

# طراحی سیستم تهویه تونل و مقابله با خطرات آتش در خط یک قطار شهری مشهد

ياسر مصری\*<sup>۱</sup>، علی کیانی‌فر<sup>۲</sup>، مسعود مروارید<sup>۳</sup>

پست الکترونیکی: yaser1479@gmail.com

پست الکترونیکی: a\_kianifar@yahoo.com

پست الکترونیکی: masoud.mor@gmail.com

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۳</sup> کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

\* نویسنده پاسخگو

تمامی شفت‌ها توسط دمپر به تونل متصل شده‌اند. دمپرها زمانی باز هستند که سیستم کنترل اجازه باز بودن آن‌ها برای ارتباط با اتمسفر را داده باشد (شرایط عادی) و در حالتی بسته هستند که فن‌ها هوای مورد نیاز را به تونل جانی بدمند (حالت انباشته).  
عموما هر ایستگاه دارای دو اتاق فن می‌باشد که به وسیله دمپره‌های مختص خود ایزوله شده‌است. زمانی که فن خاموش است دمپر بسته می‌باشد.

## ۱-۱ استراتژی خروج اضطراری مسافران در تونل

### دو مسیر

گذرگاه و محل عبور امن برای خروج اضطراری مسافران و نیز گروه آتش‌نشان دو مسئله‌ی عمده در طراحی سیستم هستند. در هنگام آتش‌سوزی، سیستم تهویه فعال می‌شود و دود را در خلاف جهت حرکت (خروجی) مسافران هدایت می‌کند. بسته به اینکه آتش سوزی داخل یا خارج قطار اتفاق بیفتد، مسافران از داخل قطار یا از گذرگاه خارج قطار (گذرگاه در نظر گرفته شده در تونل) به سمت خروجی می‌روند. حفاظت از سلامتی مسافران بستگی به توانایی تخلیه مسافران قبل از وقوع خطر جدی دارد. به طور معمول زمان مورد نیاز برای خروج شامل زمان تشخیص حادثه، زمان واکنش و زمان خروج از محل وقوع حادثه است.

زمان تشخیص به زمان وقوع حادثه تا زمان تشخیص حادثه گفته می‌شود. زمان واکنش به بازه زمانی روشن شدن آژیرهای صوتی تا شروع حرکت مسافران برای فرار از محل حادثه گفته می‌شود. مجموع زمان‌های تشخیص و واکنش، زمان پیش حرکت گفته می‌شود. نهایتاً زمان خروج به زمان تخلیه تونل از مسافر، اتلاق می‌گردد.

در سیستم‌های جدید متروبی، زمان پیش‌حرکت وجود ندارد، زیرا مسافران توسط واگن‌های خودکشی به ایستگاه‌ها برده می‌شوند و عمل تخلیه از آنجا شروع می‌شود. زمان تخلیه بستگی به تعداد درهای خروجی، عرض آنها، مسیر خروجی و همچنین تعداد مسافران بستگی دارد. به طور میانگین تعداد مسافران در هر واگن ۲۴۰ نفر می‌باشد. [1]

## چکیده

مقاله حاضر به بررسی تهویه تونل‌های مترو جهت انتخاب ادوات و مقابله با خطرات آتش، در تونل خط یک قطار شهری مشهد پرداخته‌است. برای تحلیل عددی از نرم افزار فلوئنت استفاده شده‌است و با توجه به حداقل نیاز سیستم تهویه در هر سناریو و به کمک آزمون و خطای متعدد، حالت بهینه‌ی دستگاه‌ها، برای کل تونل بدست آمده و نتایج با ادوات موجود مقایسه شده‌است. روش اعتبار سنجی، بر اساس استانداردهای موجود در تونل‌های مترو می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تهویه تونل - دود - ادوات تهویه - سناریوهای وقوع حادثه

## ۱ مقدمه

عامل کلیدی در طراحی سیستم تهویه‌ی تونل این است که دو مسیر (رفت و برگشت) بدون وجود دیواری که آن‌ها را از هم جدا کند در یک تونل قرار دارند که این امر طراحی سیستم تهویه در شرایط عادی، هوای بیش از حد متراکم (congested) و اضطراری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در هر دو تونل یک مسیر و دو مسیر برای اینکه پخش و گسترش آتش و دود کنترل شود باید به یک سرعت بحرانی یکسان رسید. سیستم‌های متنوعی برای تهویه موجود است که قابل اجرا در سیستم‌های زیرزمینی هستند. این سیستم‌ها عبارتند از: نوع باز، نوع بسته، سرمایه‌ش در مرکز تونل، تهویه شبه معکوس، استفاده از جت فن‌ها، استفاده از شفت میانی یا شفت‌های جانبی و ...

