دانشکده معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان :

طراحی سیستم تهویه تونل خط ۱ مترو تهران حدفاصل ایستگاههای مولوی و شوش

اساتید راهنما : دکتر رضا خالو کاکایی - مهندس حسن مدنی

استاد مشاور : مهندس مهدی یاوری

تهیه و تدوین : علی اسدی

بهار ۱۳۸۳

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیر و تشکر:

باتشکر از زحمات اساتید محترم آقایان مهندس حسن مدنی و دکتر رضا خالو کاکائی

واستاد ارجمند آقای مهندس مهدی یاوری که اینجانب را در انجام این پایان نامه

صمیمانه یاری نمودند .

تقدیم به
پدر و مادرم

چکیده

تهویه در مترو به دلیل رفت وآمد و حضور تعداد زیادی از مسافران در تونلها ، قطارها و ایستگاههای مترو از اهمیت ویژه ای برخوردار است .

اجزای مترو عبارتند از تونلها و ایستگاهها که بایستی هوای داخل آنها در شرایط عادی و اضطراری دائما تهویه گردد. تا در مواقع عادی شرایط مطلوبی برای افراد و در مواقع اضطراری امکان نجات برای افراد فراهم گردد.

در حالت عادی با توجه به این مطلب که قطارهای مترو با سیستم برق کار می کنند ، لذا در تونلها و ایستگاهها آلاینده های فسیلی نخواهیم داشت لذا در شرایط عادی بایستی فقط به گرمای ناشی از تجهیزات ولوازم موجود درایستگاهها ، تونلها ، افراد و قطارها توجه کنیم. باتوجه به این مطلب تمامی گرماهای ناشی از ایستگاههای مولوی – شوش محاسبه و مقدار هوای لازم جهت خنثی نمودن آنها مشخص گردید.

درشرایط اضطراری نیز با توجه به نوع تونل ها و ایستگاهها و استانداردهای لازم جهت حداقل سرعت بحرانی مورد نیاز ، در تونل ها برای راندن دود در جهتی که راههای فرار برای مسافران حفظ گردد و باتوجه به سطح مقطع تونل مقدار هوای لازم تعیین گردید .

در نهایت بامحاسبه مقدار هوای لازم در شرایط عادی و اضطراری و میزان وچگونگی توزیع گرمایی در محیط مترو مقدار هوای لازم جهت هر بخش از محیط مترو محاسبه شده است .

اصطلاحات

دستورالمل تونلسازی کشور آلمان	EBA
دستورالمل تونلسازی کشور آلمان	RABT
انجمن ملی حفاظت در برابر آتش سوزی آمریکا	NFPA
دستورالمل تونلسازی کشور آلمان	BOStrab
دینامیک سیالات محاسباتی	CFD

واحدها

واحد اندازه گیری حرارت	Btu
واحد اندازه گیری شتاب(مایل بر ساعت بر ثانیه)	mphps
واحد اندازه گیری وزن(پوند)	lb
واحد اندازه گیری وزن(تن)	ton
واحد اندازه گیری سرعت(مایل برساعت)	mph
واحد اندازه گیری سرعت(فوت در دقیقه)	fpm
واحد اندازه گیری سرعت(کیلومتر در ساعت)	km/h
واحد اندازه گیری توان(اسب بخار)	hp
واحد اندازه گیری توان(وات)	W
واحد اندازه گیری مسافت(فوت)	ft
واحد اندازه گیری مسافت (متر)	m
واحد اندازه گیری نیرو(پوند فورس)	lb_f

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول :مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- هدف پایان نامه ۱

۱-۳- سازماندهی پایان نامه ۲

فصل دوم : اطلاعات کلی در مورد راه آهن شهری تهران و حومه

۲-۱- آشنایی ۳

۲-۲- تاریخچه متروی تهران ۳

۲-۳- مشخصات خطوط متروی تهران ۷

۲-۳-۱- خط یک ۷

۲-۳-۲- توسعه خط یک (مسیر از رو) ۷

۲-۳-۳- خط دو ۷

۲-۳-۴- توسعه خط دو مسیر از رو ۷

۲-۴- مشخصات ایستگاههای مترو ۹

۲-۵- مشخصات ایستگاههای مولوی و شوش ۱۲

فصل سوم : مبانی تئوری تهویه مترو

۳-۱- آشنایی ۱۳

۳-۲- اجزای تهویه مترو ۱۵

۳-۲-۱- تهویه هوارسانی ۱۶

۳-۲-۲- تهویه مطبوع ۱۶

۳-۲-۳- تهویه اضطراری ۱۶

۳-۳- پارامترهای تهویه ۱۷

۳-۴- تهویه در تونلها و ایستگاههای مترو ۱۸

۳-۴-۱- بار حرارتی ایجاد شده در ایستگاهها و تونلها ۱۸

۳-۴-۲- سیستم های تهویه تونل ها وایستگاهها ۲۰
۳-۴-۳- تهویه طبیعی ایستگاهها و تونلها ۲۱
۳-۴-۴- تهویه ناشی از اثر پیستونی ۲۲
۳-۴-۵- تهویه مکانیکی ایستگاهها و تونلهای مترو ۲۳
۳-۴-۶- مشخصات فنی بادبزن های تهویه ۲۶

فصل چهارم :تهویه اضطراری مترو

۴-۱- تهویه اضطراری مترو ۲۷
۴-۲- ملاحظاتی تحت وضعیت های آتش سوزی ۲۹
۴-۳- ماهیت آتش سوزی های تونل ۳۱
۴-۴- هدفهای کنترل آتش و دود ۳۲
۴-۵- الگوی آتش سوزی ۳۲
۴-۶- گذرگاههای عرضی در تونل ها ۳۳
۴-۷- فاصله گذرگاههای عرضی در تونل ها ی دو قلو ۳۴
۴-۷-۱- تونل ها و دستورالعمل های موجود ۳۴
۴-۷-۲- معیارها ۳۷
۴-۷-۳- نقش تهویه تونل ۳۹
۴-۷-۴- جدول تصمیم گیری ۴۳
۴-۸- سرعت های بحرانی در گذرگاههای عرضی ۴۵
۴-۸-۱- فهرست نام ها ۴۵
۴-۸-۲- نکات ایمنی ۴۵
۴-۸-۳- روش های برآورد سرعت بحرانی ۴۸
۴-۸-۴- مدل تجربی برای سرعت بحرانی در گذرگاهها ۵۰
۴-۸-۵- دینامیک سیالات محاسباتی ۵۴

فصل پنجم : گزینش های مختلف تهویه مترو

۵-۱-گزینش های زیرگذر و مسائل ایمنی ۵۷

۵-۲- گزینش های سیستم های تهویه تونل ۶۰
۵-۲-۱- استفاده از دو اطاقک تهویه ۶۰
۵-۲-۲- استفاده از یک اطاقک تهویه ۶۳
۵-۲-۳- خنک کننده های زیر گذرها ۶۵
۵-۲-۴- مقدار هوای لازم برای سیستم‌های زیرگذر ۶۶
۵-۳- جمع بندی سیستم های تهویه ۶۸
۵-۴- مقایسه فنی اقتصادی سیستم های تهویه ۷۴
فصل ششم : طراحی سیستم تهویه
۶-۱- آشنایی ۷۷
۶-۲- منابع عمده کسب انرژی حرارتی در مترو ۷۷
۶-۳- تقسیم‌بندی منابع تولید حرارت در مترو ۷۸
۶-۴- ترمز گیری ۸۰
۶-۴-۱- انرژی جنبشی ۸۱
۶-۴-۲- مقاومت هوا ۸۲
۶-۴-۳-مقاومت مکانیکی ۸۳
۶-۴-۴- مقاومت الکتریکی ۸۴
۶-۴-۵- شتاب گرفتن ۸۷
۶-۵- منابع حرارتی متفرقه ۹۲
۶-۵-۱- حرارت ناشی از ریل سوم ۹۲
۶-۵-۲- تهویه مطبوع واگن ها ۹۴
۶-۵-۳- ملحقات واگنها ۹۵
۶-۵-۴- روشنایی تونلها ۹۶
۶-۶-ایستگاه ۹۷
۶-۶-۱- گرمای ناشی ازروشنایی ایستگاه ۹۷
۶-۶-۲- گرمای ناشی از وسایل متفرقه ۹۸

۶-۷- کل حرارت داده شده به مترو ۹۸
۶-۸- توزیع فضایی گرمای ترمز در محیط مترو ۹۹
۶-۹- توزیع فضایی کل گرمای داده شده به مترو ۱۰۰
۶-۱۰- محاسبه گرمای داده شده به ایستگاههای مولوی وشوش ۱۰۳
۶-۱۰-۱- گرمای ناشی از ترمز گرفتن ۱۰۶
۶-۱۰-۲-گرمای ناشی از شتاب گرفتن ۱۰۷
۶-۱۰-۳- گرماهای متفرقه ۱۰۹
۶-۱۰-۴- گرمای ناشی از ایستگاه ۱۱۱
۶-۱۰-۵- کل گرمای ناشی از ایستگاه ۱۱۳
۶-۱۰-۶- توزیع کل گرما ۱۱۴
۶-۱۰-۷ -محاسبه مقدار هوای مورد نیاز ۱۱۴
۶-۱۱- حریق ومقدار هوای مورد نیاز ۱۱۵
۶-۱۱-۱- شدت جریان بادبزن اضطراری وسط تونل ۱۱۷
فصل هفتم :نتیجه گیری وپیشنهادات
۷-۱- نتیجه گیری ۱۱۸
۷-۲- پیشنهادات ۱۱۸
فهرست منابع ۱۱۹

فصل اول - مقدمه

۱-۱- مقدمه:

تهویه یکی از مهمترین عملیات های جنبی در زمان حفر و بهره برداری تونلها می باشد .ولی در زمان بهره برداری به علت اینکه تعداد افراد بیشتری ازآن استفاده می کنند اهمیت آن دو چندان می شود . کم بودن مقدار تهویه باعث مشکلات تنفسی برای مسافران و کارمندان و کاهش عمر تجهیزات مترو می شود و زیاد بودن آن ، نه تنها باعث افزایش هزینه تهویه می شود بلکه کورانهایی در ایستگاهها و تونلها ایجاد می کند.برای طراحی سیستم تهویه مترو لازم است که مقاومت کل شبکه وشدت جریان مورد نیاز سیستم با توجه به منابع مصرف کننده اکسیژن و تولید کننده گرما تعیین شود و باشدت جریانی که دراثرتهویه طبیعی و اثرپیستونی به وجود می آید مقایسه شود ،اگر شدت جریان کمتر بودسیستم نیازی به تهویه مکانیکی ندارد و اگر بیشتر بود سیستم تهویه مکانیکی را طوری طراحی می کنند تا کمبود شدت جریان مورد نیاز سیستم برآورده شود .

مهمترین پارامتری که در رابطه با تهویه ایستگاهها و تونلها تاثیر گذار است حرارت تولید شده توسط قطار است در حالی که مهمترین پارامتر در تهویه داخل قطار تعداد مسافران می باشد .

در رابطه با ایمنی آتش سوزی، دود مهمتر از گرماست و کنترل آتش و دود از طریق ایجاد یک سرعت حداقل بحرانی در جهت تضمین حرکت دود در جهت دلخواه بسیار مهم می باشد .

۱-۲- هدف پایان نامه

با توجه به اهمیت مسئله حمل و نقل شهری خصوصاً در شهرهای بزرگ وظهور پدیده تازه وارد مترو درجهت شناخت یکی از زوایای حیاتی ومهم مترو اقدام به نگارش این پایان نامه شد .باتوجه به اینکه این پایان نامه از اولین پایان نامه هایی می باشدکه در زمینه تهویه مترو نگارش شده (البته درایران) دو هدف در این پایان نامه مدنظر بوده است:

الف -گردآوری مطالب تئوری به عنوان یک منبع در جهت استفاده سایرین

ب - محاسبه میزان هوای لازم جهت تهویه ایستگاههای مولوی و شوش و تونل حدفاصل آنها

۱-۳- سازماندهی پایان نامه

مابقی فصول این پایان نامه به شرح زیر سازماندهی شده است .

درفصل دوم اطلاعات کلی درمورد راه آهن شهری تهران وحومه وتاریخچه احداث و تغییر تحولات آن ارائه شده است .فصل سوم به بررسی مبانی عمومی و اصول تئوری تهویه در تونلها و ایستکاههای مترو اختصاص یافته است و در فصل چهارم تهویه اضطراری درتونلهای مختلف و چگونگی آن مورد تحلیل قرار گرفته است . درفصل پنجم سیستم های مختلف اجرایی تهویه مترو با توجه به شرایط تونلها بیان گردیده است . فصل ششم شامل مبانی طراحی تهویه و طراحی سیستم تهویه مترو در ایستگاههای مولوی و شوش می باشد و در نهایت در فصل هفتم نتیجه گیری از این پایان نامه و پیشنهادات مورد نظر ارائه گردیده است .

فصل دوم ـ مشخصات راه آهن شهری تهران وحومه

فصل دوم -اطلاعات کلی درمورد راه آهن شهری تهران وحومه

۲-۱- آشنایی

از احداث اولین مترو در جهان بیش از ۱۳۰ سال می‌گذرد و در حال حاضر بیش از ۱۳۰ کشور جهان از مترو استفاده می‌کنند و یا در حال احداث آن هستند [۱].

استفاده از مترو، کاهش آلودگی هوا و صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و صرفه‌جویی در وقت را در پی دارد. با توجه به وضعیت شهر تهران و تراکم بالای جمعیت در این شهر و همچنین آلودگی شدید هوا، ترافیک شدید وسایل نقلیه که همگی باعث سخت شدن شرایط زیستی در این شهر بزرگ شده است، استفاده از گزینه مترو با توجه به مزایای ذکر شده در بالا راه حلی جهت رفع مشکلات ذکر شده در نظر گرفته شده که این از سالها پیش مورد توجه مسئولان امر بوده است.

با توجه به وضعیت خاص کشور ایران در چند دهه گذشته متروی تهران دستخوش تغییرات ، مسائل و مشکلات گوناگون بوده و وقفه‌های طولانی مدت در این پروژه به وجود آمده است. در سالهای اخیر چندین فاز از خطوط متروی تهران مورد بهره برداری قرار گرفته و امید است در آینده شاهد بهره برداری از فازهای دیگر متروی تهران و گسترش خطوط، جهت ساماندهی به وضعیت نابسامان ترافیک این شهر بزرگ باشیم.

۲-۲- تاریخچه متروی تهران

از قرون وسطی در کشورهای اروپائی شرکت‌هائی با حقوق ویژه آغاز به کار کردند. هدف این شرکتها توسعه منافع اقتصادی و تعمیم نفوذ سیاسی کشورهای بزرگ بود . فعالیت این شرکتها، بیشتر در کشورهای عقب مانده‌ای بود که در واقع ثروت‌ها و منابع سرشار و نیروی انسانی رایگان در اختیار داشتند که از آن جمله می‌توان به کشورهای پرجمعیت و وسیع آسیا یا نقاط دور افتاده قاره آفریقا اشاره کرد [۱].

نمونه مشخص این گونه شرکتها شرکت هند شرقی و بریتانیا، هند شرقی و هلند و در ایران شرکت نفت ایران و انگلیس بود.

در ایران در کنار دیگر امتیازاتی که دولت‌های خارجی به دست آوردند (به ویژه در زمان شاهان قاجار) یکی امتیاز احداث تراموا و راه آهن در سراسر کشور بود که به سرانجامی خوش نرسید و در آغاز راه از فعالیت واماند. سابقه احداث راه آهن شهری در ایران به حدود یکصد و بیست سال قبل برمی‌گردد.

سفرناصرالدین شاه قاجار به اروپا و دیدن پیشرفت‌های صنعتی آن روزگار از جمله وسایل حمل و نقل موجب شد تا بعضی از مظاهر روبنائی فرهنگ غربی وارد کشور شود یا امکان طرح اندیشه در آن مورد زمینه پیدا کند [۱].

وسایل حمل و نقل چون تراموا (مترو) که در آن روزگار هنوزدر زمره صنایع مدرن و روز آمد بودند ناصر الدین شاه را به فکر وارد کردن آن تجهیزات به ایران انداخت.

برادران بواتال که در اصل بلژیکی بودند در پی سفر ناصرالدین شاه به فرنگستان توانستند امتیاز احداث تراموا و راه آهن را از وی بگیرند. در سال ۱۲۶۱ شمسی(۱۳۰۰ هـ ق،۱۸۸۳م) برادران بواتال موفق به کسب این امتیاز شدند و نخستین خط آهن ایران یعنی راه آهن تهران – شهرری در سال ۱۲۶۵ شمسی (۱۳۰۱ هـ. ق ، ۱۸۸۸ م) به طول ۸ کیلومتر آغاز به کار کرد.

مهندس بواتال به یاری چند بلژیکی دیگر شرکت راه آهن و ترامـوای را تاسیس کرد و در واقع اداره امور راه آهن ایران در دست دولت بلژیک قرار گرفت و قرار داد ۹۹ ساله‌ای با ایران انعقاد یافت.

در واقع می توان گفت که این خط که به آن ماشین دودی می‌گفتند، اولین قطار شهری تهران بودکه مورد استفاده قرار گرفت . در ابتدا به علت نرسیدن موتور ، این قطارها با اسب کشیده می‌شد ولی در پایان کار واگن‌ها به لکومتیو وصل شد . مشخصات قطار مذکور به شرح زیر بود:

۱) لکومتیو یا ماشین خانه راننده

۲) واگن شاهی به طول ۱۰ متر با عرض ۱/۵ متر

۳) واگن وزرا و علمای طراز اول به طول ۹ متر

۴) واگن ویژه زنان به طول ۷ متر

بعد از آن بلژیکی‌ها یک خط آهن روی زمین بین دروازه شهر ری و میدان حر کشیدند که تا سال ۱۳۱۰ نیز دایر بود.

در سال ۱۳۳۷ طرح متروی تهران مجدداً توسط شخصی بنام مهندس کوروس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت ولی متاسفانه در مرحله طرح باقی ماند و به جایی نرسید [۱].

در این زمان فرانسوی‌ها پروژه‌ای برای احداث متروی تهران دادند که براساس آن قرار بود متروی تهران را خودشان احداث و برای مدتی اداره کنند. هم زمان ژاپنی‌ها هم طرح متروی هوائی را پیشنهاد دادند که این پیشنهاد هم به دلیل هزینه زیادی که در برداشت مورد قبول واقع نشد. در دوران سلطنت محمدرضا پهلوی به ویژه پس از اصلاحات ارضی تهران از یک شهر خلوت معمولی به یک شهر عظیم ، بی نظم و شلوغ و آلوده تبدیل شد به گونه‌ای که جمعیت شهر از ۳۰۰ هزار نفر به ۶ میلیون نفر بالغ و رسماً اعلام شد که طرح دوازده میلیونی کردن تهران را دارند.

از آنجا که در آن سالها ایران دِر آمد کافی داشت قاعدتاً می‌بایست تهران را براساس اصول شهرسازی به صورت یک پایتخت زیبا توسعه می دادند ولی متاسفانه به شهری مبدل شد که از نظر آلودگی هوا جزوآلوده ترین شهرهای دنیا و ترافیک آن سنگین‌ترین ترافیک‌های دنیا بود.

بررسی مجدد متروی تهران از سال ۱۳۴۰ توسط یک شرکت فرانسوی (سوفرتو) (شرکت حمل و نقل پارس) آغاز شد. این گروه پس از مطالعات لازم در مورد طرح‌های دراز مدت برای شهر تهران ایجاد شبکه راههای سریع (بزرگراه، آزاد راه) به طول نهایی ۲۰۰ کیلومتر و ایجاد شبکه راه آهن سریع (مترو) به طول تقریبی ۱۱۲ کیلومتر را ضروری دانستند. ولی این طرح تاسیس مترو با مصوبه هیئت وزیران وقت متوقف شد . از آن سال تا سال ۱۳۵۰ به دلیل گسترش بی‌رویه شهر تهران و رشد سریع جمعیت این شهر مطالعاتی برای حل مشکل ترافیک تهران انجام شد، مهمترین این مطالعات به شرح زیر است.

- طرح ترافیک حمل و نقل تهران (شرکت سوفرتو)
- طرح کنترل مرکزی ترافیک تهران (شرکت جی – ای . س – الیوت شین)
- برنامه حمل و نقل تهران و ارزیابی مطالعات شرکت سوفرتو (جان – اف – کین)
- گزارش مقدماتی از طرح ترافیک تهران (شرکت مهندسی یاشیو)
- خدمات مهندسان مشاور برای حمل و نقل شهر تهران (مهندسان مشاور فریمن – فاکس و همکاران)

- مطالعه سیستم حمل و نقل شهری تهران (سازمان همکاری‌های بین المللی ژاپن)

در این میان دو شرکت فرانسوی و ژاپنی طرح احداث متروی تهران را به عنوان راه حل اصلی و بلند مدت برای حل مشکل ترافیک تهران پیشنهاد کردند.

در سال ۱۳۵۴ شرکت راه آهن شهری تهران و حومه (مترو) تاسیس و قرار داد تهیه طرح متروی تهران در تاریخ ۱۳۵۴/۱۲/۲۴ با مهندسین مشاور فرانسوی سوفرتو (شرکت حمل و نقل پارس) منعقد شد.

اولین پیمان جهت اجرای قطعه اول از خط یک مترو در تاریخ ۵۹/۷/۳۰ با یک شرکت ایرانی منعقد گشت (قطعه منطقه عباس آباد به طول ۲/۸ کیلومتر) و شامل مطالعات فنی و اجرائی شرکت راه آهن تهران و حومه (مترو) بود.

بنابراین شرکت متروی تهران در تاریخ ۲۹ آذر ۱۳۵۸ براساس تصویب نامه شورای انقلاب اسلامی تاسیس شد و اعضای مجمع عمومی عبارت بودند از: وزرای کشور، امور اقتصاد و دارائی، راه و ترابری، معاونت رئیس جمهوری، رئیس سازمان برنامه و بودجه، شهردار تهران و ریاست مجمع عمومی بر عهده وزیر کشور بود. در این جلسه تصمیمات زیر گرفته شد:

الف) با توجه به میزان هزینه‌ها و مشکلات اجرائی در مرحله اول خطوط یک و دو برای اجرا انتخاب شود.

