحرانی مستقل از گرمای آزاد شده است در این حالت سرعت فوق بحرانی تعریف می‌شود [۵].

زمانی که نیروهای نامتعادل کننده با نیروی شناوری شعله آتش در محل برخورد با سقف به تعادل برسند، از عقب‌زدگی لایه دود جلوگیری خواهد شد. با افزایش آتش‌سوزی، دمای شعله و نیروهای شناوری افزایش می‌یابد. برای حالت a، با افزایش آهنگ گرمای آزاد شده، سرعت بحرانی تا زمانی که شعله آتش به سقف برخورد ننموده و به صورت افقی در زیر آن قرار نگرفته است، افزایش می‌یابد. در این حالت، شرایط فوق بحرانی سرعت رخ می‌دهد که در آن دمای شعله آتش و نیروهای شناوری وابستگی کمتری با آهنگ گرمای آزاد شده دارند [۶].

a برای مطالعه رفتار آتش‌سوزی و گسترش دود درون تونل سه روش وجود دارد. انجام آزمایش آتش‌سوزی در مقیاس آزمایشگاهی، انجام آزمایش آتش‌سوزی در مقیاس واقعی و شبیه‌سازی عددی. در روش اول، نمونه آزمایشگاهی از تونل مورد نظر ساخته می‌شود. برای مثال می‌توان به کارهای اوکا و اتکینسون [۷] و سایتو [۸] اشاره نمود. داده‌های حاصل از این آزمایش‌ها فقط برای محدود پایینی از دما قابل قبول است و نتایج حاصل از این آزمایش‌ها رانمی‌توان برای شرایط مختلف تعمیم داد. روش دوم، پر هزینه بوده و فقط پژوهش فری جوس در نروژ [۹] و تونل تاریخی در آمریکا در این موضوع انجام شده‌اند [۱۰]. هدایت آزمایش‌های بزرگ مقیاس به دلیل امکانات وسیع به کار رفته در آنها؛ برای رسیدن به جواب قابل قبول بسیار مشکل است در نتیجه هزینه مالی و زمانی پژوهش-افزایش خواهد یافت. روش سوم (شبیه‌سازی عددی) در سال‌های اخیر گسترش یافته است. در این روش با استفاده از کدهای دینامیک سیالات محاسباتی، رفتار و چگونگی رشد آتش‌سوزی درون تونل بررسی می‌شود که از جمله این تحقیقات می‌توان به کارهای چو [۱۱]، چو و جوجو [۱۲] و هو [۱۳] اشاره کرد. هر چند این روش از نظر هزینه و زمان اقتصادی است اما برای رسیدن به یک جواب قابل قبول، داده‌های حاصل از این روش باید با داده‌های حاصل از آزمایش‌های تجربی یا روابط تجربی-اعتبارسنجی شود. در این مقاله، طرح سه‌بعدی آتش‌سوزی-سطحی درون تونل البرز با استفاده از کد دینامیک سیالات محاسباتی ساخته شد و نتایج حاصل از مدل‌سازی به وسیله

تونل‌های مونت بلان بین فرانسه و ایتالیا، تونل تارن در اتریش، تونل گوتارد در سوییس، تونل داگو در کره و تونل فری جوس مابین ایتالیا و فرانسه، تونل‌های جاده‌های هستند که در سال‌های اخیر آتش‌سوزی‌های بسیار بزرگ در آنها اتفاق افتاده است بنابراین، ایمنی درون تونل‌های جاده‌ای در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲].

باتوجه به شکل (۱) سه حالت مختلف برای آتش‌سوزی درون تونل وجود دارد. در حالت a، مانند آتش‌سوزی سواری کوچک، شعله آتش به سقف تونل نمی‌رسد. در حالت b، مانند آتش‌سوزی متوسط مقیاس اتوبوس، شعله آتش به سقف تونل رسیده و در زیر آن به صورت افقی حرکت می‌نماید. در حالت c، مانند آتش‌سوزی کامیون‌های سنگین، آتش‌سوزی به اندازه‌ای بزرگ است که علاوه بر اینکه به سقف تونل برخورد نموده، کل فضای تونل را نیز در ناحیه آتش‌سوزی در بر می‌گیرد [۳].



شکل ۱: حالت‌های مختلف آتش‌سوزی درون تونل a- آتش‌سوزی مقیاس کوچک b- آتش‌سوزی متوسط c- آتش‌سوزی بزرگ مقیاس [۳]

در تونل‌های طولی جاده‌ای از سامانه تهویه طولی استفاده می‌شود و در حین آتش‌سوزی، بادبزن‌های قوی برای راندن دود به یک سمت تونل به کار می‌روند. این روش برای آتش-سوزی‌های کوچک مفید است، اما اگر سرعت جریان طولی هوا کم باشد در آن صورت، دود در خلاف جهت جریان هوا حرکت نموده که این پدیده عقب‌زدگی لایه دود نام دارد. در تونل‌های شیب‌دار که به دلیل اختلاف دما، جریان تهویه طبیعی برقرار است، این پدیده بیشتر روی می‌دهد [۳].

برای انجام عملیات نجات، سرعت طولی جریان هوا باید بیشتر از سرعت بحرانی، که برای جلوگیری از عقب‌زدگی

روابط تجربی اعتبارسنجی شد.