گرمای تولیدی توسط قطار در داخل تونل به طور طبیعی توسط خاصیت پیستونی دفع می‌شود. دو شفت در هر انتهای ایستگاه مورد نیاز است. ماکزیمم فاصله دو ایستگاه در تونل ۱۱۷۰ متر می‌باشد، بنابراین نیازی به شفت میانی نیست. این شفت‌ها که به فشار اتمسفر متصل‌اند محل ورود و خروج هوای تونل هستند و همچنین هوای مورد نیاز فن‌ها را تأمین می‌کنند.

- شرایط راحتی یک فرد بستگی به نرخ اتلاف گرمایی بدن او دارد که به دما، رطوبت و سرعت هوای گذرنده از بدن او بستگی دارد. گرمای بدن توسط تعریق، همرفت و تابش به بیرون منتقل می‌شود. تعریق در دماهای بالا رخ می‌دهد. - این مقادیر عظیم گرما که در تونل زیرزمینی ایجاد می‌گردد، با یک تهویه ی ساده قابل برداشته شدن نیست، بخصوص که دما و رطوبت بیرون بالا باشد. لازم به ذکر است که در زمستان نیازی به گرمایش تونل نیست، زیرا همین گرماهای تولیدی برای گرمایش ایستگاه‌ها کافی می‌باشد.[3]

#### ۴-۱ تاثیرات دود بر انسان

محصولات احتراق بسیار متنوع هستند. به طور کلی تمامی محصولات احتراق را دود مخلوط (Mixture Smoke) می‌نامیم. دود تولید شده توسط آتش شامل مواد فرار، ذرات دوده، سوخت نسوخته یا نیم سوز و مخلوطی از هوای داغ و گازهای سمی است. در حالی که غلظت و ترکیب شیمیایی دود تولید شده توسط آتش به نوع سوخت بستگی دارد، حجم کلی دود تولیدی بستگی به اندازه فیزیکی آتش و محدوده آتش، مخصوصاً ارتفاع سقف دارد.

اجزائی از دود آتش که برای زندگی انسان تهدید به شمار می‌آیند عبارتند از:

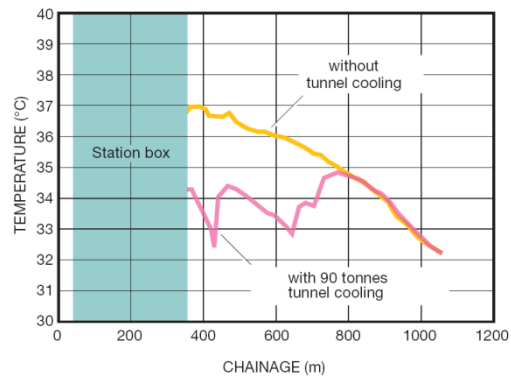
- ۱- تیرگی دود که باعث کاهش دید می‌شود.
  - ۲- گازها سمی
  - ۳- گرما
- شرکت قطارهای زیر زمینی لندن دستورالعمل‌هایی برای مینیمم کردن خطر آتش سوزی در قطارهای زیر زمینی اش ارائه داده‌است:
- ۱- اجتناب از استفاده از مواد قابل اشتعال
  - ۲- اجتناب از منابع احتراق - مهمترین منابع احتراق جرقه، ترمزهای چرخ‌ها و گرم شدن بیش از حد هستند
  - ۳- خاموش کردن آتش توسعه یافته
  - ۴- محدود کردن آتش

#### ۵-۱ مینیمم کردن زمان تخلیه مسافران

نمودار زیر میزان حرارت آزاد شده از آتش را بر حسب زمان در دو حالت بدون تهویه و حالت تهویه با سرعت ۶ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. پیک دوم نمودار احتمالاً به این دلیل است که تمام کوپه پس از این مدت زمان در آتش مشتعل می‌شود.[4]

#### ۲-۱ سردسازی تونل

ملاحظه‌ی دیگر در تونل‌های دارای دو خط این است که چرخش هوا به خاطر حرکت قطارها در تونل سبب بالا رفتن دما به طور قابل ملاحظه‌ای می‌شود. آنالیزها نشان می‌دهد که خاصیت پیستونی ایجاد شده در اثر حرکت قطارها، نمی‌تواند سرمایه‌ی مناسبی داخل تونل برای کارکرد نرمال ایجاد کند. با این وجود تلاش‌هایی برای بالا بردن بازدهی خارج کردن گرما از تونل به وسیله‌ی بیشتر کردن تهویه‌ی مکانیکی و بزرگ کردن شفت‌های عمودی انجام شده‌است که نتایج مقایسه‌ای آن در شکل زیر آمده‌است.