ب) مفاد قرار داد با شرکت سوفرتو مجدداً ارزیابی شود.

در تاریخ ششم دی ماه ۱۳۵۸ مفاد قرار داد با شرکت سوفرتو بررسی و پروتکل مربوط به این قرار داد لغو شد و در اوایل سال ۱۳۵۹ با شروع جنگ تحمیلی تمامی مذاکرات با شرکت حمل و نقل پارس (سوفرتو) متوقف شد.

در تاریخ ۱۲ اسفند ۱۳۶۰ هیات وزیران طرح متروی تهران را به طور کامل متوقف کرد . طی سالهای ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۶ در محافل گوناگون برای حل مشکل و راه اندازی دوباره پروژه متروی تهران تلاشهایی صورت گرفت تا در اواسط سال ۱۳۶۶ که عملاً فعالیت اجرائی پروژه آغاز گردید [۱] .

۲-۳- مشخصات خطوط متروی تهران

۲-۳-۱- خط یک

این خط شمالی – جنوبی به طول ۱۵ کیلومتر از بزرگراه جهان کودک (حقانی) شروع شده و با عبور از زیر خیابانهای شهید بهشتی، مطهری و میدان هفت تیر به سمت میدان امام خمینی ادامه مسیر می‌یابد و در ادامه به بازار و میدان محمدیه می‌رسد و به خیابان شوش منتهی می‌شود.

۲-۳-۲- توسعه خط یک (مسیر از رو)

توسعه خط از شمال به جنوب حدود ۱۹ کیلومتر از خیابان شوش شروع می‌شود و به سمت بهشت زهرا ادامه می‌یابد و با گذر از مرقد امام، محوطه بهشت زهرا را دور زده و به شکل دایره آن را احاطه می‌کند. تعداد ایستگاههای موجود در خط یک ۲۷ ایستگاه است که ۱۵ ایستگاه آن زیرزمینی و ۱۲ ایستگاه آن روزمینی است [۲] .

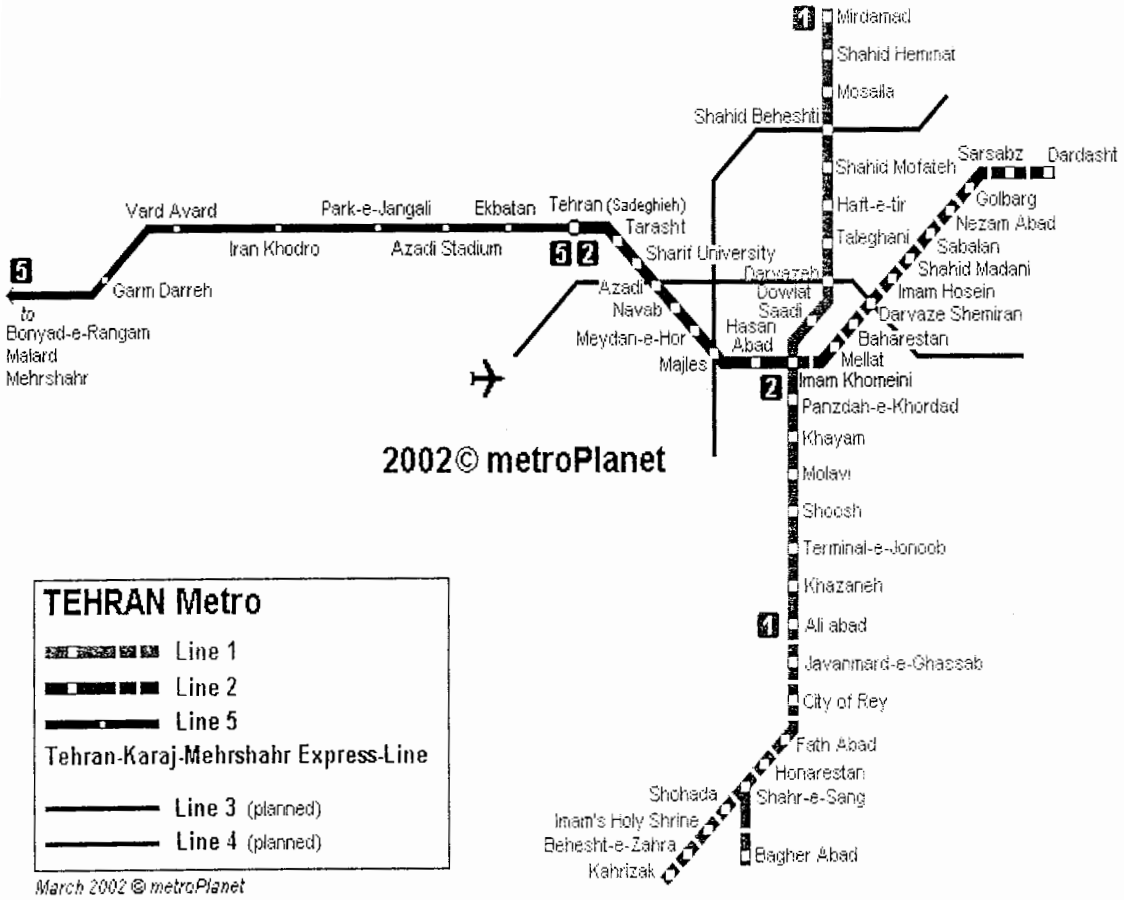
۲-۳-۳- خط دو

تونل شرقی – غربی به طول ۲۰/۳ کیلومتر از دردشت تهران پارس شروع شده و پس از طی بزرگراه رسالت و خیابان آیت ا... مدنی (نظام آباد سابق) از مسیر بهارستان به میدان امام می‌رسد و با عبور از خیابان امام خمینی و تقاطع زنجان در انتها به فلکه دوم صادقیه ایستگاه E2 منتهی می‌شود. ۱۹ کیلومتر از این خط زیرزمینی و یک کیلومتر آن روی زمین است تعداد ، ۱۸ ایستگاه دارد که یک ایستگاه آن با خط یک مشترک است.

۲-۳-۴- توسعه خط دو مسیر از رو

خط تهران – کرج به طول ۴۱/۵ کیلومتر است که این خط از میدان صادقیه شروع می‌شود و موازی با اتوبان تهران – کرج به سمت کرج و مهر شهر ادامه می‌یابد، حدود ۲/۵ از ۴۱/۵ کیلومتر این خط زیرزمین و ۳۹ کیلومتر آن روی زمین است. این خط ۹ ایستگاه و یک پایانه دارد [۲] .

جدول ۲-۱ و شکل ۲-۱ مشخصات خطوط متروی تهران و حومه را نشان می‌دهد، طول کـل خطـوط حدود ۹۶ کیلومتر است که حدود ۶۰ کیلومتر آن روی زمین و حدود ۳۶ کیلومتر آن زیرزمین است. ضمناً اختلاف ارتفاع شهر تهران بین شمالی‌ترین نقطه (۱۷۳۰ متر از سطح دریا) و جنوبی ترین نقطـه (۱۱۰۰ متر از سطح دریا) ۶۳۰ متر است ، به همین دلیل حفاری از جنوب تهران آغازشد و به سـمت شمال پیش رفته تا این فاصله ۶۳۰ متری با شیبی معادل ۵٪ ادامه پیدا کرده است.



شکل ۲-۱- نقشه متروی تهران و ایستگاههای آن

جدول ۲-۱- مشخصات خطوط تهران و حومه [۱]

شرح	طول مسیر (متر)			تعداد هواکش‌ها	تعداد پایانه
	مسیر روزمینی	مسیر زیرزمینی	کل مسیر		
خط ۱ (جهان کودک تا بهشت زهرا)	متر ۱۹۴۰۰	متر ۱۴۹۰۰	متر ۳۴۳۰۰	۱۶	۱
خط ۲ (در دشت تا فلکه دوم صادقیه)	متر ۱۴۰۰	متر ۱۹۰۰۰	متر ۲۰۴۰۰	۱۸	۱
خط تهران – کرج – مهرشهر	متر ۳۹۰۰۰	متر ۲۵۰۰	متر ۴۱۵۰۰	-	۱
تونل کابل‌های ارتباطی	-	کیلومتر ۶/۶۹۵	-	-	-
تونل اتصال خط ۱ به ۲	-	کیلومتر ۰/۵۳۲	-	-	-
تونل‌های دسترسی و فرعی	-	کیلومتر ۰/۲۳۱	-	-	-
جمع کل	متر ۵۹۸۰۰	متر ۳۶۴۰۰	۹۶۲۰۰	۳۴	۳

۲-۴- مشخصات ایستگاههای مترو

فاصله ایستگاههای خط ۱ مترو از یکدیگر به طور متوسط ۸۰۰ متر و در خط ۲ به طور متوسط ۱۲۰۰ متر در خط تهران – کرج – مهرشهر به طور متوسط حدود ۴۰۰۰ متر است. کمترین فاصله بین دو ایستگاه H1-G1 (در تقاطع خیام، پانزده خرداد و بازار فرش) با ۵۳۳ متر و بیشترین فاصله بین دو ایستگاه A2-4 و A2-5 (ملارد و مهرشهر) به فاصله ۷/۷ کیلومتر است. در خط ۱ و ۲ طول ایستگاهها ۱۴۰ متر و در خط تهران – کرج – مهرشهر این طول حدود ۳۰۰ متر است. در ایستگاههای خطهای یک و دو طول قطارها حدود ۱۳۷ متر و در ایستگاه تهران – کرج – مهرشهر طول قطار ۲۴۸ متر است. موقعیت ایستگاههای خطوط ۱و۲ به ترتیب در جداول ۲-۲و۲-۳ نشان داده شده است [۱].

تعداد واگن های هر قطار در خطوط یک و دو ۷ واگن و در خط کـرج – تـهران ۸ واگن اسـت و هـر واگن ۱۹/۵ متر تا ۲۶/۶ متر طول و ۲/۶ تا ۳/۱ متر عرض دارد، گنجایش یک قطار در خطـوط یـک و دو ۱۲۹۰ نفر و در خط تهران – کرج – مهرشهر حدود ۲۸۰۰ نفر است[۱].

جدول شماره ۲-۲ موقعیت ایستگاههای خط ۱ متروی تهران[۲]

نام ایستگاه	فاصلـــه دو ایســـتگاه متوالـــی (متر)	موقعیت	نام ایستگاه	فاصلـــه دو ایســـتگاه متوالی (متر)	موقعیت
R_1	۹۳۳/۵	جهان کودک	D_1	۱۱۳۴	ترمینال جنوب
Q_1	۹۰۰	رسالت- شیخ فضل الله	CI	۱۲۵۰	خزانه
P_1	۱۳۰۰/۱	مصلی	BI	۲۲۰۰	علی آباد
D_1NS	۷۲۹	شهید بهشتی و مفتح	AI	۱۶۹۰	جوانمرد قصاب
N_1	۹۶۳	شهید بهشتی ومطهری	AI-1	۲۹۹۸	شهر ری
M_1	۹۴۰	م هفت تیر	AI-2	۱۶۶۵	فتح آباد
L_1	۶۲۱	مفتح و طالقانی	AI-3	۱۲۳۵	هنرستان
K_1J_4	۸۸۹	انقلاب – سعدی	AI-4	۱۲۳۰	شهرسنگ
J_1	۱۱۹۴	جمهوری - سعدی	AI-5	۱۰۵۴۰	شهدا
L_1M_2	۸۶۳	م امام خمینی	AI-6	۱۶۳۱	حرم مطهر
H_1	۵۳۳	خیام – پانزده خرداد	AI-7	۷۳۰	بهشت‌زهرا
G_1	۶۱۰	خیام – بازار	AI-8	۳۴۱۰	کهریزک
FI	۱۱۶۷	میدان محمدیه	AI-9		باقرآباد
EI	۷۶۸	شوش – خیام			

جدول ۲-۳ موقعیت ایستگاههای خط ۲ متروی تهران [۲]

نام ایستگاه	فاصله دو ایستگاه متوالی (متر)	موقعیت	نام ایستگاه	فاصله دو ایستگاه متوالی (متر)	موقعیت
V_2	۱۰۹۰	رسالت – شهید آیت	J_2	۱۰۲۴	دانشگاه جنگ
U_2	۱۰۸۹	رسالت – نظام آباد	I_2	۱۵۲۵	آذربایجان – نواب
T_2	۱۳۶۰	شهید مدنی	H_2D_4	۱۰۵۶	آذربایجان - آزادی
S_2	۱۴۶۸	شهید مدنی – سبلان	G_2	۱۴۴۰	آذربایجان – زنجان
R_2	۹۸۸	شهید مدنی	F_2	۱۲۱۶	شهید نواب – ملک زمان
Q_2	۹۴۳	شهید مدنی–خواجه نصیر	E_2		سازمان آب کوی فردوس
P_2K_4	۷۹۲	دروازه دولت			
O_2	۸۱۹	م بهارستان			
N_2	۷۲۷	ملت – اکباتان			
I_1M_2	۸۶۶	م امام خمینی			
L_2	۹۷۷	م حسن آباد			
K_2G_3	۱۰۵۰	امام خمینی- ولی عصر			

در حال حاضر قسمت‌هایی از خطوط یک و دو و سه فعال و در حال جابجایی مسافر است و امید می‌رود در سالهای آینده خطوط به بهره برداری کامل رسیده و برنامه توسعه خطوط جهت ارائه خدمات بهتر به شهروندان در دستور کار شرکت راه آهن شهری تهران و حومه قرار گیرد.

۲-۵- مشخصات ایستگاههای مولوی و شوش

همان طور که ذکر شد متروی تهران دارای دو خط اصلی است که خطوط یک و دوی مترو تهران را به دو قسمت شمال – جنوب و شرق – غرب تقسیم می‌کنند.

ایستگاههای متعددی دراین خطوط وجود دارد که بعضی از آنها فعال و بعضی هنوز به بهره‌برداری نرسیده‌اند. ساخت کلی ایستگاهها اکثراً شبیه به هم است، و بسته به نیاز و شرایط محیطی اندازه و عمق ایستگاهها دستخوش تغییر شده است.

ایستگاه مولوی و شوش در خط یک متروی تهران واقع شده‌اند و از شمال ایستگاههای شماره سیزدهم و چهاردهم و از جنوب ایستگاههای شماره چهاردهم و پانزده هستند.

فاصله ایستگاههای مذکور از ایستگاه جهان کودک ۱۲۱۲۰/۵ متر و از ایستگاه باقر آباد ۲۰۲۲۷ متر است [۳].

ایستگاههای مولوی و شوش تقریباً دو ایستگاه همسان هستند. از نظر فضاهای داخلی تقریباً شبیه یکدیگر هستند.مساحت دو ایستگاه تقریباً با هم برابر است. ایستگاه شوش مساحتی برابر ۵۶۰۰ متر مربع و ایستگاه مولوی مساحتی برابر ۵۵۰۰ متر مربع را دارا است [۳] .

عمق ایستگاه مولوی و شوش نیز تقریباً با هم برابر است و هر دو به روش کندوپوش اجرا شده‌اند. عمق ایستگاه مولوی برابر ۶/۵ متر و عمق ایستگاه شوش برابر ۷ متر است [۳] .

فاصله بین دو ایستگاه برابر ۱۱۶۷ متر است که با توجه به عمق برابر دو ایستگاه تونلی تقریباً افقی این دو ایستگاه را به یکدیگر متصل می‌کند . لازم به ذکر است ایستگاه شوش مرز قسمت روزمینی و زیرزمینی خط یک مترو می‌باشد و بعد از ایستگاه شوش به سمت جنوب تهران خط یک به صورت روزمینی خواهد بود [۳].

موقعیت ایستگاه شوش در تقاطع خیابان‌های شوش و خیام و موقعیت ایستگاه مولوی در میدان محمدیه است.

فصل سوم ـ مبانی تئوری تهویه

فصل سوم – مبانی تئوری تهویه مترو

۳ – ۱ – آشنایی

سیستم تهویه برای تونل‌ها و ایستگاههای قطارهای شهری زیرزمینی به منظور کنترل و ایجاد شـرایط محیطی مناسب معمولاً برای حالت‌های زیر طراحی می شود[۴]:

الف – هوارسانی ، خنک کردن و تخلیه حرارت از تونل‌ها و ایستگاهها در شرایط کار عادی

ب – هوارسانی ، خنک کردن و تخلیه حرارت از تونلها و ایسـتگاهها در شـرایط کـار مـتراکم (اختلال در کار عادی)

ج – کنترل حریق و تخلیه دود حاصل از حریق در مواقع اضطراری در تونلها و ایستگاهها

فاکتورهای مربوط به محیط تونل و ایستگاهها که بایستی کنترل شوند، عبارت اند از[۴]:

الف) دما

ب) رطوبت نسبی

ج) سرعت هوا

د) هوای تازه مورد نیاز

ه) کیفیت هوا

و) میزان سروصدا

برای محاسبات کنترل کیفیت هوا فرض می کنیم که هوا خشک است و بر اساس آن مسائل مربوط به حجم اصلی هوا محاسبه می شود. ازنظر ترمودینامیکی هوا یک ترکیب مکانیکی از هوای خشک و بخار آب است اما بطور شیمیایی ترکیبی از هوای خشک که تقریباً شامل ۲۱ درصـد اکسـیژن و ۷۹ درصـد نیتروژن و گازهای کمیاب است. البته گازهای کمیاب را با نیتروژن دسته‌بندی می‌کنند زیرا تا آنجـایی که به تهویه مطبوع مربوط می‌شود آنها به طور شیمیایی و فیزیکی بی اثرند [۵].

منبع اصلی مصرف اکسیژن در مترو مسافران ، پرسنل خدماتی و تعمیراتی می باشندولی منابع اصلـی تولید گرما در مترو ها علاوه بر مسافران ، پرسنل خدماتی و تعمیراتی ، تجهیزات و قطارها هستند[۵]. وقتی فردی در هوای طبیعی که شامل ۲۱ درصد اکسیژن و ۷۹ درصد نیتروژن اسـت تنفـس می‌کنـد هوای بازدم آن شامل ۶ درصد اکسیژن ، ۷۹ درصد نیتروژن و ۱۵ درصد دی اکسـید کربـن می‌شـود.

شدت جریان هوای لازم برای هر فرد در استاندارد کشورهای مختلف متفاوت است. اصولاً شدت جریان هوا باید بگونه‌ای باشد که اکسیژن موجود در هوا از ۲۰ درصد کمتر و دی اکسید کربن آن از ۰/۹ درصد بیشتر نشود. براین اساس در شرایط عادی برای هر نفر ۲/۵ مترمکعب در دقیقه هوای تازه درنظر می‌گیرند. براساس استاندارد شوروی و آمریکا شدت جریان هوا به ازای هر فرد به ترتیب ۶ و ۵/۷ مترمکعب در دقیقه است[۶] .

به طور متوسط از بدن یک انسان بالغ در هر ساعت در حالت خواب ، استراحت و کار به ترتیب ۷۸ و ۲۵۰ و ۴۰۰ کیلوکالری گرما منتشر می‌شود. کل حرارتی که از بدن یک شخص بالغ در مدت روز منتشر می‌شود ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلوکالری است. حدود ۸۵ تا ۹۵ درصد از حرارت تولید شده بدن انسان به یکی از سه صورت تشعشع ، جابجایی و تعریق با فضای اطراف مبادله می‌شود. میزان تبادل حرارت بدن با محیط تابع دمای محیط (اختلاف دمای پوست بدن با هوای محیط) ، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوای محیط است. در هر ساعت ۱/۲ تا ۳ کیلوگرم عرق می تواند از بدن تبخیر شود. تبخیر ۱ گرم عرق با از دست دادن ۰/۶ کیلوکالری حرارت محیط همراه است. بنابراین مقدار تبادل حرارت از بابت تبخیر عرق رقم بسیار بزرگی را تشکیل می‌دهد.

به طور کلی برای تعیین نوع و ظرفیت سیستم‌های تهویه عوامل زیر تأثیر گذارهستند[۴]:

الف - مقدار حرارت ایجاد شده در تونلها

ب - فاصله زمانی حرکت قطارها

ج – نوع قطار شهری

د – شتابهای تندشونده و کندشونده

ه – تعداد مسافرین

و – ساعات کار اوج روزانه قطار

ز – شرایط جوی محیط

ح – شدت حریق و آتش سوزی ممکن در تونلها و ایستگاهها

ط – و بالاخره شرایط فیزیکی تونلها و ایستگاهها از قبیل قطر، سطح مقطع و غیره.

تمام عوامل یادشده در بالا در طراحی ظرفیت دستگاههای تهویه مانند بادبزن های هوادهی و یا تخلیه مؤثر هستند.حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد گرمای تولید شده در مترو مربوط به قطارهاست. انرژی الکتریکی

قطارها نهایتاً به شکل حرارت به محیط تونل و ایستگاه مترو منتقل می‌شود. نیمی از گرمای تولید شده توسط قطارها ، مربوط به ترمزهای آنها به هنگام توقف و شروع حرکت است. ازآنجا که ترمز کردن معمولاً در حوالی ایستگاهها انجام می‌گیرد، لذا گرمای حاصل از ترمزهای قطار معمولاً در اطراف ایستگاهها پراکنده می‌شود. در متروهایی که سرعت قطار به بیش از ۱۶۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد در اثر مقاومت آئرودینامیکی قطار هوا ی داخل تونلها گرم می شود [۴]. بخشی از گرمای تولید شده به وسیله دیوارهای محیط جذب شده و بقیه آن به هوای محیط انتقال می‌یابد . با توجه به گرمای تولید شده استفاده از سیستم تهویه و یا تهویه مطبوع برای متروها ضروری است.

۳ – ۲- اجزای تهویه مترو

اجزای اصلی مترو را ایستگاهها وتونلها تشکیل می‌دهند . ایستگاهها برای استفاده عموم درنظر گرفته شده‌اند ولی تونلها مخصوص عبور قطار هستند و عبور و مرور افراد در آنها ممنوع است[۵].

در حالت کلی محیط زیرزمینی شامل ایستگاهها ، تونلها ، قطارها و راهروهای زیرزمینی مجاور هم است که هر یک دارای خواص مخصوص خود از قبیل جریان هوا ، نیروی اتلافی ، انتقال گرمایی و ذخیره گرمایی هستند. اجزای محیط زیرزمینی می توانند در مسیرهای پیش بینی نشده وقفه ایجاد کنند و باید دریافت که چگونه سیستم تهویه و تهویه مطبوع را طراحی کرد. این شناخت همچنین برای مقابله با رویدادهای ناگهانی از قبیل آتش سوزی زیرزمینی لازم است، زیرا زمانی که بادبزن‌های مکشی دود را بیرون می کشند ، قطار متوقف شده و دود از سکوها خارج می شود [۷].