۲- تونل البرز

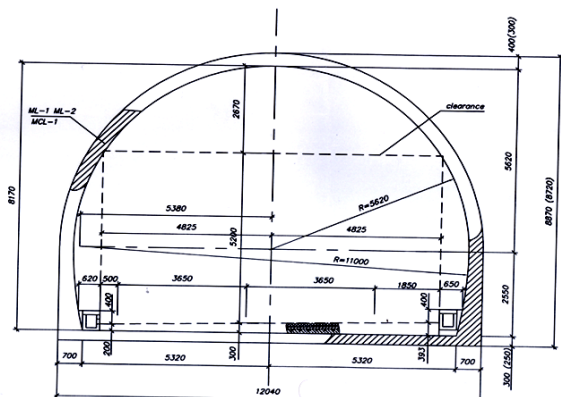
تونل‌های دولقی البرز، هر یک به طول تقریبی ۶۵۰۰ متر در آزاد راه تهران-شمال، از شمال گچسر شروع می‌شوند و تا پل زنگوله در جاده کرج- چالوس ادامه می‌یابند و ارتفاعات البرز مرکزی با پیچیدگی‌های خاص زمین‌شناسی را قطع می‌نمایند. بین دو تونل البرز، تونل سرویس و تهویه جانمایی شده‌است. فاصله بین دو رشته تونل اصلی ۴ تا ۸۰ متر و تونل سرویس و تهویه میان آنها قرار گرفته‌است. عرض هر یک از تونل‌ها ۱۲ متر، ارتفاعشان ۸ متر و سطح مقطع آنها ۹۵ متر مربع است. سطح تراز دهانه شمالی در ارتفاع ۲۳۷۰ متر و سطح تراز دهانه جنوبی در ارتفاع ۲۴۴۰ متری قرار دارد (شکل ۲) [۱].

۳- تئوری مسئله

۳-۱- سرعت بحرانی

زمانی که جریان تهویه طولی در تونل وجود دارد، در شرایط خاصی از جریان هوا و گرمای آزاد شده، گازهای حاصل از آتش ممکن است در خلاف جهت جریان تهویه حرکت کنند. این پدیده عقب‌زدگی نامیده می‌شود و برای سلامتی کاربران ناحیه بالادست آتش بسیار مهم‌است.

اوکاواتکیسون [۶] با استفاده از روش‌های عددی و فیزیکی نشان دادند که در مورد آتش‌های بزرگ مقیاس، سرعت بحرانی را می‌توان به صورت مستقل از گرمای آزاد شده در نظر گرفت و رابطه ای با استفاده از گرمای آزاد شده و سرعت بحرانی بی بعد به دست آورد:



شکل ۲: مقطع تونل البرز [۱]

$$u_{cr}^* = \frac{u_{cr}}{\sqrt{gH_t}} \quad (۱)$$

که در آن:

u_{cr}^* : سرعت بحرانی بی‌بعد

u_{cr} : سرعت بحرانی (متر در ثانیه)

H_t : قطر هیدرولیکی تونل (متر)

سرعت بحرانی با استفاده از دو عبارت مختلف زیر بیان می‌شود:

$$u_{cr}^* = 0.35 (0.124)^{-1/3} (Q'')^{1/3} \quad Q'' < 0.124 \quad (۲)$$

$$u_{cr}^* = 0.35 \quad Q'' > 0.124 \quad (۳)$$

در رابطه (۳ و ۲) Q'' گرمای آزاد شده بی‌بعد است که از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$Q'' = \frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot T \cdot \sqrt{g} (D)^\delta} \quad (۴)$$

که در آن:

D : قطر هیدرولیکی آتش (متر)

که از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$D = \left(\frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot T \cdot \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{\delta}} \quad (۵)$$

Q : آهنگ گرمای آزاد شده (وات)

ρ_0 : چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)

C_p : گرمای ویژه ترکیب

T_0 : دمای هوای محیط (کلوین).

۳-۲- منحنی هیدروکربن

احتراق سریع و پتانسیل بالای مواد هیدروکربنی، در این منحنی به صورت افزایش سریع دمای آتش‌سوزی نمایان شده است [۱۴].

$$T [C^\circ] = 20 + 10.8 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167t} - 0.675 \cdot e^{-2.5t}) \quad (۶)$$

۳-۳- منحنی هیدروکربن اصلاح شده

در استاندارد فرانسه، منحنی دیگری ارایه شده که در آن دمای آتش به مقدار بیشینه ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. فرمول بندی این منحنی در رابطه (۷) آمده‌است [۱۴].

$$T [C^\circ] = 20 + 12.8 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167t} - 0.675 \cdot e^{-2.5t}) \quad (۷)$$

منحنی‌های هیدروکربن و هیدروکربن اصلاح شده در صنایع نفت و گاز و عمران توسعه یافته‌اند اما به دلیل وجود مقادیر بسیار زیاد بنزین و ترکیبات هیدروکربنی در آتش‌سوزی‌های درون تونل، از این منحنی‌ها می‌توان برای آتش‌سوزی درون تونل استفاده نمود. در شکل (۳) منحنی‌های گفته شده ارایه شده‌اند [۱۴].

۳-۴- تغییرات دما در امتداد محور تونل

الپارت، رابطه (۸) را برای محاسبه بیشینه دمای دود در زیر

$$\bar{\tau}_{ij,sg_s} = 2\mu_t \bar{S}_{ij} \quad (10)$$

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (11)$$

ضریب گرانیروی دینامیکی گردابه‌ها با آنالیز اسکاگروفسکی به صورت رابطه (۱۲) طراحی می‌شود [۱۵].

$$\mu_t = C_s^* \rho \Delta^2 \left| \bar{S}_{ij} \right| \quad (12)$$

که در آن:

$\left| \bar{S}_{ij} \right|$: بزرگی تانسور آهنگ کرنش بزرگ مقیاس محلی \bar{S}_{ij} است

$$\Delta = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^{1/3}$$

پهنای باند فیلتر G_s : ثابت تجربی که مقدار استاندارد آن ۰/۲۱ است.

با فرض گرانیروی گردابه‌ها، شار گرمایی جریان مغشوش معادلات انرژی را به صورت رابطه (۱۳) به دست می‌دهد [۱۵].