نمودار ۱-مقایسه دمای تونل بر حسب فاصله از ایستگاه

با در نظر گرفتن سرمای‌ش تونل و بدون در نظر گرفتن آن

یک سیستم حجم ثابت هوایی، برای سرمای‌ش تونل در نظر گرفته شده‌است. ایستگاه‌های قطار شهری مشهد از سیستم‌های آب‌خنک که واحدهای کنترل هوا را تغذیه می‌کنند بهره می‌برند که هوای سرد را به طرف تونل در سر تا سر ایستگاه توزیع می‌کنند. سیستم سرمای‌ش توسط سنسورهای خطی گرمایی که دما را حس می‌کنند کنترل می‌شود که یک فیدبک به اتاق کنترل ایستگاه برای انجام عکس‌العمل لازم می‌فرستد.[2]

#### ۳-۱ دلایل نیاز به سیستم تهویه

- تامین هوای تازه برای نیازهای فیزیولوژیکی مسافران
- گرفتن گرمای بدن و گازهای مضر مثل کربن دی‌اکسید که حین نفس کشیدن خارج می‌شود.
- جلوگیری از تجمع بخار آب تولید شده توسط تعریق و آب نفوذی از ابرواشر
- خارج کردن مقدار زیادی از حرارت ناشی از کارکرد موتور قطار، گرمای خاک، واحد ترمز، روشنایی و گرمای حاصل از کارکرد فن و ابرواشر

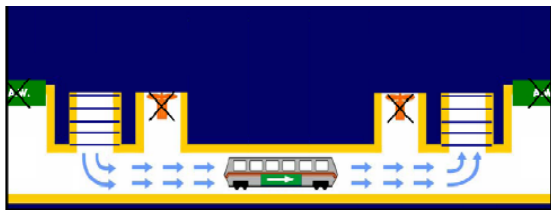
آزمایی شده‌اند. با توجه به طول تقریباً یکسان بین دو ایستگاه، محاسبات بر اساس طولانی‌ترین فاصله انجام شده و ادوات مورد نیاز با توجه به کاتالوگ آنها انتخاب می‌شوند.

## ۲ سناریوهای مقابله با خطرات

با توجه به فاصله کوتاه بین ایستگاه‌ها و خروجی اضطراری و یا بین دو خروجی اضطراری به طور کلی اولویت در نظر گرفته شده برای تنظیم این سناریو این است که هنگام وقوع حادثه، دود به سرعت از تونل خارج شود و خروج مسافران در جهتی باشد که حتی الامکان نیازی به عبور از محل حادثه نباشد.

### ۱-۲ وضعیت عادی

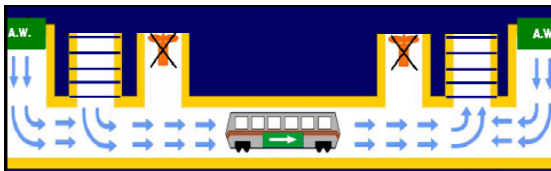
وضعیت زمانی است که قطارها طبق برنامه زمانبندی شده در حال حرکت هستند. منبع اصلی تهویه تونل در وضعیت عادی توسط حرکت پیستونی قطارها از طریق دمپرها دفع می‌شود. فن‌ها و ایرواشرها خاموش هستند.



شکل ۱- شمای کلی سناریو در وضعیت عادی

### ۲-۲ وضعیت انباشته

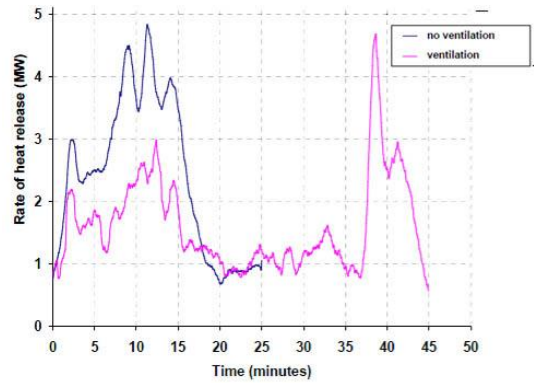
این وضعیت زمانی به وجود می‌آید که تأخیرات زیادی در حرکت قطارها صورت می‌گیرد. بدون تهویه اجباری، دما در تونل به میزان زیادی بالا می‌رود و برای مسافران در ایستگاه‌ها ناخوشایند خواهد بود. در حین وضعیت انباشته عمل تهویه توسط عمل push-pull که در نتیجه کارکرد فن‌ها در حالت‌های مکش و دمش است، انجام می‌شود.



شکل ۲- شمای کلی سناریو در وضعیت انباشته

### ۳-۲ وضعیت اضطراری

وضعیت اضطراری زمانی است که حادثه‌ای مانند آتش‌سوزی اتفاق بیفتد و در تونل یا ایستگاه تولید دود شود.