سیستم تهویه متروها را به سه دسته زیر تقسیم می کنند:

۱ – تهویه ایستگاهها

۲ – تهویه تونلها

۳ – تهویه قطارها

در هر یک از قسمتهای مترو ممکن است حالتهای تهویه زیر صورت گیرد:

۳-۲-۱- تهویه (هوارسانی)

تهویه به منظور تامین هوای سالم برای مسافران ، پرسنل خدماتی و تعمیراتی به روشهای زیر انجام می‌شود[۶]:

الف) تهویه طبیعی

ب) تهویه ناشی از اثر پیستونی قطار

ج) تهویه مکانیکی که به یکی از سه روش زیر انجام می‌گیرد

-تهویه طولی

-تهویه عرضی

-تهویه نیمه عرضی

۳-۲-۲- تهویه مطبوع

تهویه مطبوع به منظورکنترل رطوبت و درجه حرارت هوای ورودی به روشهای زیر انجام می شود[۶] :

الف) سرماسازی

ب) گرماسازی

ج) مرطوب سازی

د) رطوبت زدایی

ه) خوشبو سازی

و) فیلتر کردن

در هوای معتدل تهویه به تنهایی کافی است ولی در مناطق گرمتر یـا سـردتر بـاید از روشـهای سـرما سازی یا گرما سازی استفاده کرد. وضعیت عادی در تهویه مطبوع هوای نمناک یا هوای طبیعـی اسـت که مخلوطی از هوای خشک و بخار آب است که از ۰/۱ تا ۴ درصد حجمی هوا تغیـیر می‌کنـد. اگر در مناطقی رطوبت هوای ورودی کمتر یا بیشتر از این مقدار شود بایداز روشهای مرطوب سازی یارطوبت زدایی استفاده کرد[۹]. اغلب متروها در شهرهای پرجمعیتی که از آلودگی هوا رنج می‌برند ایجاد شـده است وهنگامی که آلودگی هوای ورودی از حد مجاز تجاوزکند ، هوای ورودی را فیلتر می کنند [۸].

۳-۲-۳- تهویه اضطراری

مهمترین ویژگی تهویه اضطراری آن است که در مواقع آتش سوزی دود و گرمای حاصل از حریق را از محل دور کند تا به مسافران صدمه‌ای نرسد و اکیپ‌های امدادی به آسانی بتوانند وظایف خود را انجـام

دهند. زیرا در مواقع آتش سوزی ، قطارها از حرکت می ایستند و تهویه ناشی از اثر پیستونی متوقف می شود و نیاز است که از سیستم مکانیکی تهویه اضطراری استفاده شود [۶].

تهویه زیرزمینی را می توان به دو مجموعه زیر نیز تقسیم کرد [۱۰]:

الف) سیستم تهویه غیرفعال که شامل مکانهای زیر است:

- شبکه پیاده روها
- ورودی و خروجی های مسافری
- ورودی وخروجی های تونل

ب) سیستم تهویه فعال که موارد زیر را در بر می گیرد:

-بادبزن های مورد استفاده در موقعیت آلوده

-حرکت قطارها (فشار و مکش)

۳ – ۳ – پارامترهای تهویه مترو

دما، سرعت و فشار از فاکتورهای بحرانی برای طراحی تهویه و همچنین ایمنی به هنگام آتش سوزی هستند. در حالتی که آهنگ تولید گرما و دمای هوای بیرون کاهش یابد ، ممکن است جریان هوای ناشی از اثر پیستونی قطارها برای تهویه سیستم کافی باشد. ولی در حالتی که گرمای حاصل از سیستم ، بیش از مقدار گرمای مبادله شده با محیط اطراف و هوا است ، دمای سیستم افزایش می یابد و برای متعادل ماندن سیستم ، شدت جریان هوای بیشتری مورد نیاز خواهد بود[۶].

حداکثر اختلاف دمای هوای داخل و خارج مترو نباید از ۴ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند. بر طبق استاندارد انجمن ملی حفاظت از آتش سوزی حداکثر درجه حرارت باید کمتر از ۶۰ درجه باشد.

جریان هوایی که توسط سیستم تهویه به جریان می افتد کوران‌هایی را در ایستگاه به وجود می آورد. حداکثرسرعت هوا در مناطق عمومی باید به منظور فراهم کردن یک انتقال آرام بین شرایط بیرونی و شرایط داخلی وسایل نقلیه محدود شود. سرعت هوا در تونلها را می توان با افزایش سطح مقطع تونل یا ایجاد دریچه‌هایی به سطح کاهش داد [۱۱].

سرعت هوا در قسمتهای مختلف مترو تغییر می کند به طوری که درسکوها به چند سانتی متر درثانیه هم می رسد، در تونلها سرعت متوسطی دارد و در حوالی بادبزن‌ها به حداکثر مقدار خود می‌رسد .

سرعت هوا در سکوها و راهروها موقعی که قطار در یک جهت وارد ایستگاه می‌شود و در همـــان زمـان قطار دیگری در جهت مخالف در حال حرکت است در یک حالت ماکزیمم است. حداقل سرعت هوا در داخل تونل باید به اندازه‌ای باشد که در مواقع اضطراری از حرکت جریان دود به سـمت انتـهای تونـل جلوگیری کند. برطبق استاندارد انجمن مهندسان سرماسازی، گرما سـازی و تهویـه مطبـوع آمریکـا و استاندارد ۱۳۰ انجمن بین المللی محافظت از آتش سوزی ماکزیمم سرعت هوا به ترتیب باید کمـتر از ۱۱ و ۱۱/۳ متر در ثانیه باشد[۱۱]. به عنوان مثال ماکزیمم سرعت هوا در مترو شـهر نیویـورک ۱۰/۷ متر در ثانیه است [۸].

در جریان عملیات عادی مترو، عبور قطارها باعث تغییراتی در فشار استاتیکی می‌شود که این تغییرات فشار ممکن است اثرات قابل توجهی بر روی تجهیزات تهویه داشته باشد[۱۱].

جریان هوایی که دراین حرکت قطار به جریان می‌افتد ممکن است بـر بادبزن‌هـایی کـه جـهت هـوای درون آن در جهت خلاف جریان هوا است غلبه کند که این باعث اعمال فشارهای غیرعـادی روی پـره بادبزن می‌شود و یک بار اضافی روی موتور بادبزن ایجاد می‌کند و اگر اثر عملکرد قطار در همان جهت عادی باشد ممکن است بادبزن شتاب بگیرد.

فشار هوا پیوسته بین ایستگاه و سطح خیابان درحال تغییر است. طبـق اسـتاندارد ۱۳۰ انجمـن بیـن المللی محافظت از آتش سوزی، حداکثر فشار ناپایدار و ایستایی به ترتیـب بـاید کمـتر از ۷۰۰ و ۴۰۰ پاسکال باشد [۸].

۳ – ۴ – تهویه در تونلها و ایستگاههای مترو

۳-۴-۱- بار حرارتی ایجاد شده در ایستگاهها و تونلها

بار حرارتی ایجادشده در فضاهای تونلها، سکوها و ایستگاهها را می توان به دو گروه زیر تقسـیم بنـدی کرد [۴]:

الف) بار حرارتی که بصورت ثابت ایجاد می‌گردد. منابع این حرارت شامل تجهیزات و موارد به شرح زیر است:

-کابلهای برق داخل تونل

-چراغهای داخل تونل

-کابلهای برق رسانی به قطار

-حرارت خروجی از دستگاههای تهویه مطبوع واگنها

-حرارت خروجی از کمپرسورهای واگنها

-حرارت ناشی از اصطکاک قطار با ریل و با هوای محیط

-حرارت حاصله از مسافرین

انرژی حرارت ایجاد شده از منابع یادشده بسته به نوع تجهیزات ، نوع قطار و تعداد مسافرین تا حدود ۵۰۰ کیلووات می‌رسد .

ب) حرارت حاصله از حرکت دینامیکی قطار

این بار حرارتی دراثر حرکت و ترمز کردن قطار ایجاد می‌شود و ارتباط مستقیم با شتاب تندشونده ، شتاب کندشونده و سرعت قطار دارد.

یک قطار در ابتدا شتاب می‌گیرد تا به سرعت یکنواخت خود برسد و پس از طی مسیر شروع به کم کردن سرعت می‌نماید تا بتواند در سکوی ایستگاه متوقف گردد. هردو شتاب تندشونده و کندشونده درنهایت ایجاد حرارت می‌کنند که به داخل تونلها و سکوها منتقل می‌شود.

میزان حرارت ایجاد شده از حرکت دینامیکی قطار قابل ملاحظه است و بسته به نوع قطار، وزن قطار و سیستم ترمز آن به حدود ۲۰۰۰ کیلووات هم می‌رسد .

مقدار زیادی ازاین حرارت وارد قسمت ورودی تونل (ناحیه‌ای از تونل قبل از ایستگاه که سرعت حرکت کاسته می شود) و سپس وارد سکوها می شود و همچنین مقدار دیگری وارد قسمت عزیمت تونل (ناحیه‌ای از تونل بعد از ایستگاه که قطار اقدام به سرعت گیری می‌کند) می‌شود. یعنی به دو ناحیه تونل قبل و بعد از ایستگاه مقدار زیادی حرارت ایجاد می‌شود واین حرارت بایستی هرچه زودتر قبل از رسیدن قطار دیگر تخلیه شود .

وقتی قطار در سرعت یکنواخت حرکت می‌کند، توان مصرفی موتورهای برقی واگن کم بوده و فقط برای ازبین بردن اصطکاک بین ریل قطار مصرف می‌شود ولی وقتی قطار شتاب می گیرد موتورها در حداکثر قدرت خود شروع به کار کرده و باعث ازدیاد شدت جریان برق و درنتیجه حرارت حاصله از آن می‌شود[۴] .

نوع ترمز معمولاً Regenerative می‌باشد یعنی اینکه مولدهای برق حرکت دینامیکی قطار را به برق تبدیل کرده و به عنوان مانعی در مقابل حرکت قطار عمل می‌کنند، برق تولید شده را می توان مانند بعضی از کشورهای پیشرفته بازیابی کرده و دو مرتبه به شبکه برق فرستاد ولی در بیشتر سیستمهای نصب شده، به علت مسائل اقتصادی ، برق ایجاد شده در مقاومت‌های الکتریکی مخصوص که در زیر واگنها نصب شده‌اند ، تبدیل به حرارت می شود و این حرارت است که معمولاً قسمت اعظم آن توسط تهویه زیر سکوها تخلیه فوری می شود [۴] .

به طور خلاصه حرارت وارده به یک تونل دراثر حرکت قطار در دو ناحیه انتهای خط یعنی ناحیه ماقبل و مابعد یک ایستگاه مقدار قابل توجهی است و این خود دلیلی برای ایجاد چاههای تهویه دراین نواحی است.

۳-۴-۲- سیستمهای تهویه تونلها و ایستگاهها

سیستمهای تهویه یک شبکه مترو را می توان به سه گروه زیر تقسیم بندی کرد [۴] :

الف) تهویه و خنک سازی سکوها و ایستگاهها برای ایجاد شرایط محیطی مناسب جهت مسافرین .

ب) سیستم تهویه زیرسکوها که مؤثرترین روش برای تخلیه فوری حرارت ایجاد شده دراثر ترمز کردن قطار است و مانع از ورود این حرارت به سکوها می شود.

ج) تهویه ایستگاهها و تونلهای مترو به روشهای تهویه طبیعی ، تهویه ناشی از اثر پیستونی قطار و تهویه مکانیکی انجام می‌شود.

برای طراحی سیستم تهویه مترو لازم است که مقاومت کل شبکه و شدت جریان مورد نیاز سیستم تعیین شود و با شدت جریانی که در اثر تهویه طبیعی و اثر پیستونی قطار بوجود می‌آید مقایسه شود، اگر کمتر بود سیستم نیازی به تهویه مکانیکی ندارد و اگر بیشتر بود سیستم تهویه مکانیکی را به گونه‌ای طراحی می‌کنند تا کمبود جریان مورد نیاز سیستم برآورده شود. سیستم تهویه مکانیکی در تهویه، تهویه مطبوع و تهویه اضطراری در داخل ایستگاهها ، تونلها و قطارهای مترو استفاده می شود. سیستم تهویه مکانیکی که جهت تهویه به کار می‌رود مقدار کمبود شدت جریان هوای سیستم مترو را در مواقع عادی تامین می‌کند، درحالی که سیستم تهویه مکانیکی که جهت تهویه اضطراری به کار

می‌رود باید کل شدت جریان مورد نیاز سیستم مترو را در مواقع آتش سوزی تامین کند. البته در بعضی سیستمهای مترو، سیستم تهویه مکانیکی را طوری طراحی می کنند که می تواند هم برای تهویه و هم تهویه اضطراری استفاده شود[۴] .

تهویه اضطراری در کلیه سیستمهای مترو به کار می‌رود، زیرا در مواقع اضطراری دود و هوای گرم از راههای خروجی مترو به بیرون می رود و باعث کاهش تهویه طبیعی می شود. علاوه بر آن قطارها متوقف می‌شوند و تهویه ناشی از اثر پیستونی آنها نیز ازبین می‌رود. در آن هنگام سیستم تهویه اضطراری وارد عمل می شود و هوای سالم را جهت رقیق کردن دود وکاهش درجه حرارت به داخل سیستم مترو می فرستد [۴] .

۳ – ۴ – ۳ – تهویه طبیعی ایستگاه‌ها و تونل‌های مترو

حرکت طبیعی هوا در تونل‌ها و ایستگاههای مترو که در اثر اختلاف فشار تونلها و ایستگاههای مترو با محیط بیرونی به وجود می‌آید را تهویه طبیعی می‌نامند. به علت عمق کم ایستگاهها و تونلهای مترو اختلاف فشار بیشتر به اختلاف دمای محیط مترو با محیط بیرونی و سرعت باد بستگی دارد . اختلاف دمای بین ایستگاه و محیط بیرون عامل مهمی در تهویه طبیعی ایستگاه است[۸].

درداخل ایستگاه بدون درنظرگرفتن حرکت قطارها ، در اثر اختلاف دمای ایستگاه با بیرون ، حرکت هوا از طریق پلکانها به سمت بیرون ایستگاه است و به سرعتهای ۱ تا ۲ متر برثانیه می‌رسد. جریان هوای طبیعی در متروها فقط در نیمه شب به مدت طولانی ثابت است، زیرا تغییرات دمای تونلها وایستگاههای مترو با محیط بیرون به حداقل می‌رسد. باد از نظر سرعت و جهت یک کمیت برداری است و پیش زمینه‌ای از تهویه مترو است. تهویه‌ای که در اثر باد به وجود می‌آید تابعی از اندازه حرکت آن است. شرایط آب و هوای محلی و ناحیه‌ای رفتار جریان هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عواملی که جریان باد را در تونلها و ایستگاههای مترو تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارت اند از [۹] :

الف – سرعت و جهت باد ناحیه‌ای ،

ب – اختلاف دما و رطوبت هوای محیط با تونلها و ایستگاههای مترو ،

ج – در مقیاس کوچک شرایط آب و هوای سطح خیابان :

- گردبادهای بالای منطقه ورودی و خروجی ایستگاهها ،

- شیب تغییرات دما و وزن مخصوص هوای تونلها و ایستگاههای مترو و بیرون ،
- میزان قرار گرفتن در معرض تابش آفتاب ،
- زمانی از روز که در آن قرار داریم ،
- فصلی از سال که در آن قرار داریم .

برای اندازه گیری سرعت باد در متروها از بادسنج‌های مافوق صوت (سونیک‌ها) استفاده می‌شود. دقت سونیکها ۲/۵ سانتیمتر درثانیه و دمای ۲درجه سانتیگراد است[۱۰].

۳ – ۴ – ۴ – تهویه ناشی از اثر پیستونی

هر وسیله نقلیه که در داخل تونل حرکت می‌کند اثری مشابه یک پیستون در داخل یک لوله بلند دارد . در جلوی وسیله نقلیه فشار زیاد و در پشت آن فشار کم تأثیر می‌گذارد ودرنتیجه نیرویی ایجاد می‌شود که هوای داخل تونل را به حرکت درمی‌آورد. شدت جریان هوایی که از این طریق ایجادمی‌شود، عمدتاً به سرعت وسیله نقلیه ، هندسه تونل و وسیله نقلیه و مشخصات آئرودینامیکی آنها بستگی دارد. نسبت مساحت مقطع مؤثر قطار به سطح مقطع تونل نسبتاً زیاد است به طوری که درتونلهای یک خطه ۰/۵ تا ۰/۶ و برای تونلهای دو خطه ۰/۲ تا ۰/۳ است. در نتیجه مقدار هوایی که در اثر حرکت قطار به جریان می‌افتد ، قابل توجه است [۶] .

قطارها مانند نیروی اولیه‌ای هستند که هوا را به داخل و خارج ایستگاه پمپ می‌کنند . وضعیت‌های مبادله شده بین سطوح مختلف یک ایستگاه به افت دما و ورود و خروج قطارها (در واحد زمان) بستگی دارد. میزان مبادله هوا همچنین به نسبت بین حجم کل سکو به حجمی که توسط قطارها اشغال شده است بستگی دارد [۸] .

هدف اصلی از به دست آوردن اطلاعاتی درباره تبادل هوا بین تونلها و ایستگاههای مترو و بیرون مخصوصاً در ورودیهای ایستگاه، این است که مشخص شود تاچه میزان حرکت قطارها ، رفتار جریان هوا در سکوها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. برای مشخص شدن میزان تأثیر حرکت قطارها بر جریان هوا اندازه‌گیری در محیط‌های زیر لازم است:

الف – وضعیت جریان هوا در مقاطع مختلف طولی در کنار سکو

ب – در ابتدای سکو، جایی که قطارها با سرعت بالا وارد می‌شود، جایی که نگه می‌دارد و جایی که انتهای قطار با سرعت نسبتاً پایین سکو را ترک می‌کند.

ج – در انتهای سکو، جایی که قطار با سرعت نسبتاً پایین وارد می‌شود، جایی که نگه می‌دارد و جایی که انتهای قطار با سرعت نسبتاً بالایی سکو را ترک می‌کند.

د– در وسط سکو ، جایی که قطار با سرعت متوسطی وارد می‌شود و آن را ترک می‌کند [۸] .

حرکت قطارها سرعتهای زیادی در جریان هوا مخصوصاً در ابتدای سکو ایجاد می‌کنند . هنگامی که قطاری وارد ایستگاه می‌شود یک موج فشاری در جلوی قطار هوا را از میان خروجی‌ها به بیرون هدایت می‌کند و جهت حرکت هوا به سمت پایین ایستگاه و محیط بیرون است. به طور مشابه وقتی که قطاری از ایستگاه خارج می‌شود به علت این که فشاری زیر فشار اتمسفر بوجود می‌آورد هوا از بیرون به داخل ایستگاه مکیده می‌شود و جهت حرکت هوا به سمت بالای ایستگاه است [۸] .

با توجه به اینکه اثر پیستونی در تونلهای یک خطه قابل ملاحظه است معمولاً در ورودی و خروجی‌های ایستگاه چاههایی برای کنترل و کاهش این اثر تعبیه شده است که بادبزن‌هایی داخل این چاهها جریان هوا را هدایت می‌کنند در تونلهای دوخطه معمولاً عبور قطارها از کنار یکدیگر این اثر را تا حد زیادی خنثی می‌کند.

به خاطر موج فشاری ، سرعت باد به طور غیرمنتظره‌ای افزایش پیدا می‌کند و به سرعتهایی در حدود ۱۰متر بر ثانیه می‌رسد، ولی در اثر مکش سرعت باد بطور جزئی افزایش می‌یابد و به سرعتهایی حدود ۵ تا ۷ متر بر ثانیه می‌رسد، زیرا که شتاب گرفتن به طور آهسته است. عمل دهشی و مکشی حرکت قطارها باعث ایجاد اختلاف دمایی در حدود ۱۴ درجه سانتیگراد در فاصله کوتاه در محل ایستگاه می‌شود [۱۲] .

۳ – ۴ – ۵ – تهویه مکانیکی ایستگاهها و تونلهای مترو

تهویه مکانیکی ایستگاهها و تونلهای مترو جهت برطرف کردن کمبود هوای کافی و یا در مواقع اضطراری به کار می‌رود که به روشهای زیر انجام می‌شود [۶] :

الف – تهویه طولی

- تهویه طولی با استفاده از بادبزن اصلی

- تهویه طولی با استفاده از دویل میانی
- تهویه طولی با استفاده از بادبزنهای سقفی

ب – تهویه عرضی

ج – تهویه نیمه عرضی

- تهویه نیمه عرضی با کانال هواده
- تهویه نیمه عرضی با کانال هواکش

از این روشها ، تهویه طولی با استفاده از دویل میانی و بادبزن اصلی برای تونلها و تهویه عرضی و نیمه عرضی برای تهویه ایستگاهها عموماً کاربرد بیشتری دارند. جهت تهویه اضطراری نیز گاهی اوقات از بادبزنهای سقفی کمکی استفاده می‌شود. بهرحال برای تهویه مترو معمولاً ترکیب‌های مختلفی از روشهای فوق به کار می‌رود[۱۰].