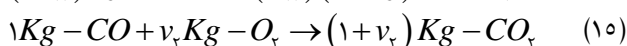
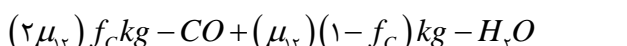
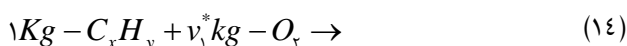
$$\frac{\partial \rho \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{u}_j \bar{h})}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\rho r_t} \frac{\partial \bar{h}}{\partial x_j} \right) = q_c''' - \nabla \cdot q_r \quad (13)$$

که در آن:

ρr_t : عدد پراندتل جریان مغشوش که برابر با ۰/۵.

q_c''' و $-\nabla \cdot q_r$: گرمای آزاد شده به ازای واحد سطح و شار تابشی انرژی

طرح احتراق بر پایه واکنش شیمیایی سوخت هیدروکربنی با فرآیند دومرحله‌ای است که در آن هیدروکربن $C_x H_y$ ، به CO و H_2O اکسید شده و پس از آن CO حد واسط به CO_2 تبدیل می‌شود [۱۶]:



در این شرایط، v_1^* و v_2^* نشان‌دهنده ضرایب استوکیومتری است که از رابطه (۱۶) به دست می‌آید:

$$v_1^* = v_1 - \frac{28}{12} f_c v_r, v_1 = \frac{32}{12} f_c + \frac{16}{2} (1-f_c), \quad (16)$$

$$v_r = \frac{16}{28}$$

که در آن:

f_c : ترکیب هیدروکربنی $C_x H_y$ برای کسر جرمی Y_i تنش ذرات اصلی واکنش $i = C_x H_y, O_2, H_2O, CO, CO_2$ ، فرآیند احتراق با معادلات انتقال شبیه معادله ۱۳ بیان می‌شود. در بیشتر آتش‌سوزی‌ها، تعیین واکنش شیمیایی آهنگ گرمای آزاد شده نسبت به تعیین گرمای آزاد شده از راه مشخصات ترکیب مغشوش سریع‌تر است هر چند که برای نرم‌افزارهای

سقف تونل حین آتش‌سوزی با اندازه ۶۶۸ کیلووات تا ۹۸ مگاوات درون تونل با ارتفاع ۴/۶ تا ۱۵/۵ متر ارایه داد [۱۴]:

$$T_{max} = T_0 + \frac{\Delta / 38 \left(\frac{Q}{r} \right)^{1/2}}{H_f} \quad (8)$$

که در آن:

Q : آهنگ گرمای آزاد شده از آتش (کیلو وات)

r : فاصله از محل آتش‌سوزی (متر)

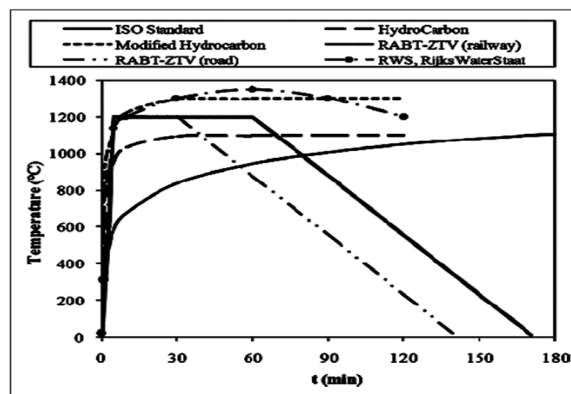
H_f : ارتفاع سقف بالای آتش‌سوزی (متر)

T_{max} : حداکثر دمای لایه دود (سانتی گراد)

T_0 : دمای هوای محیط (سانتی گراد)

۴- معادلات حاکم بر جریان سیال

برای طراحی جریان مغشوش از طرح LES استفاده شد. طرح LES، معادلات ناحیه جریان کامل $\varphi(x, t)$ ، اجزای گسسته $\varphi'(x, t)$ و معادلات در مقیاس ریز شبکه $\varphi''(x, t)$ را به هم ارتباط می‌دهد. استفاده از طرح LES برای معادلات پیوستگی جرم، ممنتوم، انرژی ذرات و جداسازی عوامل وابسته (u, v, w, p, x) به اجزای گسسته و ریز شبکه، معادلات (۹) را به دست می‌دهد [۱۵].



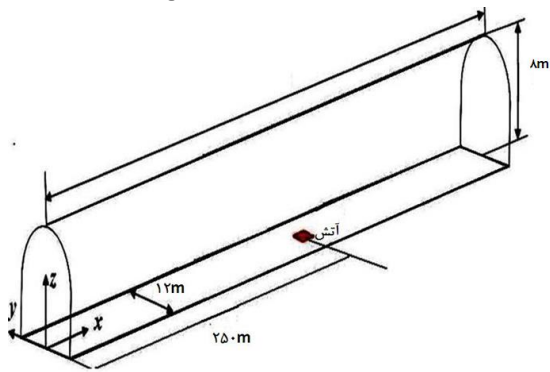
شکل ۳: منحنی‌های هیدروکربن و هیدروکربن اصلاح شده [۱۴].

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{v}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_i} - \rho g_i = \bar{v} \cdot \bar{\tau}_{ij,st}$$

با طرح اسکاگروفسکی ناحیه گسسته $\varphi'(x, t)$ شبیه‌سازی می‌شود و ارتباط بین تانسور تنش رینولدز $\bar{\tau}_{ij,sg_s}$ با آهنگ کرنش بزرگ مقیاس محلی از روابط (۱۰) و (۱۱) به دست می‌آید [۱۵]:

بلوک استفاده شد. در شکل (۴) هندسه این طرح ارایه شده است:



شکل ۴: هندسه و ابعاد طرح ساخته شده

در طرح مذکور، برای محاسبه تنسورهای تنش گرانی، از معادلات جریان مغشوش طرح LES استفاده شد. انتخاب دقیق اندازه سلول برای شبکه بندی طرح، تاثیر بسیار زیادی در دقت نتایج حاصل از این مدل خواهد داشت. برای تعیین دقیق اندازه سلول در مدل سازی عددی از طول مشخصه آتش که از رابطه (۲۳) به دست می آید استفاده می شود [۱۷].