نمودار ۲- بررسی نرخ حرارت آزاد شده از آتش در دو حالت تهویه و بدون وجود تهویه مکانیکی

در طراحی فن‌ها این تجهیزات باید طوری تهیه شوند که توانایی کارکرد در شرایطی نظیر خارج کردن گازهای بسیار داغ و دود را از داخل تونل داشته باشند. علیرغم عدم وجود شرایط استاندارد مشخصی در جهان برای این امر کمیته ISO/TC 21/SC11 استاندارد را برای این زمینه تدوین کرده‌است.

- ۱- تسهیل خروج مطمئن مسافران و حیوانات از محل حادثه
- ۲- موارد حفاظتی
- ۳- توانایی کشف آتش‌سوزی در مراحل اولیه

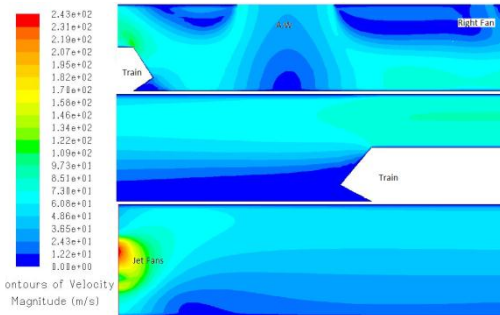
که شامل ۵ کلاس از فن‌ها می‌باشد که تحت شرایط آزمایشی زیر، مقاوم بودن آنها تایید شده‌است.

- F200: در دمای ثابت 200C به مدت ۱۲۰ دقیقه
- F300: در دمای ثابت 300C به مدت ۶۰ دقیقه
- F400: در دمای ثابت 400C به مدت ۹۰ یا ۱۲۰ دقیقه
- F600: در دمای ثابت 600C به مدت ۶۰ دقیقه
- F842: در دمای ثابت 842C به مدت ۳۰ دقیقه [5]

اهداف حفاظتی فرصت‌های نجات برای مسافران را نیز می‌توان در سه بخش زیر طبقه‌بندی کرد:

- ۱- حفظ توانایی قطار برای ادامه‌ی حرکت
- ۲- حفظ یک لایه هوا با حداقل میزان دود در بالای گذرگاه
- ۳- آبرودینامیک قطارهای بهم رسیده و حفاظت روانی [2]

در این مقاله به بررسی سیستم تهویه تونل در خط شماره یک قطار شهری مشهد پرداخته شده‌است، سعی بر آن بوده است که ابتدا با توجه به استانداردهای جهانی سیستم تهویه را تحلیل کرده و با آنچه در واقع انجام پذیرفته، مقایسه نماید و برای بهتر شدن کار، توصیه‌هایی انجام شود. روند اجرای پروژه حاضر با انجام پژوهش‌های میدانی در محل خط یک قطار شهری مشهد انجام شده‌است. این کار تحقیقی به کمک نرم افزار FLUENT انجام پذیرفته و نتایج بدست آمده راستی



شکل ۴- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

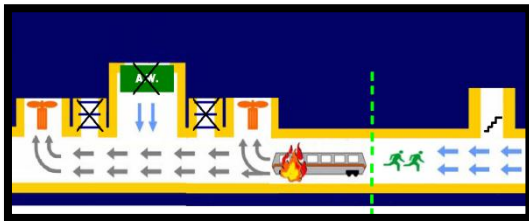
محل فرار مسافران دارای استاندارد سرعت بوده و همچنین مسیر واضحی برای دید مسافران ایجاد شده است.

۳-۱-۲ حادثه بین ایستگاه و خروجی اضطراری اول :

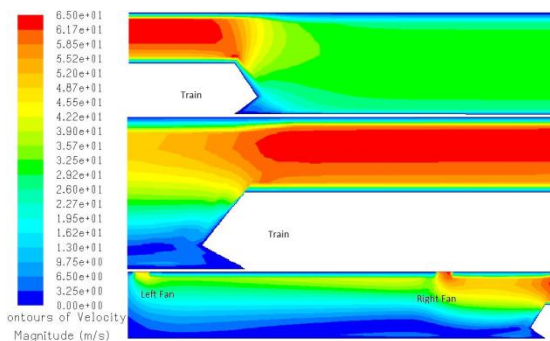
- حادثه نزدیک به ایستگاه :

الف- حادثه در ابتدای قطار :

در این حالت باید خروجی اضطراری باز شود و مسافران به سمت آن هدایت شوند. فن های ایستگاه روشن شوند و هوای داخل تونل را خارج کنند و دمپرهاى آنها بسته و ایرواشر خاموش باشد. فن های ایستگاه مجاور باید در حالت دمند روشن گردند و دمپرهاى آنها بسته و ایرواشر آن باید روشن شود.



شکل ۵- حادثه بین ایستگاه و خروجی اضطراری اول، نزدیک به ایستگاه در ابتدای قطار



شکل ۶- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

محل فرار مسافران دارای استاندارد سرعت بوده و همچنین مسیر واضحی برای دید مسافران ایجاد شده است.