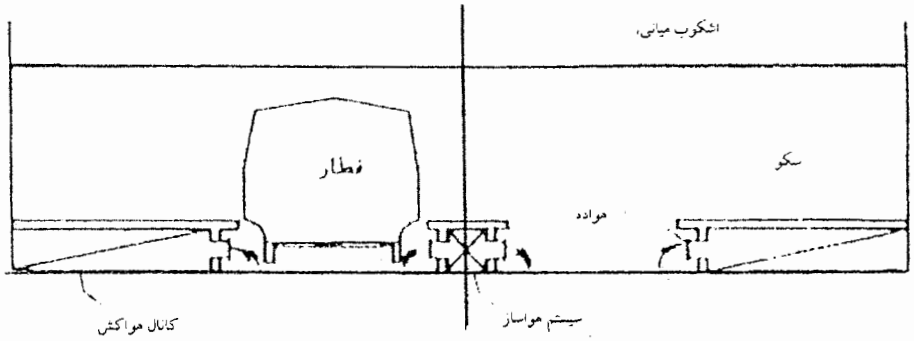
طراحی سیستمهای تهویه نیاز به قضاوت و نظر فنی در مورد ضوابط و معیارهای اجرایی ، آیرودینامیک آکوستیک، سیستمهای حرارتی و کنترلی دارد. درک سیستم تهویه مترو مهم است زیرا رقیق کردن هوای تونلها و ایستگاههای مترو به سرعت و حجم هوای مبادله شده با هوای محیط بیرون بستگی دارد. این تبادل به صورتهای زیر انجام می شود :

الف - مبادله افقی ، در همان ایستگاه و سکو ،

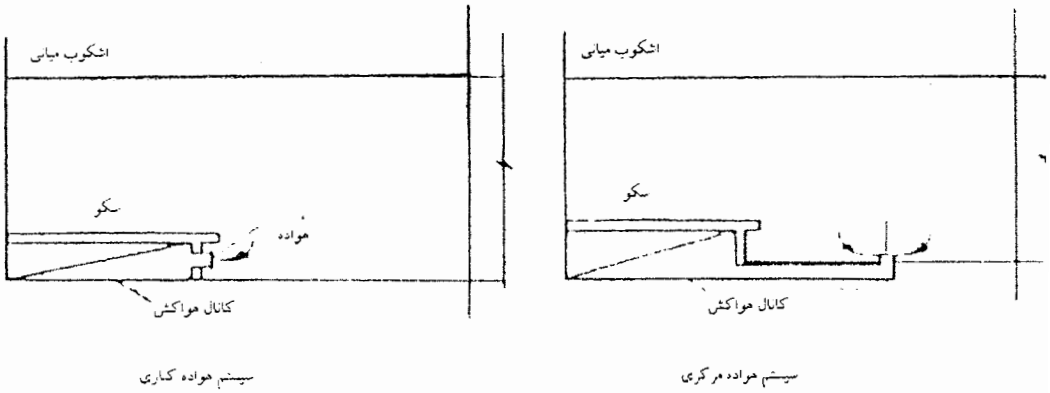
ب - مبادله عمودی ، در ایستگاه روی طبقات مختلف ،

ج – مبادله افقی پنهانی، در تونلهای بین ایستگاهها [۱۳] .

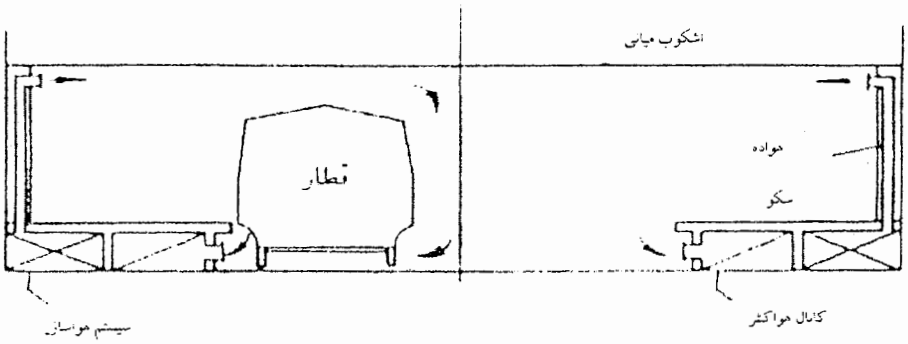
میزان مبادله هوای تونلها و ایستگاههای مترو با محیط بیرون برای پیشگیری مؤثر از بیماریها مهم است. در تونلهای مترو تجهیزات رفع و کاهش حرارت، بیشتر از وسایل تأمین هوای سالم برای افراد است و گاهاً هوای تصفیه شده در تونلها وجود ندارد. برای اینکه دمای هوای سکوها برای مسافران ناخوشایند نباشد، به وسیله گرم یا سرد کردن هوا دمای آن را کنترل می‌کنند و از طریق فیلترهایی نیز هوا را تصفیه می‌کنند. شکل ۳-۱حالتهای مختلف تهویه عرضی و استخراج زیر سکو در یک ایستگاه را نشان می‌دهد [۶]



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳-۱ – روش های مختلف تهویه عرضی در سکوها[۶].

۳ -۴ – ۶ – مشخصات فنی بادبزن‌های تهویه

مشخصات اصلی بادبزن‌های تهویه به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- بادبزن‌ها باید به صورت برگشت پذیر قادر به عمل کردن باشند.
- بادبزن‌ها باید دارای مقاومت کافی بوده و در زمان کوتاهی بتوانند به صورت معکوس عمل کنند و در مقابل فشار ناشی از حرکت پیستونی قطار مقاوم باشند.
- بادبزن‌ها باید بتوانند در شرایط حریق و در دماهای بالا کار نموده و دود یا هوای لازم را از تونل تخلیه کنند. به طور مثال بادبزن‌ها باید در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد تا ۲/۵ ساعت و در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد تا ۲۰ دقیقه بتوانند کار کنند.
- بادبزن‌ها باید به سادگی تعمیر شده و قابل اطمینان باشند.
- نوع بادبزن‌ها غالباً محوری بوده و زاویه پره‌ها باید قابل تنظیم باشند.
- بادبزن‌های تهویه باید مجهز به دمپرهای اتوماتیک و صداخفه کن‌های مناسب باشند.
- حتی المقدور بادبزن‌های تهویه باید قابل تنظیم دردو یا بیشتر سرعت برای عمل کردن باشند[۱۳].

فصل چهارم ـ تهویه اضطراری

فصل چهارم - تهویه اضطراری

۴ - ۱ - آشنایی

سیستم‌های متروی شناخته شده قبل از دهه ۱۹۸۰ میلادی به دلیل داشتن اطلاعات ناقص درباره تخلیه مسافر از ایستگاه‌ها و تونل‌های مترو به تهویه اضطراری یا کم و یا اصلاً اهمیت نداده بودند. سیستم‌های تهویه اضطراری باید اثرات طراحی وسایل نقلیه، انتخاب نوع مواد و مصالح ، سیستم‌های اعلان کننده ، خروجی اضطراری ، سیستم‌های آتش نشانی و اثرات آنها بر یکدیگر را بررسی کنند. عمومی ترین حریق‌ها در مترو حریق‌های الکتریکی هستند . پارامترهای مهم یک آتش سوزی مقاومت احتراق ، پخش شعله، تولید دود و دوام آتش سوزی است. در یک حریق تقدم عملیات به ترتیب رهایی ، نجات و حفظ زندگی مسافران و خاموش کردن آتش است [۱۴] .

آتش سوزی‌ها در ایستگاه‌های مترو تهدیدی جدی برای ایمنی مسافران محسوب می‌شوند زیرا تعداد زیادی از مردم از این وسیله استفاده می کنند و محیط محبوس و محدود است. در موارد آتش سوزی که شامل آتش و تولید گرما است، تولیدات احتراق که حرارت زیادی دارند، ممکن است سمی باشند و دید را کاهش دهند. تهویه اولین اقدام در مهار این موارد است [۱۴] .

در رابطه با ایمنی ، دود مهمتر از گرما است. کنترل آتش و دود در تونل به عنوان یک فاکتور تعیین کننده در طراحی تجهیزات تهویه بشمار می‌رود. انتقال دود مهمترین عامل در نجات افراد داخل تونل است. به کمک تهویه نیمه عرضی یا طولی می‌توان از پراکنده شدن دود جلوگیری کرد. طراحی سیستم تهویه اضطراری باید بگونه‌ای باشد که موقعیت‌های مناسب مسیرهای تخلیه را فراهم کند . این سیستم باید ظرفیت کافی داشته باشد تا محصولات مضر احتراق را پاک‌سازی و رقیق کند و دمای محیط را به حدّاستاندارد برساند. پیش‌بینی وکنترل جابجایی گرما و دود در داخل ایستگاه و تونل‌ها به منظور تنظیم پلان، اقدامات فوری و ایجاد مسیر ایمن برای مسافران الزامی است [۱۳] .

جابجایی گرما و دود در یک محیط بسته بزرگ از قبیل ایستگاه مترو توسط پدیده جریان مغشوش مشخص می‌گردد. بسته به طراحی ایستگاه ، تهویه مکانیکی ممکن است نیاز باشد یا نباشد . اگر طراحی ایستگاه به اندازه کافی باز باشد ، دود و گرمای ناشی از آتش مستقیماً به سمت اتمسفر جریان پیدا کرده و رقیق خواهد شد. به واسطه حجم زیاد هوا که باید جابجا شود و تمایل به راکد ماندن دود

و گرما ، تهویه بعضی از ایستگاه‌ها بسیار مشکل است. دود تا آنجا که ممکن است باید از منبع حریق خارج گردد، بنابراین دانستن اندازه و گستردگی آتش‌سوزی و مقدار و دمای دود تولیدی مهم و ضروری است. اگر دود با هوای تازه رقیق گردد، دمای آن کاهش می یابد. اساس کار کنترل دود اینست که سرعت کافی برای دمیدن دود به بیرون از طریق مسیرهای تخلیه فراهم گردد. مثلاً برای یک حریق ۱۵ مگاواتی سرعت ۳ متر در ثانیه جهت تضمین حرکت دود کافی است [۱۵] .

تهویه تخلیه‌ای یا تهویه مکشی - دهشی از روش‌های تهویه اضطراری هستند که در پاک کردن دود و گرما مؤثر هستند و توانایی تأمین مسیرهای پشتیبانی را در لحظات و مواقع اضطراری دارند. بادبزن‌های تهویه اضطراری در تونل‌های طرفین ایستگاه نصب می‌شوند و در دو حالت مکشی و دهشی کار می‌کنند تا مسیرهای تخلیه ایستگاه را در مواقع اضطراری حفظ کنند. در سیستم تهویه تخلیه‌ای، بادبزن‌های اضطراری تونل بصورت مکشی عمل می‌کنند و گرما و دود را از داخل مسیرهای تخلیه خارج می‌سازند. مقدار دود و گرمای جابجا شده تابعی از موقعیت آتش سوزی ، ظرفیت سیستم تهویه و شکل هندسی ایستگاه است. در سیستم تهویه مکشی - دهشی بادبزن‌های یک طرف بصورت دهشی و بادبزن‌های طرف دیگر به صورت مکشی عمل می‌کنند. این عملیات می‌تواند یک شبکه فشار مثبت را در داخل ایستگاه ایجاد کند که باعث خروج دود و گرما به خارج و ورود هوای تازه به داخل ایستگاه می‌شود [۱۳] .

انتخاب روش تهویه اضطراری به نوع سیستم تهویه عادی مترو، موقعیت آتش‌سوزی و تعداد تونل‌های موازی بین ایستگاهها بستگی دارد. اگر محل آتش سوزی داخل تونل، تعداد تونل یکی و سیستم تهویه طولی با دویل میانی استفاده شود، بادبزن‌های ایستگاه بصورت دهشی و بادبزن دویل بصورت مکشی عمل می‌کنند و دود و گرما را تخلیه می‌کنند. اگر آتش سوزی در داخل تونل ، تعداد تونل یکی و سیستم تهویه نیمه عرضی با کانال هواده به کار رود، با معکوس کردن جهت جریان هوابه صورتیکه کانال هواده به طور هواکش عمل کند، دود را از محل به خارج انتقال می‌دهند. اگر آتش سوزی درداخل تونل ، تعداد تونل دو یا بیشتر و سیستم تهویه طولی با استفاده از بادبزن اصلی بکار رفته باشد، در تونل حادثه ندیده فشار را افزایش می‌دهند و با کنترل سرعت طولی در تونل حادثه دیده و سرعت بحرانی در راهروهای عرضی ، از ورود دود به داخل تونل حادثه ندیده جلوگیری کرده و

مسافران به این تونل انتقال می‌یابند. اگر محل آتش سوزی در داخل ایستگاه و سیستم تهویه طولی با استفاده از دویل میانی بکار رود ، با معکوس کردن جهت جریان هوا به طوریکه بادبزن‌های ایستگاه بصورت مکشی و بادبزن‌های تونل‌ها به صورت دهشی عمل کنند، دود رااز ایستگاه خارج می‌کنند. اگر سیستم تهویه طولی با استفاده از بادبزن‌های سقفی بکار رفته باشد و محل آتش سوزی در بین خروجی‌های ایستگاه باشد از سیستم تهویه تخلیه‌ای استفاده می‌شود. ولی اگر محل آتش در دو انتهای ایستگاه و بیرون از خروجی‌ها باشد از سیستم مکشی -دهشی استفاده می‌شود [۱۳] .

بهرحال باید توجه داشت استفاده از بادبزهای معکوس پذیر و بادبزن‌های دو یا چنددوره برای تلفیق چند وظیفه در یک بادبزن و کاهش هزینه‌ها مواردی است که باید کاملاً مورد بررسی قرار گیرند.

۴ -۲ - ملاحظاتی تحت وضعیت‌های آتش

برای برخورد صحیح و اصولی با مسئله آتش سوزی نیاز به یکسری استانداردها و قوانین در جهت کنترل و ایمنی آتش سوزی وضع گردیده است که بایستی در طراحی ها لحاظ گردد.برخی از موارد عبارتند از:

- آهنگ تخلیه

برآوردهای اولیه‌ای از وضعیت‌های تونل که باید برای تخلیه و فعالیت‌های در برابر آتش حفظ شوند را می‌توان بدست آورد. زمان تخلیه می‌تواند چندین دقیقه باشد،که بستگی به مسافت موجود برای خروج و سرعت افراد دارد. در حالیکه سرعت نرمال به سوی خروجیهای اضطراری حدوداً ۱/۵ متر بر ثانیه است ممکن است بخاطر وجود دود این سرعت به ۱ متر بر ثانیه کاهش یابد . بهرحال فرض ۱/۵ متر بر ثانیه به عنوان یک برآورد خوب معقول است [۱۴] .

- تابش قابل تحمل

برای اینکه تخلیه ممکن باشد سطح تابش باید زیر حدی که آسیب روی پوست برهنه بوجود می‌آورد باشد. برای چندین دقیقه در معرض آتش بودن مقدار آستانه تقریباً ۲ تا ۲/۵ کیلووات بر مترمربع است. در نزدیکی آتش تابش به همان اندازه دود داغ توسط خود آتش هم ایجاد می‌شود. با فرض اینکه تخلیه سریع ممکن باشد مهار تابش توسط سرویس‌های اضطراری امری حیاتی است [۱۴] .

- دمای هوای قابل تحمل

برای تامین شرایط تخلیه دمای هوا نباید از ۸۰ درجه سانتیگراد که می تواند به مدت ۱۵ دقیقه تحمل شود بالاتر رود [۱۴] .

- حداقل فاصله دید

فاصله دید حداقل ۷ متری برای راه رفتن بی دردسر در هوای دودآلود لازم است. برای خواندن علامت‌ها این فاصله باید ۱۵ متر باشد . بنابراین ، حداقل فاصله دید ۷ تا ۱۵ متری باید برای تخلیه و فعالیت‌های ضد آتش مورد هدف قرار گیرد [۱۴] .

- سمیت

روش منتشر شده معتبری برای محاسبه غلظت قابل تحمل گازهای محرک و سمی که از آتش‌سوزی بوجود می‌آید وجود ندارد. بنابراین غلظت‌های قابل تحمل را نمی‌توان محاسبه کرد. اما این انتظار می‌رود که در بیشتر آتش سوزی‌هایی که در تونل‌ها رخ می‌دهد، تضمین حداقل فاصله دید غلظت‌های گازهای خطرناک را در محدوده‌های قابل تحمل برای تخلیه و فعالیت‌های مبارزه با آتش حفظ خواهد کرد [۱۴] .

- ریزش بتون

ریزش بتون نباید مانع مسافران در فرار از محل آتش شود و جراحاتی نیز به آتش نشانها وارد آورد. ریزش بتون ممکن است در دمای سطحی حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد آغاز شود. برای تونل‌هایی که آستر بتونی ندارند یا با ساختمان سنگی طبیعی هستند این مقدار می‌تواند کمتر باشد . وقتی که ریزش بصورت عمومی بعد از چند دقیقه آغاز می‌شود، ممکن است مشکلی برای افراد درحال فرار در تمام موارد نباشد . بهرحال، همواره خطر برای آتش نشان‌ها وجود دارد چون که آنها بعد از اینکه افراد تخلیه شدند درتونل باقی خواهند ماند[۱۴] .

- از کار افتادن تجهیزات

تجهیزات تونل وقتی که افراد در تونل هستند نباید از کار بیفتند، این بدین معنی است که هیچ وسیله‌ای نباید در دمای زیر ۲۷۰ درجه سانتیگراد در خلال زمانی که برای مهار آتش سوزی لازم است، از کار بیفتد. دمای ۲۷۰ درجه سانتیگراد سطح تابشی حدود ۵ کیلووات بر مترمربع راتولید می کند حداکثر مقدار تابش قابل تحمل برای آتش‌نشانها است تولید می‌کند [۱۴] .

- سرعت هوا

یکی از فاکتورهای مهم در تهویه سرعت هوا در مواقع اضطراری است. سرعت هوا در مسیرهای خروجی نباید از ۱۱ متر بر ثانیه بالاتر رود. سرعت‌های بالای هوا می‌تواند برای افراد در حال گریز مشکل در راه رفتن ایجاد کند و بسته به شرایط نیز سرعت هوا نباید از ۱/۵ متر بر ثانیه پایین‌تر رود [۱۴].

۴ - ۳ - ماهیت آتش‌سوزیهای تونل

آتش سوزیهای اندکی در تونل‌های تهویه شده وجود داشته ، که خسارت جانی به همراه داشته است باستثناء آتش سوزیهایی که در صنعت معدنکاری رخ داده است. تحقیقاتی در آزمایشگاههای ایمنی معادن مانند آنهایی که در انجمن ایمنی و بهداشت انگلستان (در گذشته مؤسسه پژوهشی ایمنی در معادن) است، انجام شده است. آتش سوزیها در تونل‌های تهویه شده در سه مورد قابل ملاحظه با آتش سوزی در ساختمانها و کارخانه‌های صنعتی متفاوت است[۱۴] .

اولاً، تولیدات احتراق که شامل گاز مونوکسید کربن (CO) ناشی از آتش سوزی می‌شود می‌تواند در داخل تونل توسط سیستم تهویه حمل شود.

دوماً آتش سوزیها در تونل خیلی سریع گسترش پیدا می‌کند، بیشتر انرژی آتش نیز صرف گرم کردن هوای تهویه می‌شود و دمایی برابر ۸۰۰ درجه سانتیگراد به آسانی حاصل می‌شود. این می تواند تأثیری چون انتقال گرما به هر ماده قابل اشتعال و تجزیه شدنی در مسیرش داشته باشد. دو نوع مختلف آتش سوزی که شامل آتش سوزی غنی از اکسیژن و آتش سوزی غنی از ماده سوختنی است در تونل‌ها رخ می‌دهد.

سوماً ، توزیع فشار در سرتاسر تونل بصورت قابل ملاحظه‌ای توسط آتش سوزی بزرگ تحت تأثیر قرار می‌گیرد یک آتش سوزی در داخل تونل مشکلات اساسی برای رانندگان ، کارکنان ، افراد آتشنشان و مسافران پدید می‌آورد. اصلی‌ترین حوزه‌های نگرانی ، گرما ، دود ، سرعت محدود فرار و زمان طولانی برای پرسنل آتش‌نشانی در رسیدن به گرمای آتش سوزی است[۱۶] .

۴ - ۴ - هدف‌های کنترل دود و آتش

با توجه به اهمیت هدف‌های کنترل آتش و دود در تونل‌ها عبارتند از :

- حفظ جان افراد با ممکن ساختن تخلیه افراد،
- ممکن ساختن فعالیت‌های ضدّ آتش و نجات افراد،
- حفظ سازه تونل [۱۶] .

تأکیدهای مختلفی ممکن است به هدف‌های گفته شده در بالا داده شود ، در این که حفظ جان افراد همواره یک اولویت شمرده می‌شود. این مخصوصاً به حفاظت خود تونل وابسته است، که ممکن است در درجه کمتری از اهمیت قرار گرفته باشد[۱۶] .

۴ -۵ - الگوی آتش‌سوزی

موادی که در آتش سوزی‌ها در تونل می‌سوزند غالباً شامل صندلی‌ها ، مواد پلاستیکی، خود بدنه، سوختها و روغن‌ها و غیره می‌شوند. مشخصات گوناگونی از الگوهای آتش سوزی بسته به اینکه هدف طراحی تأسیسات تهویه است یا سازه تونل باید استفاده شود. در بررسی ها ، آتش‌سوزیهایی با دامنه ۱/۵ تا ۳۰ مگاوات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اینها برای جلوه دادن بهترین امکان بار آتش سوزی گذرا در طول تونل درنظر گرفته شدند. آنالیزها ابتدا بر مبنای تونلهایی فاقد سیستم تهویه که نتیجتاً دود در هر دو جهت بطور همزمان حرکت می‌کند، درنظر گرفته شدند[۱۴].

معمولاً آتش‌سوزیهای که در سیستم‌های قطار شهری زیرزمینی (مترو) رخ می‌دهد، براساس آزمایش‌ها و اندازه‌گیریهایی است که از سوزاندن یک واگن قطار انجام شده و در حدود ۷ مگاوات برآورد شده است که این رقم در مبنای طراحی در کشورهای پیشرفته به کار برده می‌شود[۱۴].

حریقی به قدرت ۷ مگاوات توانایی تولید ۲۵ متر مکعب در ثانیه دود را دارد که می‌تواند ناحیه‌ای از تونل را کاملاً مسدود کند. بنابراین دستگاههای تهویه داخل تونل بایستی طوری عمل کنند که سرعت هوا و شدت جریان لازم را در داخل تونل ایجاد نموده و دود حاصل از آتش سوزی را درجهت مورد نظر هدایت کند که در نتیجه آن مأمورین آتش نشانی بتوانند از جهت مخالف تخلیه دود وارد تونل شوند و مسافرین نیز از همین جهت بتوانند از تونل خارج شوند[۴] .