$$D^* = \left[\frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot T \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (23)$$

که در آن:

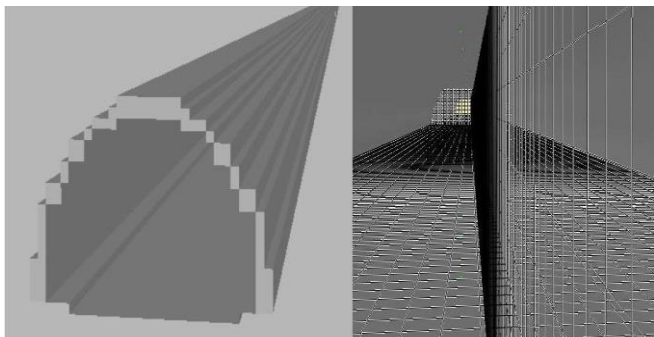
D^* : طول مشخصه آتش (متر)

Q : آهنگ گرمای آزاد شده از آتش (وات)

C_p : ظرفیت گرمای ویژه هوای محیط

T و ρ : دما و چگالی هوای اطراف

اگر اندازه سلول $D^*/10$ باشد [۱۷] در آن صورت طرح LES نیمرخ سرعت و دما را با دقت بالایی ارایه می دهد. برای آتش سوزی با اندازه ۱۰۰ مگاوات $D^*/8.5$ متر به دست آمد $D^*/10$ با ۵۰ سانتی متر برابر است که از آن برای شبکه بندی طرح استفاده شد.



شکل ۵: شبکه بندی طرح ساخته شده

هیپتان به عنوان منبع سوخت آتش انتخاب شد که به ازای واحد جرم خود ۰/۱ موناوکسید کربن و ۰/۳۷ دوده در فضای

محاسباتی، تشخیص ناحیه تحت کنترل ترکیب مانند دوده و CO بسیار مشکل است. فرآیند احتراق با استفاده از طرح شکست ادی شبیه سازی می شود در این روش آهنگ واکنش \dot{W}_{CO} و $\dot{W}_{C_xH_y}$ از رابطه (۱۷) و (۱۸) به دست می آید [۱۶].

$$\dot{W}_{C_xH_y} = \frac{d \rho Y_{C_xH_y}}{dt} - \rho \tau_{mix} \min \left(Y_{C_xH_y}, \frac{Y_{O_2}}{v_1^*} \right) \quad (17)$$

$$\dot{W}_{CO} = \frac{d \rho Y_{CO}}{dt} - \rho \tau_{mix} \min \left(Y_{CO}, \frac{Y_{O_2}}{v_2} \right) \quad (18)$$

زوال جریان مغشوش و انتقال ممتنم اولیه با گردهای انرژی بزرگ مقیاس و بردار زمانی τ_{mix} به صورت رابطه (۱۹) ارتباط دارد [۱۶].

$$\tau_{mix} \cong C_{EBU} \cdot \frac{\varepsilon}{k} \quad (19)$$

که در آن C_{EBU} ثابت تجربی در طرح شکست ادی و برابر با ۴ است. با استفاده از گرانیوی گردهای μ_t و طول مقیاس Δ در مقیاس گسسته، انرژی جنبشی توربولانس k و آهنگ زوال انرژی جنبشی ε از معادله (۲۰) به دست می آید [۱۶]:

$$k = \left(\frac{\mu_t}{C_\mu \rho \Delta} \right)^2, \quad \varepsilon = C_\varepsilon \frac{k}{2\Delta} \quad (20)$$

که در آن: C_μ و C_ε ، ثوابت چرخشی برابر با ۰/۸۵۶ و ۰/۸۴۵ (واحد) می باشند. آهنگ اکسیژن مورد نیاز برابر با \dot{W}_{O_2} و آهنگ تولید موناوکسید کربن \dot{S}_{CO} در حالتی که دو نوع سوخت در حال احتراق باشد از رابطه (۲۱) به دست می آید [۱۶].

$$\dot{S}_{CO} = \dot{W}_{CO} - \frac{28}{12} f_C \dot{W}_{C_xH_y} \quad (21)$$

$$\dot{W}_{O_2} = v_1^* \dot{W}_{C_xH_y} + v_2 \dot{W}_{CO}$$

آهنگ گرمای تولید شده ارتباط مستقیمی با آهنگ اکسیژن مصرفی به صورت رابطه (۲۲) دارد [۱۶]:

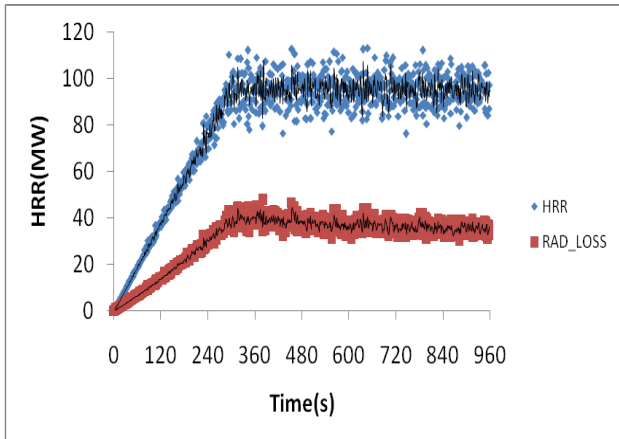
$$\dot{q}_c = -H_0 \dot{W}_{O_2} \quad (22)$$

که در آن: H_0 انرژی آزاد شده به ازای واحد جرم اکسیژن که با- $\frac{kg}{kg}$ ۰/۱۳ برابر است.