سیستم تهویه ی تونل باید طوری تنظیم شود که حرکت دود را کنترل کند و یک مسیر بدون دود برای تخلیه و خروج مسافران ایجاد کند و همچنین برای مقابله با آتش سودمند باشد. شیوه ی کنترل دود مشابه وضعیت انباشته، جریان هوا را در جهت مخالف حرکت مسافران ایجاد می کند. [4] در بخش بعد جزئیات هر کدام از سناریوها در وضعیت اضطراری مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳ توضیحات در مورد حل عددی

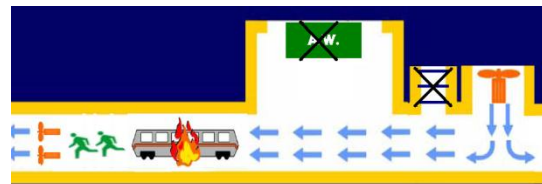
ابتدا مدل شبکه بندی شده تونل را برای حل عددی ایجاد نموده و شرایط هر سناریو با توجه باز و بسته بودن فن ها، ایرواشرها، و دمپرها در نرم افزار فلونت تحلیل شده است. شرایط مرزی - قدرت فن ها و فشار ایرواشرها- در محدوده آن چه عملاً مورد استفاده قرار گرفته، اختیار شده است تا با شرایط طراحی استاندارد مقایسه شده و از صحت عملکرد ادوات در محدوده استاندارد اطمینان حاصل شود. لازم به ذکر است روند استقلال حل از شبکه بندی به دقت انجام شده است.

نتایج بدست آمده از نرم افزار برای سناریوهای مختلف

### ۳-۱-۳ تاپستان :

۳-۱-۱ حادثه بین دهانه تونل و ایستگاه شماره ۱۱ :

در این حالت بدلیل عدم وجود فن و دمپر در ایستگاه شماره ۱۱ و فاصله کوتاه بین ایستگاه و دهانه ی تونل باید جت فن ها روشن شوند تا دود را از تونل خارج نمایند. فن موجود در طرف دیگر ایستگاه نیز بهتر است هوا را به داخل تونل بدمد و دمپر آن بسته و ایر واشر خاموش باشد. مسافران نیز باید از دهانه تونل خارج شوند. البته ذکر این نکته ضروریست که از آنجایی که فاصله وقوع حادثه تا محل دهانه ی تونل حداکثر ۱۰۰ متر می باشد و با توجه به سن مسافران، عدد یک دقیقه برای خروج آنان از تونل منطقی است. لازم است فن ها بعد از این مدت زمان شروع به کار کنند تا زیان بیشتری ناشی از برخورد دود با مسافران ایجاد نشود.



شکل ۳- حادثه بین دهانه ی تونل و ایستگاه شماره ۱۱

ب- حادثه در انتهای قطار :

در این حالت باید مسافران به سمت ایستگاه هدایت گردند. فن‌های ایستگاه روشن شوند و هوا را به داخل تونل بدمند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر روشن گردد. فن‌های ایستگاه مجاور باید در حالت مکنده روشن گردند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن‌ها خاموش شود.



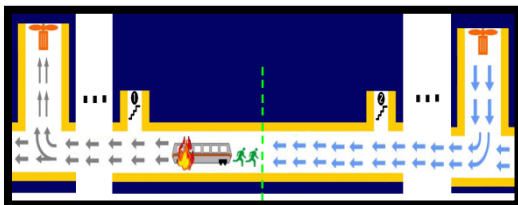
شکل ۱۰- حادثه بین ایستگاه و خروجی اضطراری اول، نزدیک به خروجی اضطراری در انتهای قطار

۳-۱-۳ حادثه بین دو خروجی اضطراری :

- حادثه نزدیک به خروجی اول :

الف- حادثه در ابتدای قطار :

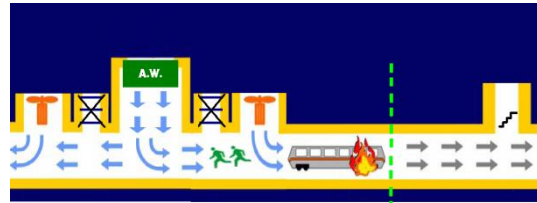
در این حالت باید خروجی اضطراری دوم باز شود و مسافران به سمت آن هدایت شوند. فن‌های ایستگاه نزدیک به خروجی اول روشن شوند و هوای داخل تونل را خارج کنند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر خاموش باشد. فن‌های ایستگاه دیگر باید در حالت دمنده روشن گردند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن‌ها باید روشن شود.