این سرعت که به نام سرعت بحرانی نیز خوانده می‌شود سرعتی است که آتش سوزی و دود و گازهـای حاصله از آن فقط در یک جهت تخلیه گشته و قابلیت حرکت در جـهت مخـالف آن را نداشـته باشـد. مقدار این سرعت در تونل‌ها بین ۱/۵ الی ۳ متر بر ثانیه متغیر است که بستگی به قدرت آتش سـوزی، سطح مقطع تونل و ارتفاع آن دارد که در قسمت‌های بعدی درباره سرعت بحرانی بیشتر بحـث خواهـد شد[۴].

در آنالیزهای مربوط به آتش سوزی باید موارد زیر اندازه گیری شود:

- آهنگ تولید دود
- دمای لایه دود
- سرعت جابجایی دماغه لایه دود در طول تونل
- عمق لایه دود
- فشار اعمال شده توسط لایه دود
- حجم هوای مورد احتیاج برای جلوگیری از پیشرفت دماغه لایه دود
- تابش مورد انتظار ناشی از آتش سوزی
- دمای مورد انتظار از لایه دود در فواصل متغیر از آتش سوزی[۱۴].

۴ - ۶ - گذرگاه‌های عرضی در تونل‌ها

از نقطه نظر ایمنی تونل‌های دو قلو با دوخط جدا از هم فواید قابل ملاحظه‌ای در مقایسه بـا تونل‌هـای منفرد دوخطه دارند. به هنگام وقوع آتش‌سوزی با افزایش گازهای سمی حفظ راه‌های فرار از خطر دود و گاز در درجه اول اهمیت قرار دارد. در خیلی از تونل‌های راه ، راه‌آهن و مترو گذرگاه‌های عرضـی بـه عنوان راه‌های فرار اضطراری و به هنگام آتش سوزی به کار گرفتـه می‌شـود. درایـن حـالت تونـل دوم می‌تواند به عنوان گریزگاه ایمن مورد استفاده قرار بگیرد. این گذرگاه باید به منظـور یـک راه مطمئـن تخلیه مسافران خالی از دود باقی بماند و درعین حال سیستم باید به گونه‌ای باشـد کـه تونـل حادثـه ندیده نیز خالی از دود باقی بماند . این گذرگاه‌ها باید در فواصل مناسبی برای ایمنـی کـافی مسـافران تعبیه شود.

۴-۷- فاصله گذرگاههای عرضی در تونلهای دوقلو

برای اینکه به استفاده کنندگان تونل اجازه فرار به تونل دوم حادثه ندیده داده شود و یک راه دسترسی خالی از دود برای سرویسهای اضطراری در دسترس باشد گذرگاههایی باید در فواصل منظم تعبیه شوند .

در بیشتر موارد سطح ایمنی با کاهش فاصله گذرگاهها (در بیان عمومی همان راههای فرار) افزایش می‌یابد. بهرحال هزینه ساخت و تجهیزات تکنیکی آن کمابیش بصورت خطی با تعداد گذرگاههای عرضی افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر سود اضافی راههای اضافی با تعداد فزاینده راههای فرار کاهش می یابد و پول در سطوح ایمنی دیگر که باعث سطح ایمنی کلی بالاتری می‌شود بهتر سرمایه‌گذاری می‌شود[۱۸] .

فاصله بین دو گذرگاه بایستی بهینه باشد ولی بدان جهت که تأثیرش روی سطح ایمنی قابل ملاحظه است و هزینه‌های گذرگاه بصورت چشمگیری از یک حالت به حالت دیگر متفاوت است کار آسانی نیست. آنالیزهای مخاطره در برآورد صحیح این فاصله می‌تواند کمک کند اما بهرحال، روش تقریباً دقیق نیست و نتایج نیز اغلب واضح نیستند[۱۸].

۴-۷-۱- تونل‌ها و دستورالعمل‌های موجود

جدول ۴-۱ مرور کلی بر مشخصات اصلی تعداد کمی از تونل‌های راه‌آهن دارد. تونل سیمپلون قدیمی‌ترین این تونلها است .

این یک حقیقت چشمگیر است که تونلی که در اوایل قرن گذشته ساخته شده، یک تونل دوقلو با گذرگاههای عرضی به فاصله معمول ۵۰۰ متر است. بهرحال، هدف اصلی برای اینکار تأمین یک سیستم تهویه مؤثر به هنگام ساخت و نه جنبه ایمنی بوده است.

امروزه فاصله گذرگاهها اصولاً براساس جنبه‌های ایمنی تعیین می‌شود[۱۸].

جدول ۴ – ۱ – تونلهای طولانی موجود یا در حال اجراء[۱۸]

تونل	طول	سال احداث	فاصله گذرگاهها	نکات
سیمپلون	۲۰ km	۱۹۰۶	۵۰۰ m	گذرگاه‌های عرضی با فاصله منظم قرار دارند
تونل کانال	۵۰ km	۱۹۹۴	۳۷۵ m	تونل سه خطه با تهویه طولی
گریت بلت	۸km	۱۹۹۷	۲۵۰ m	تهویه طولی
ورینا	۱۹ km	۱۹۹۹	--	تونل یک خطه
فیرن زولا	۱۴ km	۲۰۰۶	--	تونل یک خطه
گوت هارد بیس	۵۷ km	۲۰۱۳	۳۲۵ m	دو ایستگاه نجات
لوچ برگ بیس	۳۵km	۲۰۰۷	۳۳۳ m	یک ایستگاه نجات
مونت آمبین	۵۲km	۲۰۰۰	۴۰۰ m	یک ایستگاه سرویس و اضطراری

تنوع فاصله گذرگاهها در تونلها خیلی طویل **(۲۵km <)** تقریباًکم است (بین ۳۲۵ تا ۴۰۰ متر) . برای تونلهای طویل **(۵km <)** و ضعیت ناواضح تر است. تونل ورینا یا فیرنزولا نمونه‌هایی از تونلهای منفرد با فاصله راه‌های فرار طولانی (نصف طول تونل) است، درحالیکه تونل گریت بلد فاصله‌ای فقط ۲۵۰ متری بین گذرگاههای آن دارد[۱۸] .

تنها دستورالعمل موجود که صریحاً یک فاصله بین گذرگاهها برای تونلهای راه آهن پیشنهاد می‌کند ، دستورالعمل **EBA** آلمان است. جدول۴-۲ فاصله مشابهی در نسخه‌ای از دستورالعملهای اتریشی می‌توان پیدا کرد[۱۸] .

جدول ۴-۲- فاصله پیشنهادی در تونلهای راه آهن[۱۸].

کشور	انتشار	سال	فاصله گذرگاهها	نکات
آلمان	EBA	۱۹۹۷	۱۰۰۰ m	برای تونل های بزرگتر از یک کیلومتر

برای تونلهای راه در بعضی از کشورها فاصله ماکزیممی بین گذرگاهها در دستورالعملهای بین‌المللی تعریف شده است. (جدول ۴-۳)

جدول ۴-۳ – فواصل پیشنهادی در تونلهای راه از دستورالعمل‌های ملی انتخابی [۱۸]

کشور	انتشار	سال	فاصله گذرگاهها	نکات
اتریش	RVS9.281/9.282	۱۹۸۹	**۵۰۰ m**	تا ۱۰۰۰ متر مجاز است.
آلمان	RABT	۱۹۸۴	**۳۵۰m**	در RABT جدید فاصله تا ۳۰۰ متر کاهش می یابد
سویس	Tunnel Task Force	۲۰۰۰	**۳۰۰ m**	-

ترافیک ترنی معمولاً ایمن تراز ترافیک راه است. بنابراین ممکن است این استدلال شود که فاصه گریز در تونلهای ریلی از تونلهای راه می‌تواند بیشتر باشد، دلایل زیر نشان می‌دهد که با وجود مخاطره کمتر تونلهای ریلی فاصله بین دو گذرگاه عرضی نباید بیشتر از تونلهای راه باشد:

- کیفیت راه‌های فرار: وضعیت‌های فرار در تونلهای راه معمولاً بهتر از تونلهای ریلی است (راه‌های فرار نورانی تر و عریض‌تر) . این عوامل بر زمان گریز (که واقعاً پارامتر مهمی است) در جهت مثبت تأثیر می‌گذارد.
- تراکم جمعیت : ظرفیت معمول یک ترن پر حدوداً ۲۵۰ مسافر در ۱۰۰ متر طول ترن است. در ترن‌های دو طبقه این مقدار به ۳۵۰ مسافر در ۱۰۰ متر طول ترن می‌رسد. در تونلهای راه- با فرض ۱۵ ماشین در ۱۰۰ متر با ۲ سرنشین در هر ماشین – این تعداد بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر است (۳۰ نفر در ۱۰۰ متر) حتی اگر ۲ خط ترافیک باشد نیز این تعداد بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر است.

- مسافران واقع در دو سمت آتش : در تونلهای راه دوقلو با ترافیک یکطرفه در اکثر موارد مسافران در یک سمت آتش قرار دارند. این قسمت از تونل می‌تواند با یک تهویه طولی خالی از دود حفظ شود ولی در تونلهای ریلی اینگونه نیست[۱۸] .

این دلایل می‌تواند فواصل نسبتاً کوتاه بین گذرگاه‌های عرضی که در استاندارد آمریکا برای سیستمهای مترو وجود دارد را توجیه کند - جدول ۴-۴ مروری بر دستورالعمل‌های موجود برای سیستمهای مترو را نشان می‌دهد[۱۸].

جدول ۴-۴- فواصل پیشنهادی بین راههای فرار در تونلهای مترو از دستورالعمل‌های ملی انتخابی[۱۸]

کشور	انتشار	سال	فاصله	نکات
آمریکا	NFPA 130	۲۰۰۰	**۲۴۴ m**	-
آلمان	BOStrab	۱۹۸۷	**۶۰۰ m**	-

۴ - ۷ - ۲ - معیارها

برای تعیین فاصله بین گذرگاهها معیارهای زیر وجود دارد:

- تراکم ترافیک : احتمال تصادف یا آتش سوزی متناسب با تعداد وسایل نقلیه در تونل است. علاوه بر این احتمال اینکه چند ترن توماً در تونل باشند، با افزایش تراکم ترافیک رشد می‌کند. در تونلهایی با ترافیک خیلی بالا راه‌های فرار واجب‌تر نسبت به تونلهایی با ترافیک خیلی پایین هستند.
- نوع ترافیک : اگر ترافیک مخلوط مجاز باشد(حمل کالا و مسافر) و هیچ محدودیتی در حمل کالاهای خطرناک نباشد، مخاطره آتش سوزی خیلی بیشتر از تونلهایی با حمل مسافر تنها و محدود در حمل کالا است.
- تراکم جمعیت : تراکم بالای جمعیت (بطور مثال تعداد افراد در ۱۰۰ متر طول تونل) ممکن است تقاضای گذرگاههای بیشتر (یا راههای فرار بزرگتر) برای جلوگیری از اجتماع افراد در جلوی ورودی گذرگاههای عرضی را مطرح کند.

- تهویه تونل : وجود یک سیستم تهویه خیلی مؤثر ممکن است بر فاصله بین گذرگاهها مؤثر باشد اگر گسترش دود توسط تهویه مکانیکی محدود شود، فواصل طولانی تر ممکن است قابل قبول باشد.
- احتمال وجود افراد در دو سمت آتش : اگر آتش سوزی در تونل راه با ترافیک یک طرفه رخ دهد، به طور عادی وسایل نقلیه فقط در یک سمت آتش تجمع می‌کنند. فقط در تونلهایی با احتمال زیاد ترافیک فشرده در داخل تونل افراد ممکن است در دو سمت آتش قرار بگیرند. در تونلهای ریلی آتش سوزی می‌تواند در هر کجای ترن رخ دهد و این یک استثناء است که همگی مسافران در خلاف جهت آتش سوزی در تونلها راه آهن و مترو باشند.
- روشنایی : تجهیزات ایمنی چون روشنایی اضطراری قوی ممکن است بر فاصله گذرگاهها از آن جهت که سرعت گریز در آن تحت تأثیر میدان دید قرار دارد، تأثیرگذار است.
- هزینه‌های ساخت و نگهداری : هر مقدار ایمنی باید از نظر عقلی توجیه پذیر باشد که اگر یک سطح ایمنی مقبول بدست آمد ، هزینه‌ای که برای میزان ایمنی اضافی صرف می‌شود باید توسط اصل آلارپ **(ALARP)** (کمترین میزانی که مستدلاً عملی است) محدود شود. بسته به فاصله بین دو تونل دوقلو و وضعیت‌های زمین‌شناسی موجود ، ساختمان گذرگاه اهمیتهای مختلفی در هزینه‌های کلی دارد.
- سیستم کنترل ترافیک : اگر سیستم کنترل ترافیک وجود داشته باشد، وسایلی که به تونل حادثه دیده نزدیک می‌شوند از ورود به تونل منع می‌شوند و بدین ترتیب افراد در معرض خطر کاهش می‌یابند.
- ترافیک در تونل موازی : به جز اینکه رفت و آمد ترنها متوقف شود، تونل دوم نمی‌تواند به عنوان یک مکان امن برای مسافران درنظر گرفته شود. یک زمان قابل ملاحظه ممکن است برای توقف ترافیک در تونل دیگر در صورتیکه که قطار درحال ورود به آن یا گذر از آن است مورد احتیاج باشد که باید قطار به مسیرش ادامه دهد تا تونل برای تخلیه و یا عبور ترن نجات خالی شود. بنابراین ممکن است که لازم باشد افرادی که از یک ترن فرار کرده‌اند فقط با تأخیر کمی بتوانند به تونل دیگر دسترسی داشته باشند. اگر اندازه گذرگاه‌ها آنقدر نباشد که بتواند پذیرای تمام

مسافران به عنوان مکان امن باشد بنابراین فاصله طولانی گذرگاهها که باعث افزایش زمان فرار می‌شود ممکن است قابل قبول باشد.

- طول ترن : این می‌تواند یک مزیت باشد ، اگر فاصله بین دو گذرگاه از طول معمول ترن بیشتر نباشد. دراین مورد حداقل یک گذرگاه در مجاورت ترن متوقف مستقل از اینکه ترن در کجا توقف کرده وجود دارد.
- راه فرار در داخل ترن : حتی اگر دود متراکم در اطراف ترن متوقف باشد، ممکن است یک راه فرار تقریباً خالی از دود در داخل ترن باشد اگر تهویه واگنها بموقع خاموش شده باشند.
- خط نورد : خط نورد مدرن با مشخصات ایمنی معلوم (مشخصات جاری اضطراری، بار آتش کاهش یافته، ترمزهای اضطراری قوی ، ترنهای غیر دیزل و غیره) احتمال آتش سوزی داخل تونل را کاهش می‌دهند[۱۸].

معیارهای دیگری را نیز می‌توان به این لیست اضافه کرد و این معیارها نیز ممکن است از پروژه‌ای به پروژه دیگر متفاوت باشد.

۴ - ۷ - ۳ - نقش تهویه تونل

تهویه تونل به صورت عمومی به عنوان یکی از عوامل کلیدی برای ایمنی تونل مورد قبول واقع شده است. در تونلهای راه سیستمهای تهویه مختلفی استفاده می‌شود. در تونلهایی با ترافیک یکطرفه تهویه طولی یک عمل عادی به شمار می آید. در موارد آتشسوزی دود در مسیر حرکت وسیله با سرعتی که جهت جلوگیری از لایه لایه شدن آن کافی است هدایت می‌شود (سرعتی که به آن سرعت بحرانی گویند). وقتی که وسایل نقلیه بصورت معمول در خلاف جهت آتش سوزی اجتماع کنند، افراد داخل تونل می‌توانند از قسمت خالی از دود تونل خارج شوند[۱۸] .

در بعضی از تونلهای ریلی دو قلوی مدرن سیستمهای تهویه طولی با وجود این حقیقت که مسافران دراین گونه تونلها در دو سمت آتش قرار می‌گیرند تعبیه شده‌اند. در هنگام فعالیت عادی جریان هوایی در جهت حرکت وسیله توسط اثر پیستونی ناشی از حرکت قطار تولید می‌شود. در مواردی که قطار به خاطر آتش سوزی در تونل متوقف می‌شود، این جریان هوا از گسترش رو به عقب دود ، حداقل در

دقایق اولیه آتش سوزی، جلوگیری می‌کند. تهویه طولی بطور معمول برای نگهداری این جریان بالای سرعت بحرانی طراحی می‌شود ، و بدین گونه ناحیه‌ای از تونل که در خلاف جهت آتش سوزی قرار دارد خالی از دود حفظ می‌شود. با فرض یکنواختی احتمال قرارگیری موقعیت آتش در هرجای ترن، بطور متوسط نصف طول ترن در محدوده خالی از دود قرار می‌گیرد[۱۸].

در پایین تأثیر تهویه طولی در تونلهای ریلی بر روی فاصله گریز تجمعی متوسط درداخل دود روشن شده است. کل فاصله گریز تجمعی **(D)** ، بصورت زیر بدست می‌آید [۱۸] :

$$D = \sum_{i} n_i \times l_i \qquad (۱-۴)$$

که در آن n_i تعداد مسافرانی است که باید فاصله l_i را در دود طی کنند تاجایی که به گذرگاه عرضی مجاور برسند، این فاصله خود به پارامترهای زیر بستگی دارد [۱۸] :

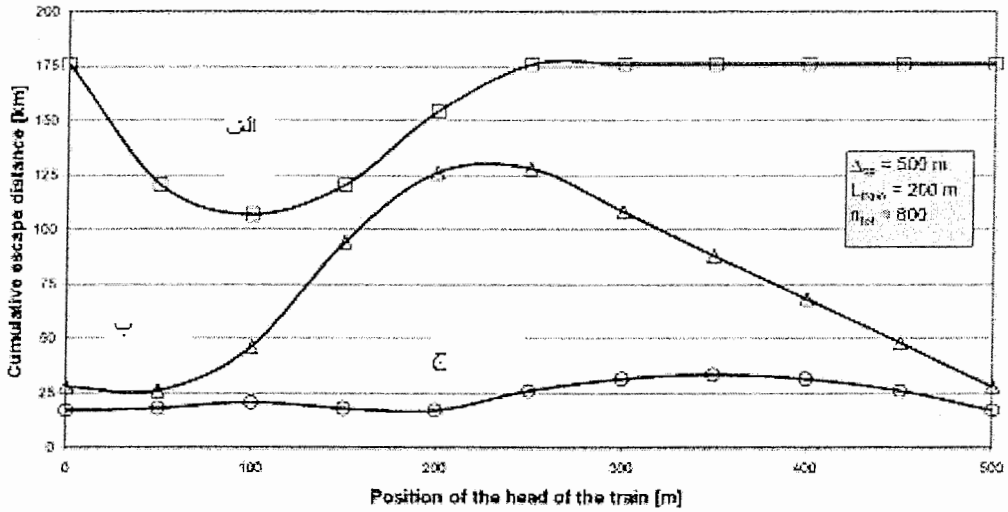
- فاصله بین دو گذرگاه عرضی و طول ترن،
- موقعیت قرارگیری جلو ترن نسبت به گذرگاه عرضی بعدی،
- موقعیت قرارگیری آتش در ترن (ابتدا ، وسط یا انتهای ترن)،
- توزیع مسافران در طول ترن.

فاصله D با استفاده از یک مدل ساده با فرض توزیع یکنواخت مسافران در طول ترن بدست می آید. در محاسبات از این فرضیه استفاده می‌شود که هیچ کسی از آتش عبور نمی‌کند.(این فرضیه که هر کسی از آتش دور می‌شود در واقعیت می‌تواند غلط باشد، بخصوص وقتی که آتش‌سوزی در خارج واگن است بطوریکه راه فراری از آتش در داخل ترن هنوز ممکن است وجود داشته باشد. بهرحال این به شناخت کافی ساختار مسافران احتیاج دارد) مسافرانی که در قسمت‌های جلویی ترن قرار دارند ، در مسیر حرکت ترن فرار می‌کنند و مسافرانی که در عقب قطار قرار دارند به سمت عقب فرارمی‌کنند. در مثالی که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، قطاری با طول ۲۰۰ متر و گذرگاههای عرضی با فاصله $\Delta_{cp} = ۵۰۰\,m$ (فاصله بین دو گذرگاه عرضی) انتخاب شده است ، در شکل ۴-۲ وضعیت برای ترنی با طول ۴۰۰ متر نشان داده شده است. تعداد کل مسافران در ترن (n_{tot}) در هر مورد ۸۰۰ نفر در نظرگرفته شده است. با توجه به موقعیت جلوی ترن متوقف شده فاصله فرار تجمعی کل D برای سه مورد زیر نشان داده شده است :

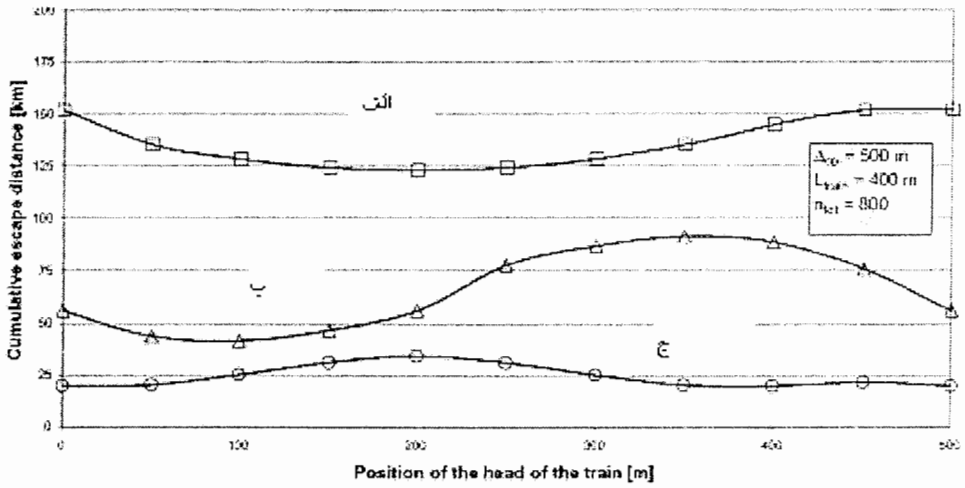
الف - بدون تهویه مکانیکی : دراین مورد فرض شده است که دود به هر دو سمت آتش گسترش می‌یابد، تمام مسافران بدینگونه داخل دود قرار می‌گیرند و فاصله فرار تجمعی به ماکزیمم خود می‌رسد.