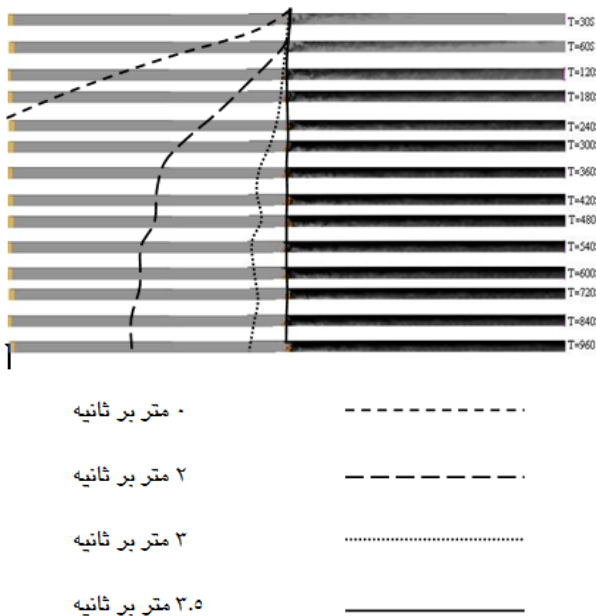
۵- طراحی عددی

در این مقاله، نتایج یک آتش سوزی فرضی در تونل البرز واقع در آزادراه تهران - شمال، به کمک نرم افزار عددی FDS بررسی شده است. طرح ساخته شده ۵۰۰ متر طول، ۱۲ متر پهنا و ۸ متر ارتفاع دارد و برای ساخت هندسه آن از روش چند

هوای درون تونل با فشار استاتیکی دود برابرشود. در این حالت عقب‌زدگی دود به طور کامل کنترل می‌شود(سرعت ۳/۵ متر در ثانیه).



شکل ۶: آهنگ گرمای آزاد شده از آتش‌سوزی با اندازه ۱۰۰ مگاوات درون تونل البرز



شکل ۷- گسترش دود درون تونل البرز نسبت به زمان در سرعت جریان های مختلف

در شکل‌های (۸) تا (۱۴)، رشد دمای دود در زیر سقف تونل، در فواصل مختلف از محل آتش‌سوزی و در سرعت جریان‌های طراحی نسبت به زمان باهم مقایسه شده‌است. در محل آتش‌سوزی بیشترین دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان صفر روی می‌دهد و در عرض ۳۰۰ ثانیه به بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با افزایش سرعت جریان درون تونل به دلیل افزایش اختلاط و انتقال حرارت بین گاز گرم با هوای سرد اطراف، دمای لایه دود کاهش می‌یابد تا

محاسباتی تولید می‌نماید. آتش به صورت وابسته با زمان طراحی شد که در زمان ۳۰۰ ثانیه از اندازه ۰ به ۱۰۰ مگاوات با ضریب رشد سریع توسعه می‌یابد در شکل (۶) آهنگ گرمای آزاد شده و تابشی ارایه شده است.

۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

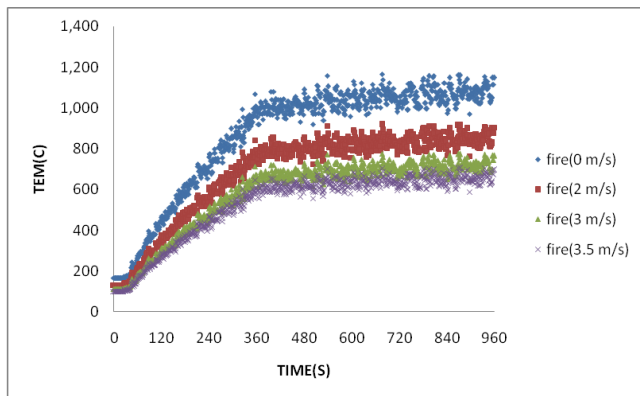
۶-۱- آهنگ گرمای آزاد شده

در شکل (۶) آهنگ گرمای آزاد شده از آتش با اندازه ۱۰۰ مگاوات درون تونل البرز ارایه شده‌است. با توجه به شکل (۶)، ۳۰۰ ثانیه پس از شروع آتش‌سوزی، اندازه آتش از مقدار ۰ به ۱۰۰ مگاوات می‌رسد و در این مقدار ثابت باقی می‌ماند. همچنین تابش از آتش نیز پس از ۳۰۰ ثانیه به مقدار بیشینه ۴۰ تا ۴۰ مگاوات می‌رسد بنابراین بیش‌ترین تابش حاصل از آتش‌سوزی ۱۰۰ مگاواتی درون تونل البرز ۳۰ تا ۴۰ درصد اندازه آتش-سوزی است که این امر با نتایج حاصل از آزمایش‌های بزرگ مقیاس برج‌های خوانی دارد [۱۴].