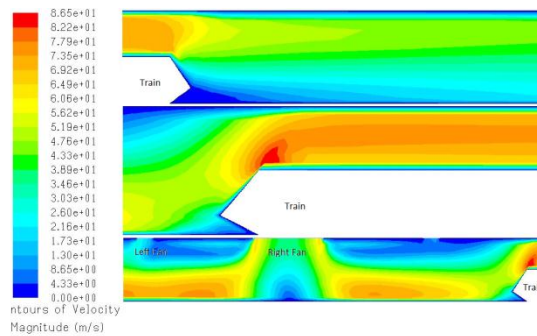
شکل ۱۱- حادثه بین دو خروجی اضطراری، نزدیک به خروجی شماره ۱ در ابتدای قطار

ب- حادثه در انتهای قطار :

در این حالت باید مسافران به سمت ایستگاه هدایت گردند. فن‌های ایستگاه روشن شوند و هوا را به داخل تونل بدمند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر روشن گردد. فن‌های ایستگاه مجاور (سمت راست) باید در حالت مکنده روشن گردند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن‌ها خاموش شود.



شکل ۷- حادثه بین ایستگاه و خروجی اضطراری اول، نزدیک به ایستگاه در انتهای قطار



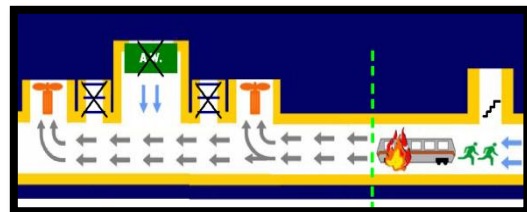
شکل ۸- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

محل فرار مسافران کمی بیشتر از استاندارد سرعت بوده (بدلیل قدرت بالای ایر واشر) اما قابل تحمل بوده و مسیر واضحی برای دید مسافران ایجاد شده است.

- حادثه نزدیک به خروجی اضطراری :

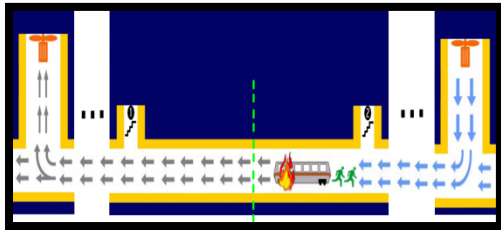
الف- حادثه در ابتدای قطار :

در این حالت باید خروجی اضطراری باز شود و مسافران به سمت آن‌ها هدایت شوند. فن‌های ایستگاه روشن شوند و هوای داخل تونل را خارج کنند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر خاموش باشد. فن‌های ایستگاه مجاور (سمت راست) باید در حالت دمنده روشن گردند و دمپ‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن‌ها نیز باید روشن شود.



شکل ۹- حادثه بین ایستگاه و خروجی اضطراری اول، نزدیک به خروجی اضطراری در ابتدای قطار

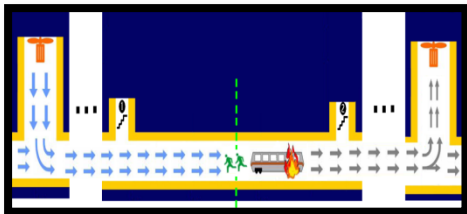




شکل ۱۴ - حادثه بین دو خروجی اضطراری، نزدیک به خروجی شماره ۲ در ابتدای قطار

ب- حادثه در انتهای قطار :

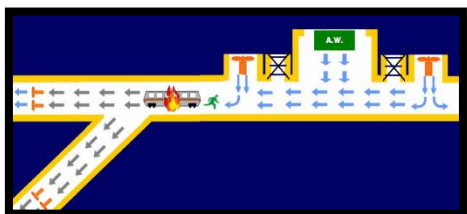
در این حالت باید مسافران به سمت خروجی اول هدایت گردند. فن‌های ایستگاه نزدیک به خروجی اول روشن شوند و هوا را به داخل تونل بدمند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر روشن گردد. فن‌های ایستگاه دیگر باید در حالت مکنده روشن گردند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن خاموش شود.



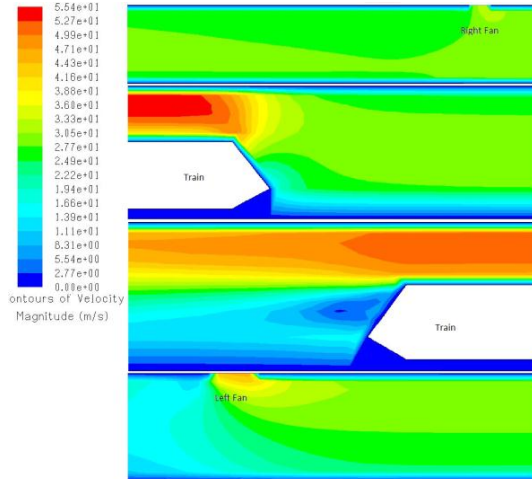
شکل ۱۵ - حادثه بین دو خروجی اضطراری، نزدیک به خروجی شماره ۲ در انتهای قطار

۳-۱-۴ وقوع حادثه بین ایستگاه شماره ۲ و انشعاب :

در این حالت باید فن‌های ایستگاه شماره ۲ شروع به دمیدن هوای تازه به داخل تونل نموده و ایرواشر نیز به این امر کمک می‌کند. دمپره‌های در دو طرف ایستگاه بسته می‌باشند تا هوای دمیده شده از آن‌ها خارج نگردد. مسافران باید به سمت ایستگاه هدایت شوند. جت فن‌ها در هر دو انشعاب باید روشن شوند تا دود را از تونل خارج نمایند.