ب - تهویه طولی : فرض شده که دود در جهت حرکت ترن، مستقل از موقعیت محل آتش سوزی در ترن حرکت می‌کند. دراین حالت فاصله فرار تجمعی به طور متوسط بیش از ۵۰٪ کاهش می‌یابد (مراجعه شود به جدول ۴-۵)

ج - تهویه طولی کنترل شده : دراین مورد اگر آتش در قسمت ابتدایی ترن قرار داشته باشد ، دود به سمت جلو هدایت می‌شود واگر آتش در قسمت انتهایی ترن واقع باشد دود به سمت عقب هدایت می‌شود (با توجه به جهت حرکت ترن). همانطور که دراین مورد انتظار می‌رود طول فاصله فرار در داخل دود حتی کمتر می‌شود (کمتر از ۲۰٪ فاصله‌ای که بدون تهویه بدست می‌آید). بهرحال ، برای



شکل ۴-۱- تأثیر تهویه تونل بر فاصله فرار تجمعی برای ترنی با طول ۲۰۰ متر[۱۸]



شکل ۴-۲- تأثیر تهویه تونل بر فاصله فرار تجمعی برای ترنی با طول ۴۰۰ متر [۱۸]

بهرحال ، برای اینکه چنین سیستمی درست عمل کند، اطلاعات مربوط به موقعیت آتش در ترن باید مشخص باشد، که همواره چنین نخواهد بود[۱۸].

نتایج این محاسبات ساده نشان می‌دهد که تهویه فاصله فرار متوسط درداخل دود را کاهش می‌دهد. بهرحال، در بدترین مورد آتش سوزی که موقعیت آن در قسمت کاملاً انتهایی ترن قرار دارد و جریان هوا در جهت حرکت ترن است، تأثیر مثبتی از تهویه مکانیکی وجود نخواهد داشت[۱۸] .

جدول ۴-۵- تأثیر سیستم تهویه مکانیکی بر فاصله فرار تجمعی متوسط برای فاصله گذرگاهی ۵۰۰ متری و ۸۰۰ مسافر در ترن[۱۸]

طول قطار	بدون تهویه	تهویه طولی	تهویه کنترل شده
۲۰۰ m	٪۱۰۰	٪۴۸/۸	٪ ۱۵/۴
۴۰۰ m	٪۱۰۰	٪۴۹/۳	٪ ۱۸/۴

۴ - ۷ - ۴ - جدول تصمیم گیری

برای انتخاب فاصله بین گذرگاههای عرضی جدول سادهای پیشنهاد شده است (جدول ۴-۶) . جدول مذکوربا توجه به سطح مخاطره تونل تهیه شده است . مخاطره در چهار دسته طبقه بندی شده است - مخاطره سطح پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا-

برای انتخاب فاصله بین گذرگاهها بایستی به دو نکته زیر توجه نمود:

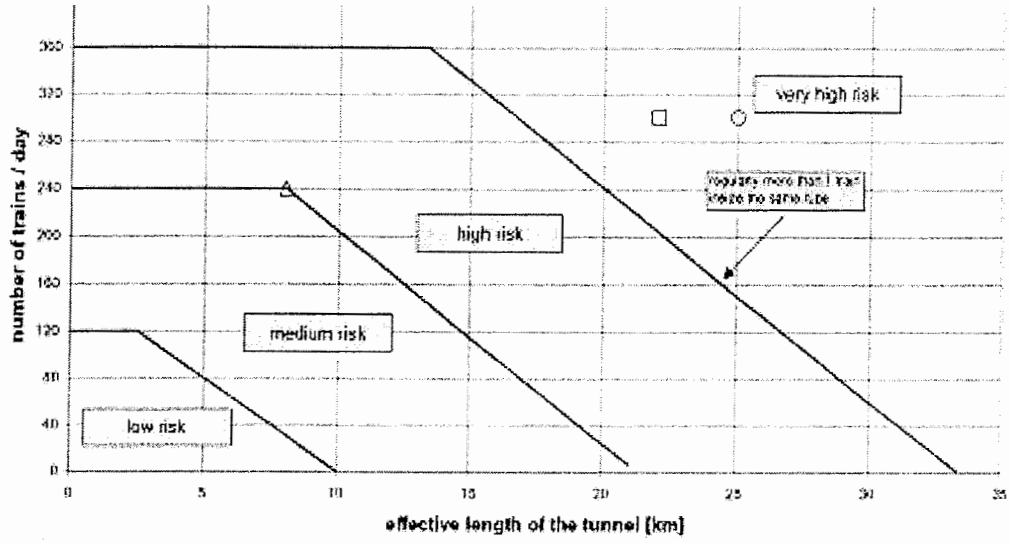
الف - تعیین طول مؤثر تونل

طول مؤثر تونل بطور معمول فاصله بین دهانه ورودی و خروجی تونل است. بهرحال مواردی وجود دارد که طول تونل و طول مؤثر تونل با هم انطباق ندارند. در تونلهایی که بوسیله ایستگاههای نجات اضطراری به چند بخش تقسیم شدهاند، که ماکزیمم فاصله بین دو ایستگاه نجات باید به عنوان طول مؤثر مورد استفاده قرار بگیرد. اگر دو یا چند تونل به دنبال هم قرار گرفته باشند و جدا کردن این تونلها از یکدیگر باعث کوچکتر شدن آنها از طول یک ترن شود، مجموع طول دو تونل باید برای بدست آوردن طول مؤثر تونل اعمال شود[۱۸] .

ب - تعیین سطح مخاطره

برای تونلهای راه طبقه بندی مخاطره در هر کشوری تعریف شده است، برای تونلهای ریلی پیشنهاد شده است که مخاطره را بر طبق طول مؤثر تونل و تعداد ترنهایی که بطور روزانه از تونل استفاده میکنند ، طبقه بندی کنند. با افزایش طول مؤثر تونل و حجم ترافیک مخاطره بصورت یکنواخت افزایش مییابد. طبقه بندی مخاطره پیشنهادی برای تونلهای ریلی دوقلو در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. ترافیک ترکیبی نیز فرض شده است . تعداد ترنهایی که روزانه درهر دو جهت حرکت میکنند و احتمال اینکه بیشتر از یک ترن در یک طرف تونل باشد برای مرزبندی زونهای مخاطره استفاده شده است. (با روش نسبتاً اختیاری) [۱۲] .

برای برآورد این حقیقت که تهویه مکانیکی بطورقابل ملاحظه‌ای فاصله فرار تجمعی داخل دود را کاهش می‌دهد، پیشنهاد شده که اگر تهویه طولی در تونل بکارگرفته شده است سطح مخاطره را به میزان یک طبقه کاهش دهیم[۱۸].



شکل ۴-۳- طبقه بندی مخاطره پیشنهادی برای تونلهای ریلی دوقلو – اگر تهویه مکانیکی باشد مخاطره را می‌توان یک سطح کاهش داد[۱۸]

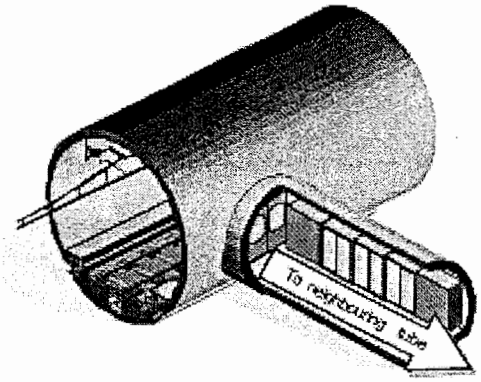
مجموعه ممکنی از فواصل برای گذرگاههای خطی در جدول ۴- ۶ نشان داده شده است .

جدول ۴-۶- فاصله پیشنهادی بین دو گذرگاه عرضی در تونلهای ریلی دوقلو[۱۸]

	فاصله پیشنهادی	مبنا
مخاطره پایین	ماکزیمم ۱۰۰۰ متر	راهنمای EBA
مخاطره متوسط	۵۰۰ متر	--
مخاطره بالا	۳۵۰ متر	تونل های راه
مخاطره خیلی بالا	۲۵۰ متر	استاندارد NFPA130

۴ - ۸ - سرعتهای بحرانی در گذرگاههای عرضی

یک سؤال مهم که متخصصان تهویه تونل و دیگر افرادی که با ایمنی تونـل در ارتبـاطاند بـاید جـواب دهند این است که : حداقل سرعت هوای تازه مورد احتیـاج بـرای حفـظ وضعیتـهای خـالی از دود در گذرگاههای عرضی چقدر است؟ به این سرعت ، سرعت بحرانی می‌گویند. برآورد دقیـق ایـن «سـرعت بحرانی» سبب می‌شود که تعادل مناسبی بین سطح ایمنی دلخواه و هزینه تأسیسات تهویه (بادبزن ها ، درها ، لوله‌ها، و غیره) برقرار شود. دراینجا سعی شده است مروری بر مطالعات انجام شده در زمینـه برآورد سرعتهای بحرانی انجام شود و رهیافتی برای برآورد آن ارائه شـود. شـکل ۴-۴ مقعیـت گذرگاه فرعی نسبت به تونل را نشان داده است.



شکل ۴-۴ موقعیت گذرگاه‌ها نسبت به تونل [۱۷]

۴-۸-۱ فهرست نمادها

در جدول ۳-۷ فهرست نمادهای به کار رفته تشریح شده است.

۴-۸-۲ نکات ایمنی

قبل از بحث درباره سرعتهای بحرانی در گذرگاهها بی مناسبت نیست کـه مشـخصات ایمنـی معمـول کاربردی برای گذرگاه میان برکه برای منظورهای تخلیه استفاده می شود، به طور خلاصه بیـان کنیـم ..[۱۷]

الف - بلافاصله بعد از آتشسوزی در یک وسیله نقلیه

گذرگاهها معمولاً در یک یا دو طرف به درهایی که به عنوان راهبندهای دود و آتش به صورت منفعل عمل می‌کند مجهزاند. این درها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند در مقابل دماهای بالا (۲۰۴ درجه سانتی گراد بر طبق **NFPA۱۰۵, ۱۹۹۳**) در طول زمان تخلیه مقاومت کند[۱۷].

جدول ۴-۷ فهرست نمادهای بکاررفته در محاسبه سرعت بحرانی در گذرگاههای عرضی [۱۷]

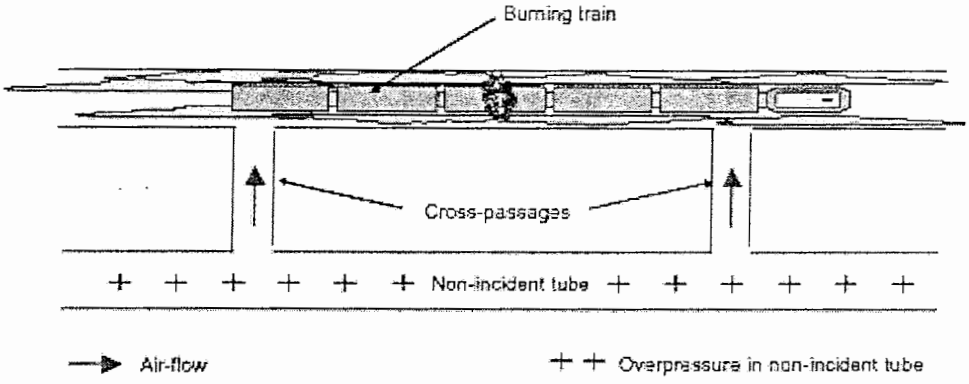
معنی	واحدها	علامت اختصاری
سطح مقطع تونل	m^2	A
ظرفیت گرمایی هوا	$J/kg.k$	C_p
شیب تونل	%	$grade$
شتاب ثقل	m/s^2	g
ارتفاع مقطع عرضی تونل	m	H
مقدار حرارت آزادشده دراثر آتش سوزی	w	Q_c
درجه حرارت	K	T
سرعت جریان هوا	m/s	V
عدد فرود	%	F_r
سرعت جریان طولی هوا در تونل	m/s	m_T
چگالی	Kg/m^2	P
شرایط محیطی		$none$
مقدار بحرانی		c
درب راهروها		d
شرایط آتش سوزی		f
تونل اصلی		T

ب - پس از فعال شدن سیستم تهویه اضطراری

دراین وضعیت در طول گذرگاه ، اختلاف فشار منفی گسترش می‌یابد . بنابراین هوای تـازه ، از طریـق هر روزن و بازشدگی موجود در گذرگاه ، از تونل حادثه ندیده جریان می‌یـابد (شـکل ۴-۵) . بـه هـر حال ، اختلاف فشار باید محدود شود تا مشکلی در مورد بازکردن درهـا بـه صـورت دسـتی بـه وجـود نیاید(حداکثر ۱۳۳ نیوتن بر طبق NFPA92A,1996) [۱۷].

ج - بعد از باز کردن درهای گذرگاه

درهای گذرگاه در منطقه آتش یا بصورت دستی توسط مسافران درحال گریز یا پرسنل ، و یابـه شـیوه کنترل از راه دور از مرکز فعالیتهای ترافیک باز می شود. بخاطر کاهش مقاومت جریان ، جریان هوا در مسیر تونل حادثه دیده به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می یابد، و این امر تاحدودی جریان دود بـه گذرگاه را محدود می‌کند . بعلاوه یک « اثر حبابی» در تونل حادثه دیده تولید می‌شود که بـر اثـر آن، جهت هوای تازه دود را در مجاورت گذرگاه پاک می‌کند و بدین ترتیب برای هدایت مسـافران درحـال گریز هوای تمیز تامین می‌شود. این پدیده در خلال آتشسوزی در تونـل مـانش مشـاهده شـده اسـت. اکنون مطالعه خود را در مورد برآورد سرعت بحرانی برای کنترل دود بعد از بازشدن درهای گذرگاهـها متمرکز می کنیم[۱۷].



شکل ۴-۵ تهویه اضطراری به هنگام وقوع آتش سوزی[۱۷]

۴-۸-۳- روشهای برآورد سرعت بحرانی

روشهای مهندسی مرسوم برای محاسبه سرعت بحرانی برای کنترل دود در تونل ها شامل موارد زیر است:

الف - روابط تجربی

روابطی که گسترده‌ترین استفاده را برای سرعت بحرانی دارند براساس کاربرد عدد بی بعد فرود بنا شده‌اند. عدد فرود به عنوان نسبت بین نیروهای شناورسازی ناشی از آتش ونیروهای اینرسی به خاطر جریان تهویه اضطراری به شرح زیر تعریف می شود:

$$\mathbf{F_r} = \frac{\mathbf{gH}(\rho - \rho_f)}{\rho \mathbf{V}^2} \qquad (۲-۴)$$

که در ان $\mathbf{F_r}$ عدد فرود ، $\mathbf{g}$ شتاب جاذبه ، $\mathbf{H}$ ارتفاع تونل ، ρ جرم مخصوص هوا، ρ_f جرم مخصوص هوا در شرایط آتش سوزی و $\mathbf{V}$ سرعت جریان هواست.

برطبق بررسیهای آزمایشگاهی لی و همکارانش (۱۹۷۹) ، به منظور جلوگیری از حرکت دود در مقابل مسیر جریان تهویه عدد فرود جریان باید کمتر از ۴/۵ باشد [۱۷].

کندی (۱۹۹۵) با برقراری ارتباط مابین اختلاف چگالی بین گازهای گرم ناشی از آتش و هوای محیط $(\rho - \rho_f)$ از یک سو و آهنگ رهاشدن گرمای همرفت ناشی از آتش $(\dot{\mathbf{Q}}_c)$ ، فرمولی برای محاسبه سرعت بحرانی به شرح زیر ارائه داد[۱۷]:

$$\mathbf{V_c} = \left(\frac{\mathbf{gH}\dot{\mathbf{Q}}\mathbf{c}}{\rho \mathbf{C_p A T_f Fr_c}}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (۳-۴)$$

که در آن $\mathbf{V_c}$ سرعت بحرانی ، $\mathbf{g}$ شتاب جاذبه ، $\mathbf{H}$ ارتفاع تونل ، $\mathbf{Q_c}$ مقدار گرمای آزاد شده دراثر آتش سوزی ، ρ جرم مخصوص هوا ، $\mathbf{C_p}$ گرمای ویژه هوا، $\mathbf{A}$ سطح مقطع تونل ، $\mathbf{T_f}$ دمای آتش و $\mathbf{Fr_c}$ عدد فرود بحرانی است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$Fr_c = 4.5(1 + 0.0374 \mid \min(grade,0) \mid^{0/8})^{-3} \qquad (۴-۴)$$

T_f نیز از معادله بقاء آنتالپی به شرح زیر بدست می آید:

$$T_f = \frac{Q_c}{\rho c_p A V_c} + T \qquad (۵_۴)$$

معادلات (۴-۳) تا (۴-۵) مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که در مورد مسایل تهویه بسیاری از تونلها به کاربرده شده است و از آن جمله شامل برنامه کامپیوتری شبیه سازی زیست محیطی مترو **(SES)** می شود (نگارش ۴ ، ۱۹۹۷) با این وجود گرانت و همکارانش **(۱۹۹۸)** به نقطه ضعفهای گوناگون موجود در این مدل اشاره کردند، از آن جمله ضعف آن در محاسبه وضعیت پیچیده جریان نزدیک آتش و تداخل آن با منبع آتش و تونل است[۱۷].

در موارد ویژه‌ای از گذرگاههای عرضی آهنگ آزاد شدن گرمای همرفتی $\dot{Q}_c$ ناشی از آتش سوزی وسیله نقلیه که خارج از گذرگاه رخ می دهد واضح نیست که چگونه این مدل باید استفاده می شود. بعلاوه ، معلوم نیست که از کدام سرعت جریان باید در معادله (۳-۵) استفاده شود (در تونل یا در گذرگاه ؟) . در بند ۴-۸-۴ نحوه استفاده از سیستم تکامل یافته این مدل برای محاسبه جریان درگذرگاهها تشریح شده است [۱۷].

ب - روش های پدیده شناسانه

این روش ها به صورت تیپیک ، روشهای دوبعدی هستند که در آنها از زون‌های چندگانه (لایه هوای تازه، لایه‌های دود) برای پیش بینی گسترش دود ناشی از آتش استفاده می شود(کارتر و همکارانش ۱۹۹۴) . اگرچه دراین سیستم برای محاسبه سرعت بحرانی از اطلاعات بیشتری نسبت به روابط ساده تجربی استفاده می شود، اما کاربرد آنها در تشریح جریان در گذرگاهها به خاطر طبیعت سه بعدی قوی چنین جریان هایی کارآیی چندانی ندارد[۱۷].

ج - دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

CFD یک ابزار مهندسی برای حل معادلات ناویر- استوکس حاکم بر جریان ، دما و نوع جریان ، تقریباً درهر سیستم دلخواه است . قدرت و انعطاف پذیری این سیستم باعث افزایش استفاده از آن در

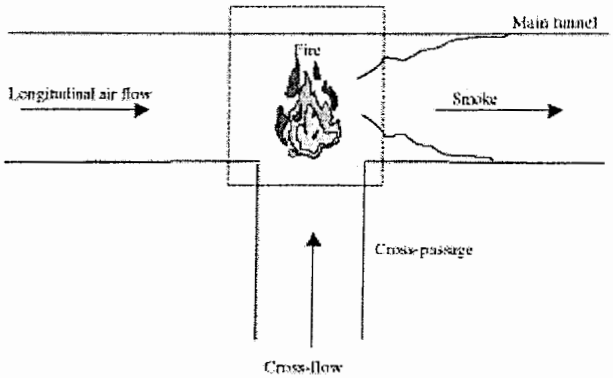
تحلیل سیستم تهویه تونل ، شده است که از آن جمله می توان به تفکیک میدان جریان نزدیک آتش اشاره کرد. به هر حال ، **CFD** علاج قطعی را نمی کند. مدل های ریاضی وابسته به آن که به توربولنس ، احتراق و تشعشع بستگی دارند هنوز به صورت فعالی گسترش نیافته‌اند و بنابراین برای مقاصد علمی چندان کاربردی ندارند[۱۷].

بیشتر متخصصان تهویه تونل هنوز از مدل شبکه‌های جریان یک بعدی استفاده می کنند ولی بعضی از برنامه‌های کامپیوتری مانند ترموتون یا **SES** براساس آنها بنا شده است. برای بسط **CFD** را فقط برای تایید طراحی یک بعدی شان یا برای جواب سؤال‌های بحرانی به کار می برند (برای مثال ارتباط جریان سه بعدی و الگوهای دود)[۱۷].

۴-۸-۴- مدل تجربی برای سرعت بحرانی در گذرگاهها

علیرغم دسترسی به روشهای پدیده شناسانه و **CFD** همانطور که در دو بحث قبلی روشن شد ، مدل های تجربی برای محاسبه سرعت بحرانی هنوز از جذابیتهای مهندسی به حساب می آیند. این مدلها ، روشی قوی و سریع در برآورد شدت جریان هوای مورد احتیاج در طراحی‌های تهویه اولیه به شمار می آیند. در موارد لزوم می توان محاسبات مهندسی پیشرفته‌تری یا تست‌های مدل فیزیکی برای تایید پارامترهای طراحی انجام داد[۱۷].

به منظور تشریح مدل تجربی ، تعادل آنتالپی را در حجم کنترلی که هم گذرگاه و هم تونل اصلی را دربر می‌گیرد مورد بررسی قرار می‌دهیم. (شکل ۴ -۶)



شکل ۴-۶ حجم کنترل برای تعادل در تونل و گذرگاه [۱۷]

در غیاب افت گرمای رسانای قابل اندازه‌گیری در دیواره‌ها ، معادله آنتالپی برای حجم کنترل یادشده به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$(mc_pT)_T + (mc_pT)_d + \dot{Q}_c = (mc_pT_f)_T \qquad (۶-۴)$$

که در آن اندیس T مربوط به تونل اصلی و اندیس d مربوط به گذرگاه عرضی است و تمام موارد دیگر در فهرست نمادها تعریف شده است.

از طریق مقایسه با معادله (۳-۲) ، عدد فرود در گذرگاه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$F_r = \frac{gH_d(\rho - \rho_f)}{\rho V_d^2} - ۴/۵(۱ + ۰/۰۳۷ \mid \min(grade,۰) \mid^{۰/۸})^{-۳} \qquad (۷_۴)$$

که در آن $T_{f,t}$ دمای مطلق مخلوط در پایین دست آتش تونل است. معادلات (۴-۶) و (۴-۷) را می توان با یک روش همبسته برای برآورد سرعت بحرانی حل کرد.