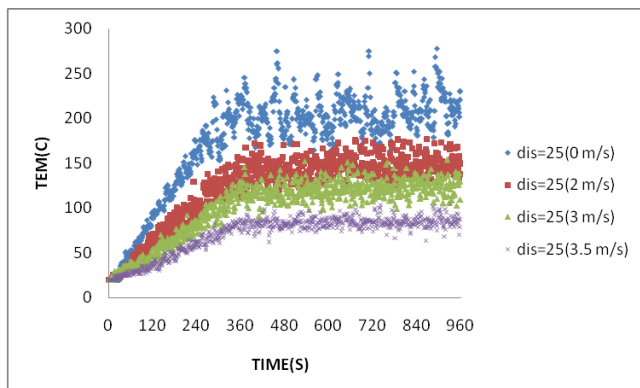
۶-۲- گسترش دود درون تونل

در شکل (۷) عقب‌زدگی دود در امتداد محور تونل نسبت به زمان در سرعت جریان ۳/۵ متر در ثانیه ارایه و مرز عقب-زدگی در سایر سرعت‌ها بروی آن مشخص شد. حین آتش-سوزی درون تونل، دود حاصل از آتش به سقف تونل برخورد نموده و در اثر نیروی شناوری گاز گرم در بالا و پائین‌دست محل آتش‌سوزی در زیر سقف و در امتداد محور تونل گسترش می‌یابد تا اینکه به دلیل اختلاط دود با هوای سرد اطراف و انتقال حرارت بین لایه دود و سقف بتدریج دمای دود کاهش می‌یابد و از این پس گسترش دود در بالادست محل آتش-سوزی به کندی انجام می‌شود. زمانی که نیروی شناوری گاز گرم و جریان هوای مخالف در بالادست محل آتش‌سوزی برابر شد، گسترش دود در بالا دست محل آتش‌سوزی متوقف شده در این زمان اختلاف فشار استاتیکی دود پیش‌رونده با فشار دینامیکی جریان هوای تونل برابر است [۱۸]. در سرعت جریان صفر، به دلیل نبود جریان مخالف در برابر حرکت دود درون تونل، آهنگ زوال نیروی شناوری دود به کندی انجام می‌شود و دود مسافت بیشتری را در بالا دست محل آتش‌سوزی طی می‌کند اما با افزایش سرعت جریان درون تونل (سرعت ۲ و ۳ متر در ثانیه)، به دلیل اختلاط گاز گرم و سرد دمای لایه دود، نیروی شناوری و فاصله عقب‌زدگی دود کاهش می‌یابد تا اینکه در سرعت جریان ۳/۵ متر در ثانیه، فشار دینامیکی جریان

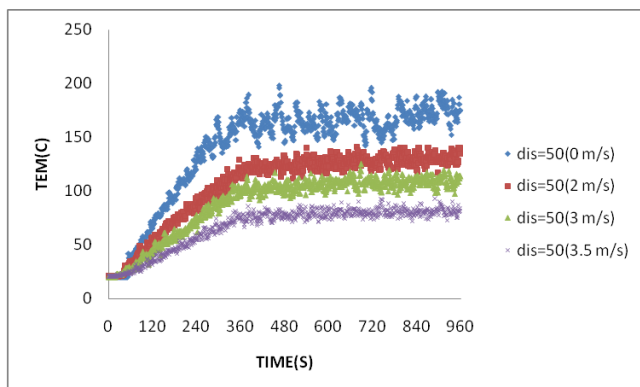
حاصل از آتش‌سوزی در فضای آزاد به طور تقریبی برابر است اما برای سرعت تهویه بی‌بعد بیش از ۰/۱۹، با افزایش سرعت جریان درون تونل، بیشینه دمای دود در زیر سقف تونل کاهش می‌یابد [۱۹].



شکل ۸: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: محل آتش‌سوزی



شکل ۹: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۲۵ متری پایین دست آتش‌سوزی

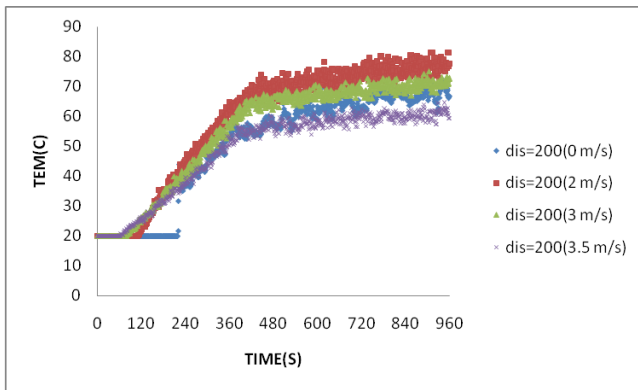


شکل ۱۰: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۵۰ متری پایین دست آتش‌سوزی

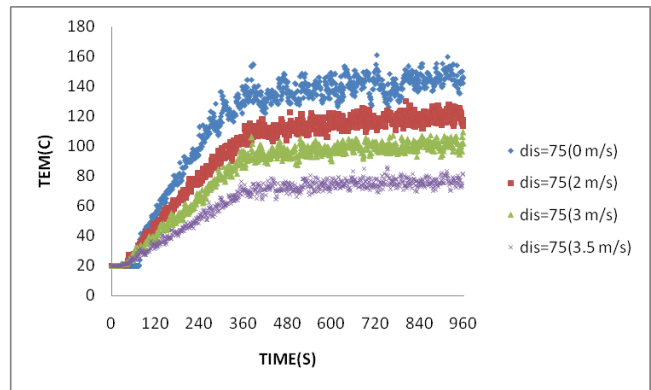
اینکه در سرعت جریان ۳/۵ متر در ثانیه، دمای لایه دود در محل آتش‌سوزی بین ۶۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد (شکل ۸). با افزایش فاصله از محل آتش‌سوزی و سرعت جریان درون تونل، اختلاط گازگرم با هوای سرد اطراف افزایش یافته و انرژی رسیده از منبع گرما به لایه دود کاهش می‌یابد از این رو دمای لایه دود کم می‌شود [۱۸]. اینگاسون و همکاران دمای دود زیر سقف تونل را با توجه به اندازه سرعت تهویه به دو ناحیه تقسیم نمودند اگر سرعت تهویه بی‌بعد (نسبت سرعت جریان به قطر هیدرولیکی تونل) کمتر از ۰/۱۹ باشد (برای تونل البرز سرعت جریان کمتر از ۱/۸ متر در ثانیه) دمای بیشینه دود مستقل از سرعت جریان هوا درون تونل است و با دمای گاز حاصل از آتش‌سوزی در فضای آزاد به طور تقریبی برابر بوده اما در صورتی که سرعت تهویه بی‌بعد بیش از ۰/۱۹ باشد با افزایش سرعت جریان درون تونل، بیشینه دمای دود در زیر سقف تونل کاهش می‌یابد [۱۹]. با توجه به موارد یادشده، دمای لایه دود در سرعت جریان صفر، مستقل از سرعت جریان است اما با افزایش فاصله از محل آتش‌سوزی، دمای دود به دلیل دوری از منبع گرما به تدریج کاهش یافته تا این که در فاصله ۲۰۰ متری به بیشینه دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با افزایش سرعت جریان درون تونل، دمای لایه دود در زیر سقف تونل کاهش می‌یابد تا این که در فاصله ۲۰۰ متری دمای لایه دود در سرعت جریان‌های ۰، ۲، ۳ تقریباً برابر می‌شود (شکل ۱۴) این امر نشان‌گر از بین رفتن لایه‌بندی دود و کاهش تاثیر سرعت جریان بر دمای لایه دود در زیر سقف تونل است. روند این تغییرات در شکل‌های (۸) تا (۱۴) نشان داده شده است.