شکل ۱۶- وقوع حادثه بین ایستگاه شماره ۲ و انشعاب

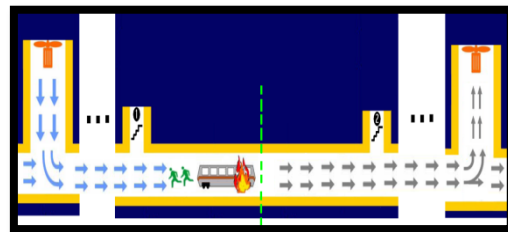


شکل ۱۲- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

محل فرار مسافران دارای استاندارد سرعت بوده و همچنین مسیر واضحی برای دید مسافران ایجاد شده‌است.

ب- حادثه در انتهای قطار :

در این حالت باید مسافران به سمت خروجی اول هدایت گردند. فن‌های ایستگاه نزدیک به خروجی اول روشن شوند و هوا را به داخل تونل بدمند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر روشن گردد. فن‌های ایستگاه دیگر باید در حالت مکنده روشن گردند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن خاموش شود.

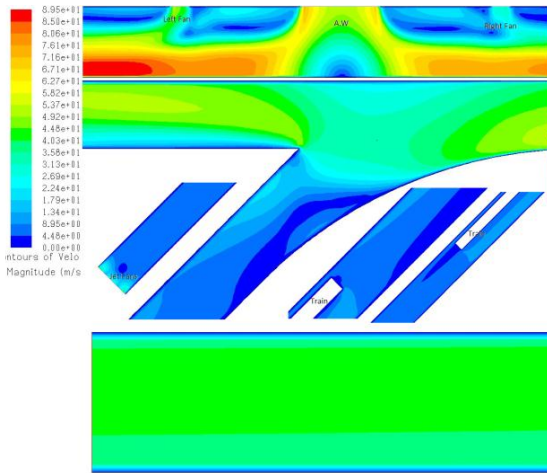


شکل ۱۳- حادثه بین دو خروجی اضطراری، نزدیک به خروجی شماره ۱ در انتهای قطار

- حادثه نزدیک به خروجی دوم :

الف- حادثه در ابتدای قطار :

در این حالت باید خروجی اضطراری دوم باز شود و مسافران به سمت آن هدایت شوند. فن‌های ایستگاه نزدیک به خروجی اول روشن شوند و هوای داخل تونل را خارج کنند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر خاموش باشد. فن‌های ایستگاه دیگر باید در حالت دمنده روشن گردند و دمپره‌های آن‌ها بسته و ایرواشر آن باید روشن شود.



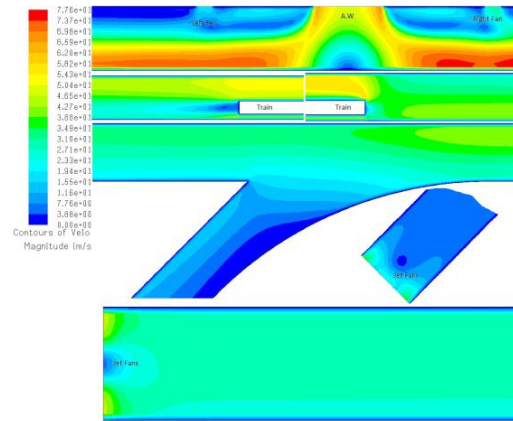
شکل ۱۹- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

محل فرار مسافران دارای استاندارد سرعت بوده و همچنین مسیر واضحی برای دید مسافران ایجاد شده است.

### ۲-۳ زمستان

در زمستان با توجه به سردی هوا برای تهویه تونل استفاده از ایرواشر مورد نیاز نیست و گرمایش ایستگاه ها با گرمای ایجاد شده از حرکت قطار تامین می گردد. دمپرها باز هستند و تهویه از طریق آن ها انجام می گیرد.

در صورت بروز حادثه ، سناریو مشابه حالت تابستانی خواهد بود با این تفاوت که ایرواشر تنها برای دمیدن هوای بیرون به داخل، بدون استفاده از آب به منظور عدم ایجاد سرمای بیشتر ، به کار گرفته می شود.