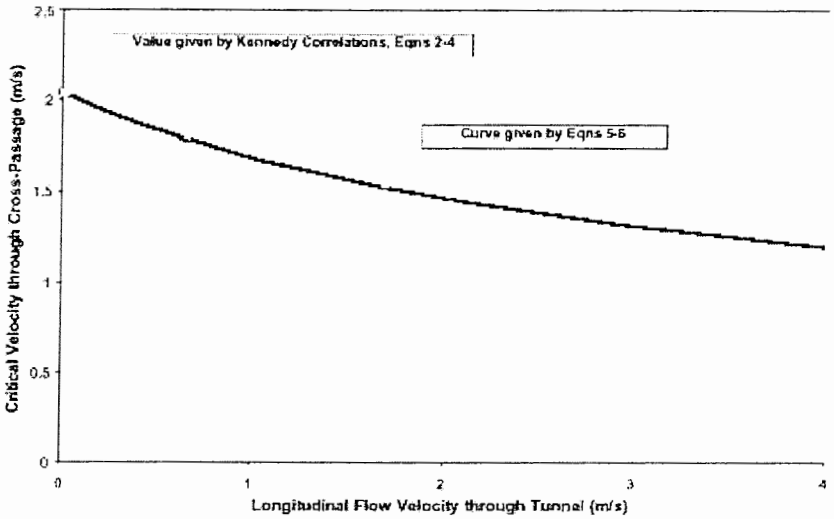
در غیاب جریان طولی در تونل $(m_t \to ۰)$ ، معادلات (۴-۶) و (۴-۷) معادل روابط کندی می شوند. بنابراین سرعت بحرانی که به این گونه محاسبه می‌شود ، منطبق بر وضعیتی است که بر آتش سوزی دقیقاً در داخل قاب در گذرگاه و به عبارت دیگر « بدترین وضعیت» اتفاق افتد. با افزایش جریان طولی در تونل ، گازهای گرم موجود در تونل سرد می‌شوند و بنابراین چگالی آن ها (ρ_f) افزایش می‌یابد. این اثر سرعت بحرانی در گذرگاه ، V_D در معادله (۴-۷) را کاهش می دهد[۱۷].

مثال عددی

برای تشریح روابط یادشده ، به شرح مثال عددی دراین مورد می‌پردازیم . دراین مثال مشخصه‌های مورد نیاز به شرح زیر است:

$C_p = ۱۰۴۰ \quad g/(kgK)$	$T = ۶۰۰k$
$Q_c = ۲۰ \times ۱۰^۶ w$	$S = ۱/۱ \, kg/m^۳$
$Grade = ۰\%$	$Ad = ۴/۴ m^۲$
$At = ۳۳ m^۲$	$Hd = ۲/۲ m$

شکل (۴-۷) سرعت بحرانی در گذرگاه را نشان می‌دهد و به طوری که دیده می شود سرعت بحرانی به طور قابل ملاحظه با افزایش جریان طولی در تونل کاهش یافته است.



شکل (۴-۷) تغییرات سرعت بحرانی در گذرگاه نسبت به تغییرات جریان طولی در تونل[۱۷]

این می‌رساند که طراحان تهویه تونل برای کنترل یا پخش دود در تونل‌های موازی یا ایستگاهها گزینه های مختلفی به شرح زیر دارند [۱۷]:

الف – افزایش جریان طولی تونل برای خنک کردن گازهای گرم و درعین حال، حفظ سرعت اندک در گذرگاه.

ب – تامین سرعت زیاد در گذرگاه و در عین حال تامین سرعت طولی اندک در تونل.

در گزینه الف ، مادام که سرعت جریان هوا در تونل اصلی از حد بحرانی بیشتر باشد، دود در تونل اصلی و گذرگاهها به خوبی کنترل می شود. از سوی دیگر ، سطح مقطع‌های عرضی بزرگ تونل اصلی به این معنی است که شدت جریان هوای زیادی دراین تونل‌ها مورد نیاز است.

گزینه دوم سیستم قویتری برای کنترل گسترش دود در گذرگاه است، زیرا هیچ فرضی درباب سرعت طولی تونل درنظر گرفته نمی شود. در عمل به هر حال ، انتخاب گزینه برای تهویه اضطراری ذاتاً به انتخاب راههای گریز بستگی دارد (به عنوان مثال در امتداد سکو، از طریق درهای گذرگاه ، بالای پلکان گریز و غیره) و بنابراین باید با دقت برای هر پروژه‌ای محاسبه شود [۱۷].

الف – فرضیات و محدودیتهای مدل

یک مدل تجربی برای محاسبه سرعت بحرانی که به وسیله معادلات (۴-۶) و (۴-۷) ارائه شد ، فرضیات و محدودیتهای زیادی دارد که خواننده باید از ان آگاه باشد و این علاوه بر محدودیت‌هایی است که در مورد روابط کندی اصلی دربند ۴ - ۸ - ۳ به آنها اشاره شد.

فرض بر ان است که دودهای گرم ، قبل از رسیدن به در گذرگاه به طور کامل با جریان طولی تونل مخلوط شده است. این به نوبه خود می‌رساند که آتش سوزی در بالا دست گذرگاه اتفاق افتاده است. بعید به نظر می رسد آتش هایی که در پایین دست گذرگاه اتفاق می‌افتد ، بدترین وضعیت باشند[۱۷].

در تعریف عدد فرود ، (معادله ۴-۷) ، از ارتفاع در ، $\mathbf{Hd}$ ، به عنوان مقیاس طول وابسته استفاده می‌شود. این گزینه از مقیاس طولی برای محدوده جریان طولی صفر در تونل سرعت بحرانی ای را به دست می دهد که با روابط کندی سازگار است [۱۷].

مدل تجربی ، تمام اثرات ناایستا را نادیده می‌گیرد. در مورد آتش سوزی واقعی جریان ترافیک وسایل نقلیه به سرعت تغییر می کند . بادبزن‌های تخلیه اضطراری باید به سرعت فعال شوند که پیامد آن بروز وضعیت‌های به شدت ناایستا است [۱۷].

ب - کاربرد برای طراحی اولیه

برای مقاصد علمی مهندسی ، برآورد سرعت بحرانی برای بدترین وضعیت ، که با این روش انجام می‌گیرد ، در طراحی های مقدماتی می تواند مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور فرضیات زیر درنظر گرفته می شود.

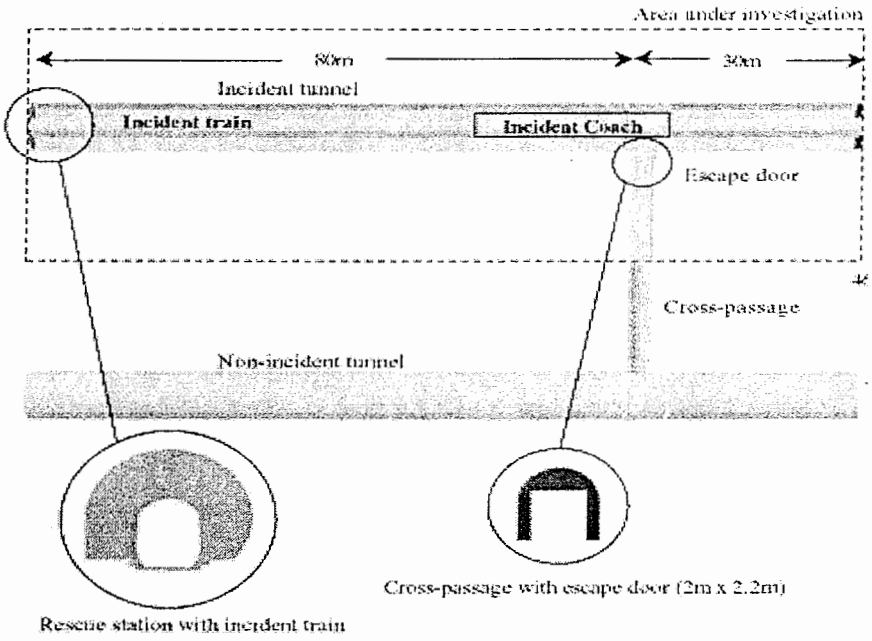
الف - فرض می‌شود که هیچ جریان طولی در تونل نباشد ، برای مثال $\mathbf{m_T = ۰}$

ب - آهنگ آزادسازی گرمای همرفتی آتش $\dot{\mathbf{Q}}_\mathbf{c}$ با آهنگ آزادسازی کلی گرمای مورد انتظار ، مساوی درنظرگرفته می‌شود.

حاصل این دو فرض ارائه یک سرعت جریان بحرانی و ظرفیت‌های فن اضطراری است که نسبتاً محافظه کارانه به نظر می‌رسد . پس از طراحی مقدماتی ، با استفاده از روش **CFD** می توان طرح را بهینه سازی کرد وبراساس آن، طراحی نهایی را انجام داد [۱۷].

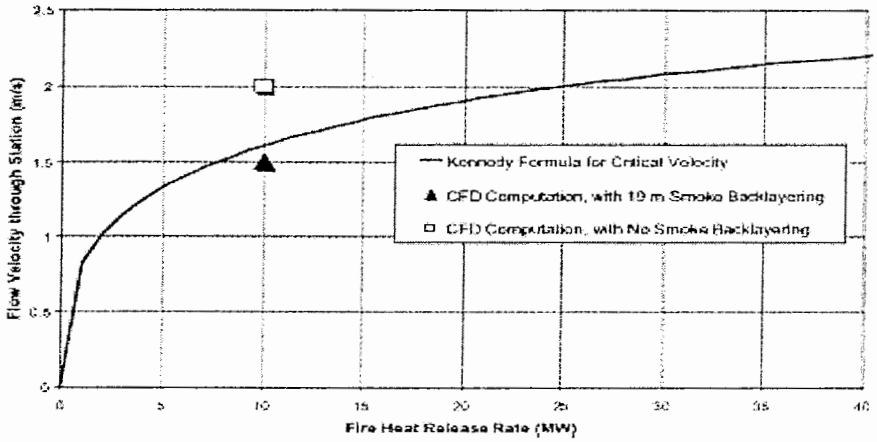
۴-۸-۵- دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

برای بررسی این موضوع که آیا نتایج حاصل از رابطه برای سرعت بحرانی (معادلات ۴-۶ و ۴-۷) پذیرفتنی است یا خیر ، یک مطالعه **CFD** محدود انجام گرفته است. دراین بررسی ، یک مقطع از ایستگاه نجات در تونل گوتهارد در آنالیزهای **CFD** مدلسازی شده که در شکل (۴-۸) نشان داده شده است [۱۷].



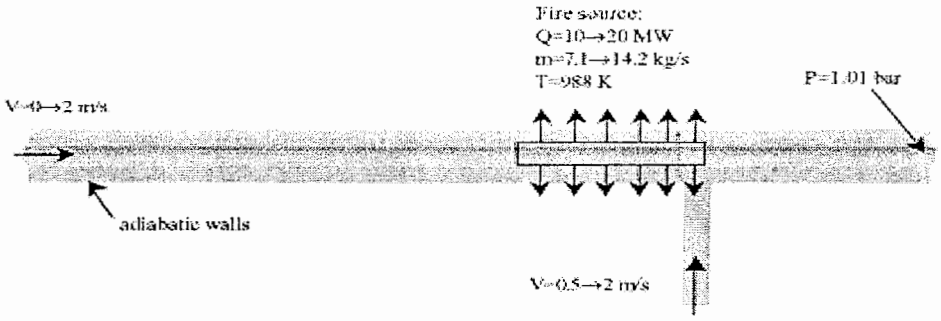
شکل ۴-۸ مدل هندسی ایستگاه نجات [۱۷]

در اولین قدم، مدل **CFD** (مش ، وضعیتهای مرزی و مدل های فیزیکی انتقال حرارت و توربولانس) برای مورد آتش‌سوزی قطار به قدرت ۱۰مگاوات ، بدون وجود جریانی در گذرگاه آزمایش شد. شکل (۴-۹) نشانگر آن است که همخوانی خوب بین محاسبات **CFD** و فرمول کندی برای محاسبه سرعت بحرانی وجود دارد[۱۷].



شکل ۴-۹ سرعت بحرانی در ایستگاه فرضی[۱۷]

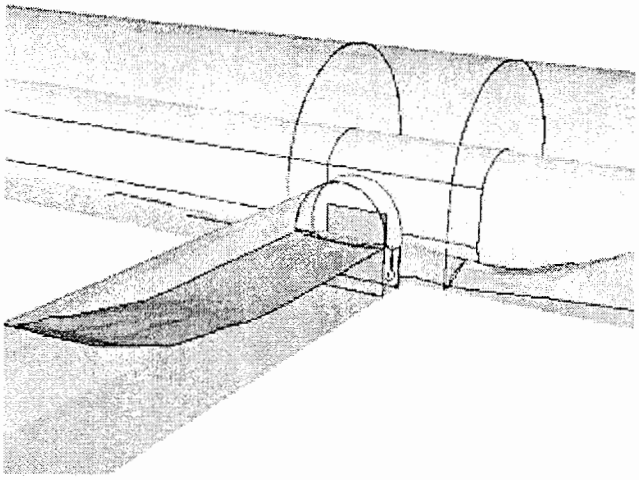
پس از این مرحله ، رفتار دود در داخل تونل و براساس گستره‌ای از سرعتهای طولی مختلف در تونل راه آهن و گذرگاه و با استفاده از ۲ آهنگ آزادسازی گرمای آتش مدلسازی شد که نتیجه در شکل (۴-۱۰) آمده است[۱۷].



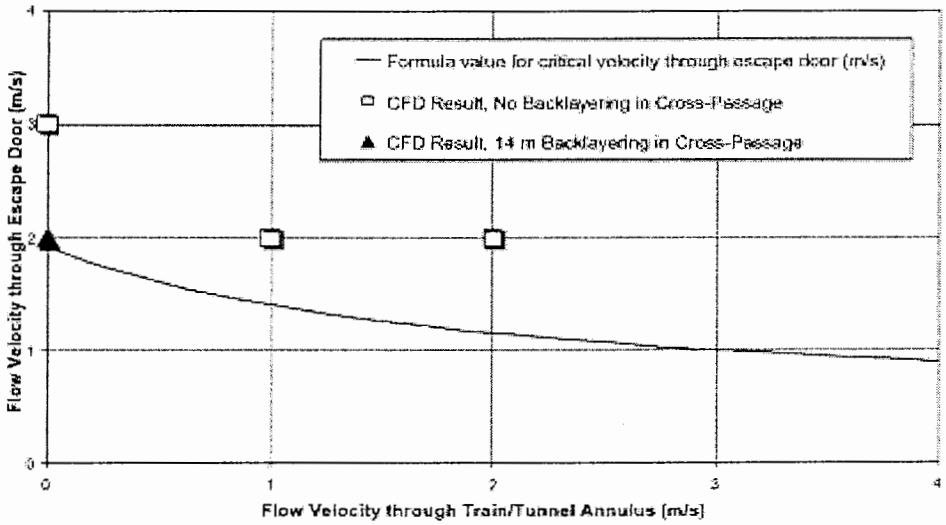
شکل ۴-۱۰ مدلسازی شرایط مرزی با استفاده از روش **CFD** [۱۷]

از جمله جذابیتهای خاص در تحلیلی های یاد شده بررسی وضعیتهای است که در آنها دود وارد گذرگاه می‌شود. (شکل ۴ - ۱۱).

دراین تحقیقات ، دیاگرام‌های خلاصه برای آهنگهای مختلف آزادسازی گرمای آتش بدست آمده که با نتایج پیش بینی‌های **CFD** از ورود دود با سرعت‌های بحرانی مختلف که براساس روابط یادشده پیش بینی شده است مقایسه شده است (شکل ۴-۱۲) . نتایج در توافق با یکدیگر هستند [۱۷].



شکل ۴-۱۱ آلودگی ۱۴ متری گذرگاه از دود در حالی که جریان طولی در تونل اصلی وجود ندارد[۱۷].



شکل ۴-۱۲ تغییرات سرعت بحرانی در گذرگاه نسبت به جریان طولی در تونل[۱۷].

فصل پنجم _ سیستم های مختلف تهویه مترو

فصل پنجم - سیستم های مختلف تهویه مترو

۵-۱- آشنایی

گزینش‌های زیرگذر از نظر پیش بینی تهویه و مسائل ایمنی عبارتند از [۴] :

الف)زیرگذر باکس (Box) باز با پیش‌بینی شفت‌های عمودی در فواصل کوتاه

ب) زیرگذر باکس بسته

ج) زیرگذر با یک تونل و دو خط

د) زیرگذر با دو تونل یک خطه

اصول سیستم‌های تهویه در گزینش‌های ب ، ج و د بالا مشابه بوده در صورتی که روش تهویه گزینش الف کاملاً متفاوت بوده و به طور جداگانه بررسی می‌گردد [۴]

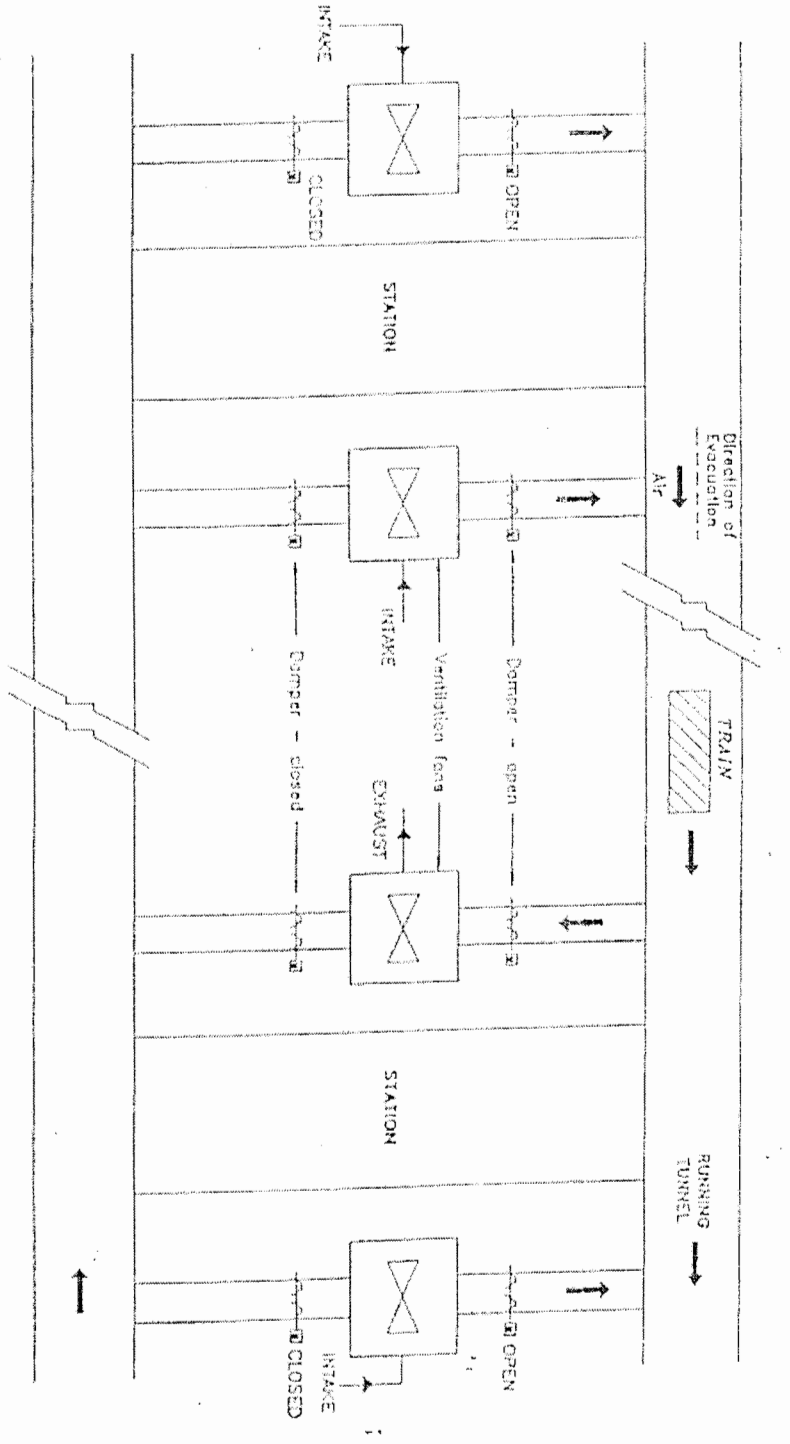
چون سیستم‌های تهویه یکی از وسیله‌های مورد استفاده در بوجود آوردن شرایط ایمن است، در اینجا مسائل مربوطه به طور خلاصه مورد مطالعه قرار گرفته است.