۷- اعتبارسنجی نتایج

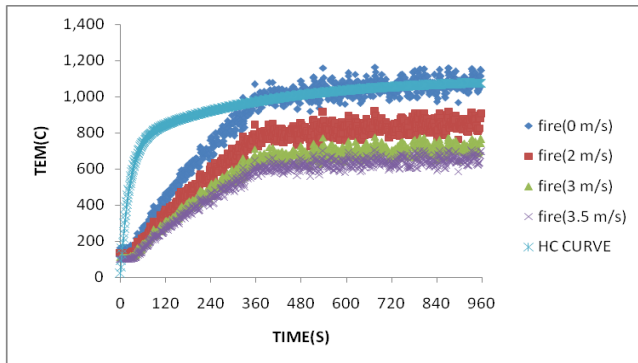
در شکل (۱۵) دمای لایه دود در سرعت‌های مختلف در محل آتش‌سوزی با منحنی هیدروکربن مقایسه شد. با توجه به شکل، در سرعت جریان صفر، پس از ۳۰۰ ثانیه همگرایی بین دمای حاصل از طراحی با منحنی هیدروکربن مناسب است اما در سرعت جریان‌های دیگر، اختلاف بین نتایج حاصل از مدل سازی با منحنی هیدروکربن زیاد است. این امر دو علت دارد؛ یکی آنکه منحنی هیدروکربن برای مواد با قابلیت احتراق بالا در فضای باز ارایه شده است و این مواد در زمان کمی به دمای بیشینه خود می‌رسند و دیگر آنکه اثر سرعت جریان بر بیشینه دمای لایه دود است همان‌طور که در بند ۵ گفته شد، برای سرعت تهویه بی‌بعد کمتر از ۰/۱۹ دمای بیشینه دود مستقل از سرعت جریان هوای درون تونل و با دمای گاز



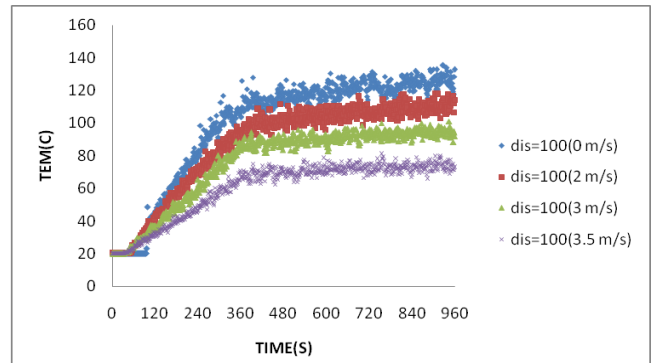
شکل ۱۴: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۲۰۰ متری پایین‌دست آتش‌سوزی



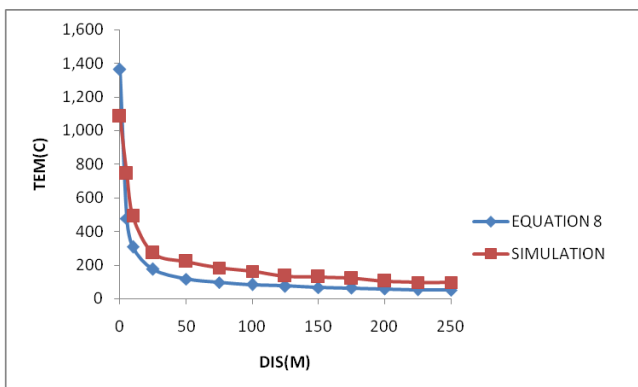
شکل ۱۱: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۷۵ متری پایین‌دست آتش‌سوزی



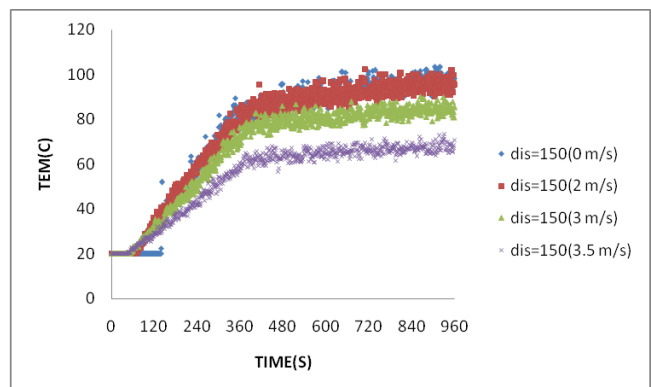
شکل ۱۵: مقایسه نتایج حاصل از طراحی با منحنی هیدرو کربن



شکل ۱۲: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۱۰۰ متری پایین‌دست آتش‌سوزی



شکل ۱۶: اعتبارسنجی دمای دود در زیر سقف و در امتداد محور تونل



شکل ۱۳: مقایسه دمای دود در زیر سقف تونل در سرعت جریان‌های مختلف نسبت به زمان: در فاصله ۱۵۰ متری پایین‌دست آتش‌سوزی

باتوجه به رابطه اوکا و اتکینسون (روابط (۱) تا (۴)) برای آتش‌سوزی با اندازه ۱۰۰ مگاوات، تونل به ارتفاع ۸ متر و سطح مقطع ۹۵ مترمربع، سرعت جریان ۱ متر در ثانیه و دمای هوای محیط ۲۷ درجه سانتی‌گراد سرعت بحرانی ۳/۳ متر در ثانیه به دست می‌آید که هم‌خوانی مناسبی با نتایج حاصل از طراحی عددی دارد. بنابراین برای جلوگیری از عقب‌زدگی دود حاصل از آتش‌سوزی با اندازه ۱۰۰ مگا وات درون تونل البرز سرعت ۳/۵ متر در ثانیه پیشنهاد می‌شود.