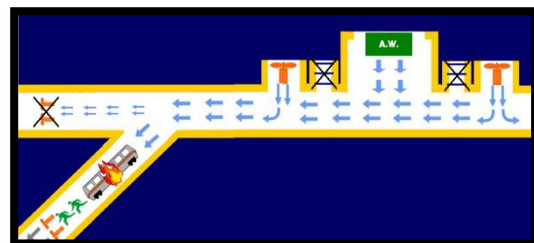


شکل ۱۷- نمودار دو بعدی توزیع سرعت

محل فرار مسافران استاندارد سرعت ندارد (بدلیل قدرت بالای ایر و اشر). اشکال طراحی در این بخش بدلیل وجود تنها یک فن در ایستگاه بوده که همین امر مقابله با اثر ایرواشر را تضعیف می کند . عدم روشن بودن ایرواشر هم نمی تواند کارساز باشد. (بدلیل پخش دبی فن در تونل های طرفین خود و در نتیجه دبی ضعیف رسیده به محل حادثه). از آنجا که امکان اصلاح تونل نمی باشد ، پیشنهاد می شود که ایر و اشر در توان کمتر از توان واقعی خود کار کند.

### ۵-۱-۳ وقوع حادثه بعد از انشعاب :

در صورت بروز اتفاق پس از انشعاب ، با توجه به فاصله کم از دهانه تونل بهتر است مسافران از دهانه تونل خارج گردند. برای خروج دود نیز باید فن ها و ایرواشر ایستگاه شماره ۲ روشن شوند و هوا را به داخل تونل بدمند. دمپرها بسته هستند تا از خروج هوای دمیده شده جلوگیری شود. جت فن های انشعابی که حادثه در آن رخ داده است روشن می شوند و دود را به خارج هدایت می کنند . جت فن های انشعاب دیگر باید خاموش باشند تا از انحراف هوای دمیده شده از مسیر اصلی جلوگیری شود.



شکل ۱۸- وقوع حادثه بعد از انشعاب

[4] Detailed Project Report For Ludhiana Metro. Ventilation and Air-conditioning System , Progress report 8, Delhi Metro Rail Corporation, India, September, 2008.

[5] A.G. Sheard , N.M. Jones , 2008 , Approval of High-temperature Emergency Tunnel-ventilation Fans , World Tunnel Congress – Underground Facilities for Better Environment and Safety. India. 2008.

### ۳-۳ نتایج حل عددی

در نهایت پس از انجام محاسبات، مقادیر زیر برای تجهیزات حاصل شد.

جدول ۱- مشخصات فن در حل عددی و فن بکار رفته در تونل

فن واقعی بکار رفته	حل عددی	
۸۵	۷۱	دبی (m <sup>2</sup> /s)
۷۸۰	۸۸۲	فشار کل (pa)
۲۸۰	۲۶۷	فشار دینامیک (pa)
۲۱.۶۶	۲۰.۱۳	سرعت هوای خروج (m/s)

جدول ۲- مشخصات جت فن در حل عددی و جت فن واقعی

جت فن واقعی بکار رفته	حل عددی	
۱۵.۵	۱۸.۳۷	دبی (m <sup>2</sup> /s)
۳۹.۲	۳۸.۱۸	فشار کل (pa)

جدول ۳- مشخصات ایرواشر در حل عددی و ایرواشر واقعی

ایرواشر واقعی بکار رفته	حل عددی	
۶۲۵۲.۱	۵۷۹۳.۱۴	فشار تولیدی کل (pa)

به وضوح مشاهده می‌شود تجهیزات محافظه کارانه انتخاب شده تا با ضریب اطمینان مناسبی پاسخگوی شرایط بحرانی باشند.

### ۴ نتیجه گیری

برای به وجود آوردن یک محیط امن در هنگام وقوع حادثه که بحرانی‌ترین حالت ممکن است، نیاز به تهویه مکانیکی می‌باشد. همان‌طور که پیشتر ذکر شد سرعت مناسب هوا بین ۲ تا ۳۵ m/s است. نتایج تحلیل عددی نشان‌دهنده انتخاب تجهیزات تهویه با تقریب مناسب در محدوده استاندارد در تونل خط یک قطار شهری مشهد می‌باشد.

### ۵ منابع

[1] Jae Seong Roh , Hong Sun Ryou, Won Hee Park. ” CFD Simulation and Assessment of Life Safety in a Subway Train Fire” , Journal of Tunnelling and Underground Space Technology, January, 24, pp. 448-450. 2009.

[2] Barry Lau, Raymond Yau. ”Tunnel Ventilation”, The Arup Journal, March, 5, pp. 2. 2007.

[3] Haack, A. Technical Report Part 1 Design Fire Scenarios Rapporteur. Thematic Network Fire in Tunnels. 2006.