در شکل (۱۶) دمای لایه دود در زیر سقف و در امتداد محور تونل با رابطه (۱)، در سرعت جریان صفر مقایسه شده است با توجه به شکل (۱۶)، در فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر، نتایج حاصل از طراحی ۵۰ تا ۸۰ درجه بیشتر از مقدار حاصل از رابطه تجربی است اما با افزایش فاصله، این مقدار اختلاف کاهش یافته تا اینکه در فاصله ۲۰۰ متری مقدار این اختلاف به کمتر ۳۰ درجه سانتی‌گراد برسد.

۸- نتیجه گیری

کاربران درون تونل قبل از رسیدن نیروی امدادی به کمترین حد می‌رسد. با توجه به نتایج طراحی عددی و روابط تجربی، برای آتش‌سوزی درون تونل البرز با اندازه ۱۰۰ مگا وات، سرعت‌بحرانی ۳/۵ متر در ثانیه پیشنهاد می‌شود. این سرعت امکان خروج کاربران و انجام عملیات نجات را در کم‌ترین زمان ممکن فراهم می‌سازد.

سرعت‌بحرانی عاملی بازدارنده است که امکان خروج کاربران قبل از رسیدن نیروی امداد را فراهم می‌آورد. انتخاب سرعت بالا، دلیل بر افزایش ایمنی درون تونل نیست زیرا سرعت بالا، باعث کاهش دمای لایه دود در بالادست آتش‌سوزی و از بین رفتن لایه‌بندی گاز گرم می‌شود. بنابراین امکان خروج

۹- منابع

- [۱۰] Brinckerhoff.; 'Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program', Comprehensive Test Report. Massachusetts Highway Department, pp1-90,1995.
- [۱۱] Jojo S.M.; Chow H.; "Large eddy simulations for studying tunnel smoke ventilation" Tunnelling and Underground Space Technology, pp225-235,2004.
- [۱۲] Hu L.h.; "On the maximum smoke temperature under the ceiling in tunnel fires" Tunnelling and Underground Space Technology, pp45-54,2005.
- [۱۳] Gao P.Z.; Liu S.L.; Chow W.K.; Fong N.K.; "Large eddy simulations for studying tunnel smoke ventilation" Tunnelling and Underground Space Technology, pp.
- [۱۴] Lonnermark A.; "on the characteristic of fires in tunnels." Phd thesis lund institute of technology, pp 1-122,2005.
- [۱۵] Wang H.Y.; "Prediction of soot and carbonmon oxide production in a ventilated tunnel fire by using acomputer simulation" Fire Safety Journal, pp 394-406,2009.
- [۱۶] Lin C.; Chuah Y.k.; "A study on long tunnel smoke extraction strategies by numerical simulation". Tunnelling and Underground Space Technology, pp 522-530,2008 .
- [۱۷] Wang Y.; Zhu D.; " Full-scale experiment research and theoretical study for fires in tunnels with roof openings" Fire Safety Journal , pp 339-348,2009.235,2004.
- [۱۸] Li Y. ; Lei B. ; Ingason H. ;" The maximum temperature of buoyancy-driven smoke flow beneath the ceiling in tunnel fires. Fire Safety Journal , pp 204-210,2011.
- [۱۹] Li Y. ; Lei B. ; Ingason H. ;" The maximum temperature of buoyancy-driven smoke flow beneath the ceiling in tunnel fires. Fire Safety Journal , pp 204-210,2011.
- [۱] نیکنام، بهزاد؛ طراحی سیستم تهویه تونل البرز(آزاد راه تهران شمال)؛ ص. ۱-۱۳۰؛ پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ تهران؛ ۱۳۸۸.
- [۲] Vuilleumier F.; Weatherill A.; Crausaz B.; "Safety aspects of railway androad tunnel: example of the Lotschberg railway tunnel and Mont-Blancroad tunnel", Tunnelling and Underground Space Technology.
- [۳] Hu L.H.; Huo R.; Chow W.K.; " Studies on buoyancy-driven back-layering flow in tunnel fires", Experimental Thermal and Fluid Science , pp1468-1483,2008.
- [۴] Jojo S.M. Li; Chow W.K.; "Numerical studies on performance evaluation of tunnel ventilation safety systems", Tunnelling and Underground Space Technology, pp 435-452,2003.577-586,2004.
- [۵] Kurioka H.; Oka Y.; Satoh H.; Sugawa O.; "Fire Properties in near field of square fire source with longitudinal ventilation in tunnels" Fire Safety Journal, pp 319-340,2003.
- [۶] Danziger N.H.; Kennedy W.D.; "Longitudinal ventilation analysis for the Glen wood canyon tunnels" Proceedings of the Fourth International Symposium Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, pp 169-186,1982.
- [۷] Oka Y.; Atkinson G.T.; " Control of smoke flow in tunnel fires", Fire Safety Journal, PP 305-332,1995.
- [۸] Saito N.; "Experimental Study on Fire Behavior in a Wind Tunnel with a Reduced Scale Model", Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, pp 303-310,1995.
- [۹] EUREKA-Project EU Firetun.; " Fires in Transport Tunnels:Report on Full-Scale Tests" Du` sseldorf, pp 75-100,1995.