در طرحهای سیستم‌های زیرگذر، ایمنی مسافرین و طرز تخلیه آنها طولانی‌ترین مسیر طی شده برای تخلیه یا فرار از زیرگذر یکی از مسائلی است که بایستی بعنوان طرحهای ایمنی برای حالتهای اضطراری مورد مطالعه قرار گیرد. معمولاً طولانی‌ترین مسیر برای فرار از تونل در مواقع اضطراری کمتر از ۲۵۰ متر طراحی شده است. بنابراین سیستم زیرگذر باید در فواصل مشخصی تونلهای فرعی و یا راه خروج به بیرون را داشته باشند [۴]

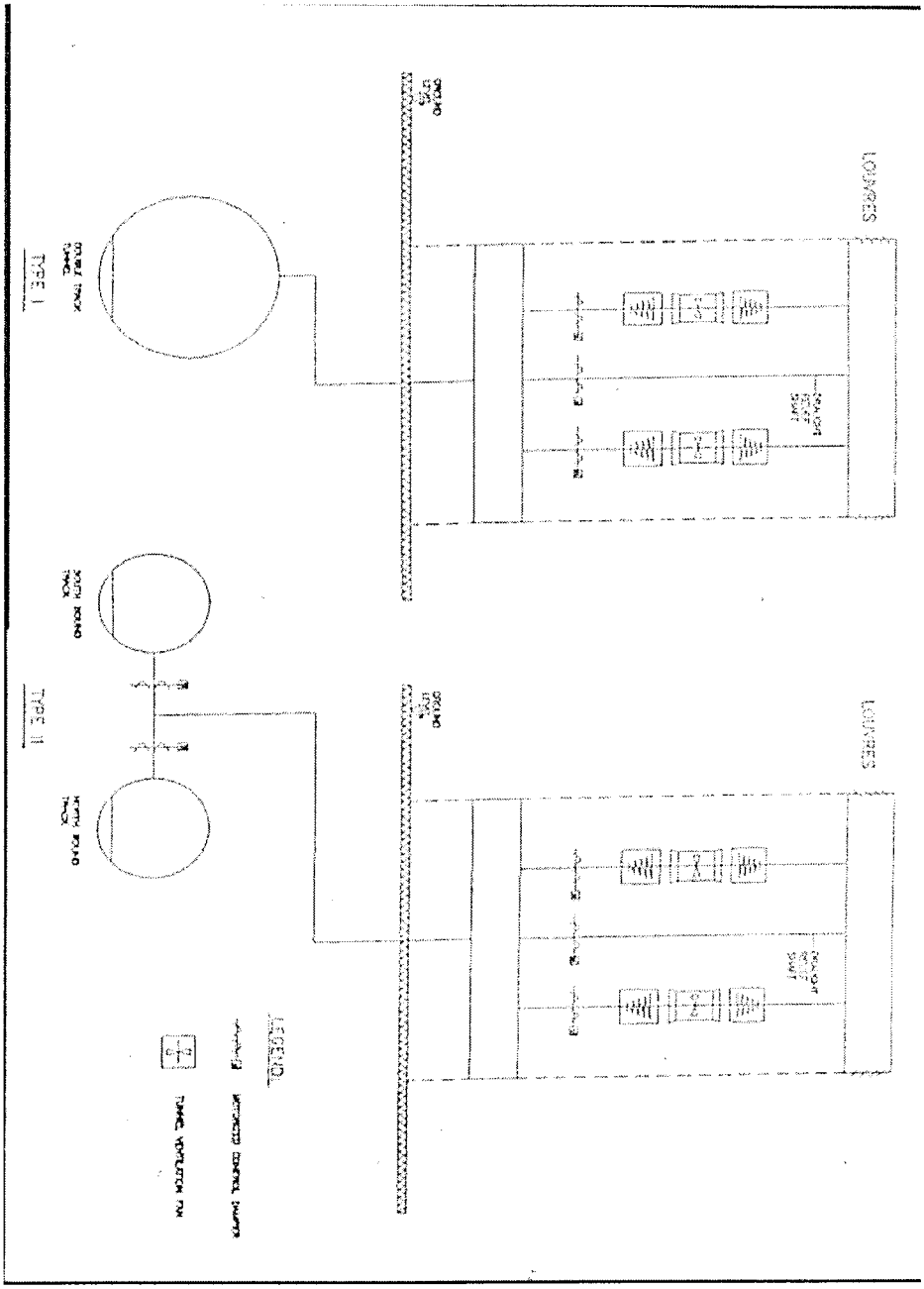
بزرگترین امتیاز گزینش زیرگذر با دو تونل (شکل ۵-۱ و شکل ۵-۲) در اینست که بیشترین انعطاف را در بوجود آوردن ایمنی امکان پذیر شود، یعنی اینکه با پیش‌بینی تونلهای فرعی بین دو تونل اصلی می‌توان راه فرار را از یک تونل به تونل دیگر فراهم ساخت. سیستم دو تونل یکی از معمولی‌ترین روش در مهندسی قطارهای شهری زیرگذر بوده که مزایای ایمنی مخصوص به خود را دارد. چنین سیستمی در حال حاضر برای شهرهای کاراکاس در ونزوئلا، بانکوک در تایلند، هنگ کنگ در چین انتخاب گردیده است [۴] .

در گزینش‌های زیرگذر باکس و زیرگذر یک تونل با دو خط راه تخلیه از زیرگذرها را می‌توان با ایجاد یک دیوار ایمنی بین دو خط بوجود آوردو در فواصل معینی بین دو خط دربهای ایمنی نصب نمود تا

امکان فرار از یک خط به خط مجاور فراهم سازد. در حال حاضر طرح تونل دو خط با دیـوار ایمنـی در کشور هلند بین رتردام تا مرز بلژیک در دست تهیه است [۴].



شکل شماره ۵-۱ نمونه ای از طرز کار فن های تهویه وتخلیه دود در شرایط اضطراری و تخلیه مسافرین[۴]



شکل ۵-۲ دیاگرام تهویه تونلهای زیرگذر یک خطه و دوخطه [۴]

از این نظر ، سیستم تهویه برای گزینش‌های باکس بسته و یک تونل دو خطه هر دو حالت یعنی پیش بینی دیوار ایمنی جدا کننده دو خط و یا بدون چنین دیواری یعنی یک فضای مشترک برای دو خط در نظر گرفته شده است [۴]

۵-۲- گزینش سیستم‌های تهویه تونل

سیستم‌های تهویه مکانیکی با اطاقک‌های تهویه معمولی‌ترین روش تهویه زیرگذرها هستند. این سیستم‌ها در اکثر زیرگذرهای یک خطه و یا دو خطه قابل استفاده بوده و در اکثر قطارهای شهری زیرزمینی دنیا مورد استفاده قرار گرفته است [۴]

تهویه تونلها را می‌توان به دو طریق که در شکلهای شماره ۵-۳ و ۵-۴ نشان داده شده انجام داد. هر دو طریق و یا ترکیب دو طریق در بیشتر قطارهای شهری زیرزمینی دنیا به کار برده شده است.

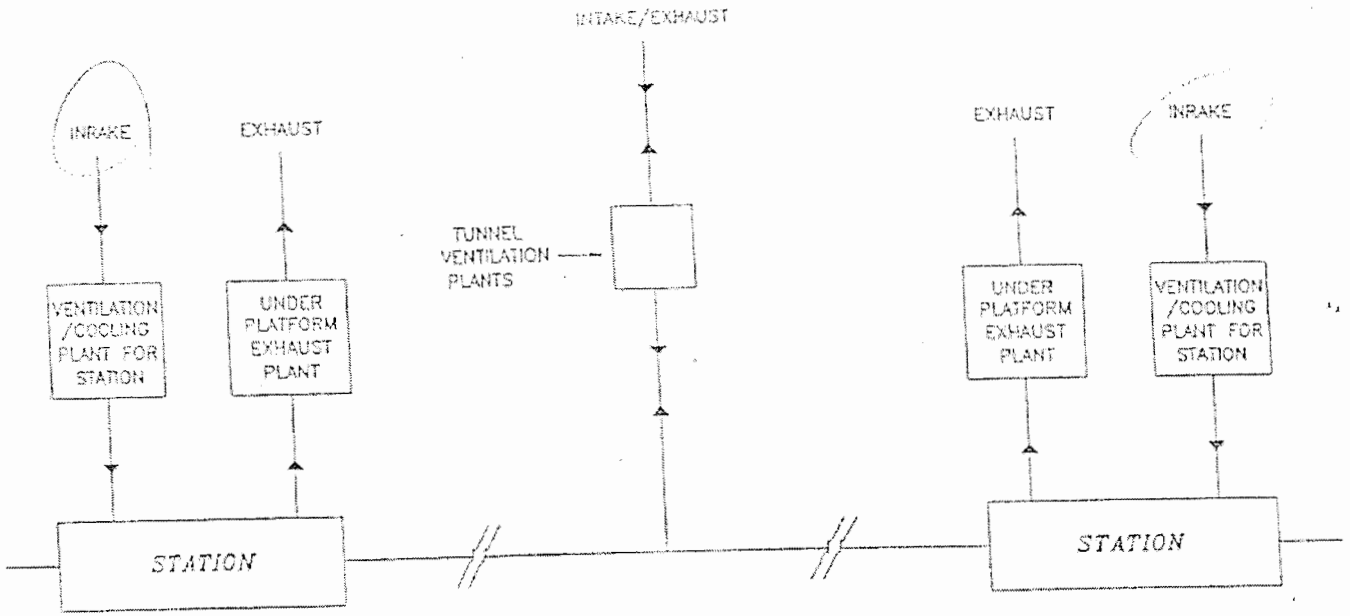
۵-۲-۱- استفاده از دو اطاقک تهویه

این روش در شکل ۵-۱ نشان داده شده است تهویه تونل توسط دو مرکز تهویه که معمولاً در نزدیکی ایستگاهها قرار گرفته، انجام می‌شود. تهویه تونل به صورت کشش – فشارش یعنی هوادهی و تخلیه است. یکی از اطاقک‌ها هوا را به تونل تحویل داده و دیگری که در فاصله انتهای تونل (نزدیک به ایستگاه بعدی قرار گرفته است) هوا را از تونل تخلیه می‌کند. این طریقه بیشتر در تونلهای یک خطی که در آن قطار و در نتیجه هوای آن در یک جهت حرکت می‌کند مورد استفاده دارد [۴]

هر اطاقک دارای دو فن، هر یک با ظرفیت ۱۰۰٪ (یک دستگاه رزرو) و یا سه فن هر یک با ظرفیت ۵۰٪ (یک دستگاه رزرو) [۴]

در گزینش دو تونل یک خطه، مقدار هوادهی هر فن را می‌توان برای یک تونل طرح نمود، در صورتیکه در گزینش یک تونل دو خطه و باکس بسته (دو خطه) طبیعی است که هر فن باید برای هوادهی زیرگذر مربوطه طرح گردد. در چنین طرحی قطر فن‌ها بزرگ و در حدود ۲ متر یا بیشتر برآورد می‌شود [۴]

شکل شماره ۵-۳ طرز تهویه تونلها با پیش‌بینی دستگاههای تهویه در مجاورت ایستگاهها [۴]



شکل شماره ۵-۴ طرز تهویه تونلها با پیش‌بینی دستگاههای تهویه در وسط تونل زیر گذر[۴]

در سیستم سه فن، هوادهی هر فن برای گزینش دو تونل یک خطه برای هوای مورد نیاز یک تونل طرح می‌شود و فن سوم به عنوان رزرو می‌تواند هر کدام از ۲ تونل را تهویه نماید. اندازه فن‌ها در این سیستم کوچکتر از سیستم با دو فن می‌باشد [۴]

الف – حالت کار عادی

در این حالت فن‌ها معمولاً کار نمی‌کنند و هر دو دمپر فن‌ها بسته است. سه دمپر دیگر واقع در شفت‌ها (شکل شماره ۵-۲) باز هستند. سیستم در این حالت به طور طبیعی و در اثر فشار پیستونی قطار تهویه می‌شود.

ب – حالت کار متراکم

دمپرهای بای پس و فن رزرو بسته بوده و بقیه دمپرها باز است یکی از فن‌ها (یا دو فن در سیستم با سه فن) هوا را به تونل هدایت و یا از تونلها تخلیه می‌کند.

ج – حالت کار اضطراری

دمپرهای بای پس فن رزرو و یکی از شفت‌ها (در سیستم زیرگذر تونل) بسته بوده و بقیه دمپرها باز است. یک یا دو فن هوا را به تونل هدایت و یا دور را از تونل می‌کند.

۵-۲-۲- استفاده از یک اطاقک تهویه

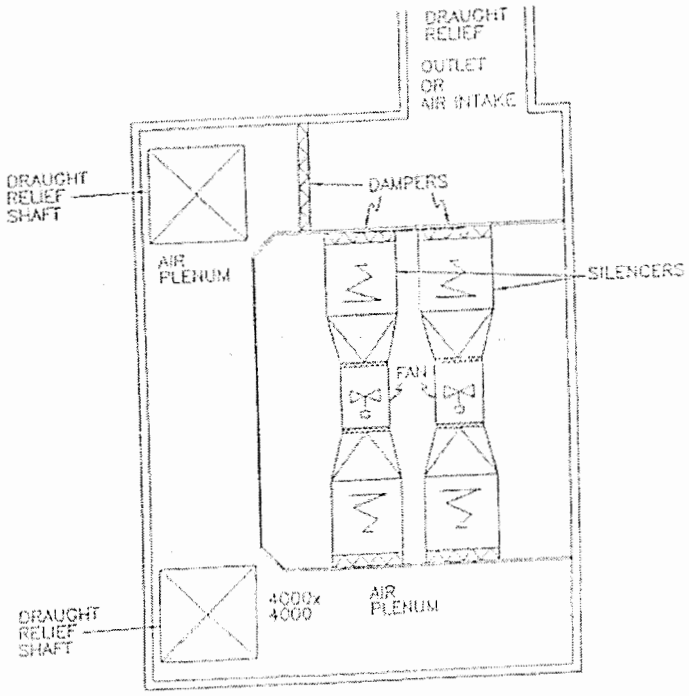
شکل ۵-۳ تهویه تونل توسط یک اطاقک تهویه را که در وسط تونل پیش بینی شده نشان می‌دهد. بزرگترین عیب این سیستم در اینست که [۴] :

- هوادهی فن‌ها خیلی زیاد است چون که فن‌ها باید هوا را به هر دو شاخه تونل در طرفین شفت هدایت و یا تخلیه نمایند.
- اطمینان کار این سیستم کم است.
- تقسیم هوای مورد نیاز هر شاخه تونل به طور کامل عملی نبوده و از نظر ایمنی ممکن است عمل تهویه و تغذیه هوای لازم به شاخه مربوطه را نتواند عملی سازد. بطور مثال وقتی یک قطار درحال

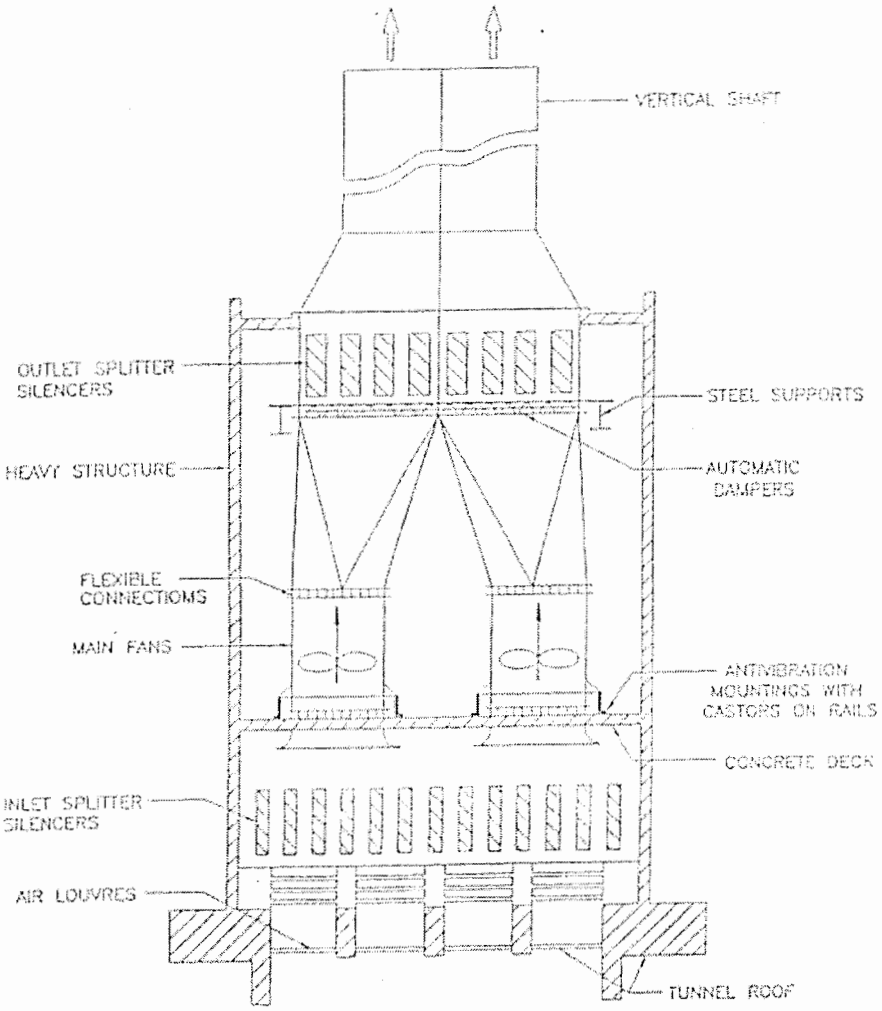
حریق در یکی از شاخه‌های تونـــل متوقـف باشـد، مقـدار هـوای ورودی بـه آن شـاخه بـه طـور قـابل ملاحظه‌ایی تقلیل یافته و هوای لازم برای کنترل حریق و دود بدان شاخه داده نمی‌شود.

این سیستم را معمولاً توام با طریقه استفاده از دو اطاقک تهویه در تونلهای طولانی و یا در زیرگذرهای دو خطه بعنوان سیستم کمکی یا Intervention shaft استفاده می‌کنند و بالاخره باید یـادآور شـد که هزینه خرید و نگهداری فن‌های بزرگ معمولاً زیادتر از فن‌های کوچکتر می‌باشد.

شکلهای شماره ۵-۵ و ۵-۶ نمونه‌هایی از طرح اطاقک تهویه تونلها را با دو فن نشان داده شده است.



شکل شماره ۵-۵ نمونه‌ای از طرح اطاقک تهویه تونلها (استقرار فن‌ها بطور افقی) [۴]



شکل شماره ۵-۶ نمونه‌ای از طرح اطاقک تهویه تونلها (استقرار فن‌ها بطور عمودی) [۴]

۵-۲-۳- خنک کننده‌های زیرگذرها

حرارت حاصله در شبکه‌های قطارهای شهری بستگی به نوع قطار شهری، جدول زمانی حرکت و تعداد مسافر داشته و مقدار آن در ساعات مختلف روز تغییر است.

محاسبات مقدار حرارت ایجاد شده پیچیده بوده و معمولاًاحتیاج به استفاده از برنامه‌های کامپیوتری خاص است. برای برآورد بارهای برودتی و شرایط کار شبکه از برنامه کامپیوتری SES استفاده شده

است. برنامه کامپیوتری SES در بیشتر قطارهای شهری کشور آمریکا و آسیای جنوب شرقی و اروپا استفاده شده و مورد قبول و تائید مهندسین در سطح جهانی است [۱۳]

قسمتی از حرارت ایجاد شده توسط شبکه قطار معمولاً به زمین اطراف نفوذ کرده و قسمتی دیگر توسط جریان هوای خارج که بوسیله اثر پیستونی و یا دستگاههای تهویه ایجاد شده است، تخلیه می‌شود.

در شرایطی که درجه حرارت هوای خارج از تونل کمتر از درجه حرارت داخل تونل و سکوها است (مثلاًدر زمستان) جریان هوای خارج وتخلیه هوا به تنهایی قادر به خنک کردن شبکه بوده و احتیاج به دستگاهها برودتی نیست [۱۳] .

۵-۲-۴- مقدار هوای لازم برای سیستم‌های زیرگذر

برای بررسی این گزینش‌ها سوالات زیر مطرح است [۴]

- درچه فواصلی شفتها پیش بینی شوند که از نظر فنی و اقتصادی مناسب باشند.
- اندازه سطح مقطع و ارتفاع شفت چه مقدار باشد.
- تهویه طبیعی از طریق این شفتها آیا شرایط لازم برای حالت کارعادی و متراکم و اضطراری را تامین خواهد نمود.
- اگر تهویه طبیعی کافی نباشد، تهویه مکانیکی به چه روشی انجام شود.

در مورد گزینش‌ها و جوابگویی سوالات بالا ضوابط تعیین شده مستدل و قابل قبولی وجود ندارد.

در این موارد به ضوابط موجود برای زیرگذرهای خودروها رجوع می‌شود. این ضوابط بر اساس مسائل ایمنی و اندازه حریق در تونلها تدوین شده است. یعنی اینکه [۴]

- حریق بایستی در داخل تونل مهار شود.
- مسیر حرکت دود در صورت امکان مسدود و یا در مسیر آن موانعی ایجاد گردد.
- فضایی برای جمع آوری و تخلیه دود در نظر گرفته شود.
- افراد آتش نشانی بایستی بتوانند به زیرگذر وارد شده و تخلیه مسافرین را عملی سازند. قدرت حریق در این نوع زیرگذرها معمولاً ۱۰۰ مگاوات در نظر گرفته می‌شود.

ارتفاع شفتها معمولاً باید طوری انتخاب شوند. که هوای آلوده تونل و یا دود را در سطح بالاتر از جاده تخلیه نمایند. این ارتفاع معمولاً بیش از ۳ متر انتخاب می‌شود تا از ورود زباله و یا افراد جلوگیری بعمل آید. البته ارتفاع شفتها که به صورت دودکش عمل می‌نماید هر چه بیشتر باشد تهویه طبیعی تونل‌ها را موثرتر انجام خواهد داد [۴]

قطر شفتها نیز براساس سرعت ماکزیمم هوا، حداقل افت فشار برای تخلیه دود و یا هوا طرح شده و سرعت هوا معمولاً بین ۱/۵-۱ متر در ثانیه انتخاب می‌شود.

محاسبات مقدماتی برای شرایط بالا نشان می‌دهد که این سیستم قادر است تهویه لازم برای کنترل درجه حرارت زیرگذرها را در حالت کار عادی قطار تامین نماید، مشروط به آنکه دستگاههای تهویه نوع تبخیری جهت ایستگاهها پیش‌بینی شده و زیر سکوها به طور کافی و به صورت مکانیکی تهویه و تخلیه شوند.

در شرایط حالت کار متراکم و اضطراری تهویه طبیعی به کمک شفت‌های مورد نظر قادر به تامین شرایط مورد نیاز به شرح زیر نخواهند بود.

- درجه حرارت داخل تونل به خصوص در قسمت مجاور ایستگاهها و در فصلهای گرم سال ممکن است از حد مجاز خود تجاوز کند [۴]
- دود حاصله از ایجاد حریق را نمی‌توان در کوتاه مدت (مورد نظر افراد آتش نشانی) تخلیه نموده و یا شرایط ایمنی مورد نظر را تامین کرد [۴]

لذا در این گزینش بایستی تهویه‌های مکانیکی مناسبی پیش‌بینی نمود تا بتوان شرایط کار حالتهای متراکم و اضطراری را تامین کرد. با پیش‌بینی جت‌فن‌های مخصوص که عموماً در زیر سقف زیرگذر نصب می‌گردند، این منظور حاصل می‌گردد. روش نصب در شکل شماره ۴-۶ نشان داده شده است.[۴]

جت‌فن‌ها طوری طراحی شده‌اند که هوای داخل زیرگذر را مکیده و آن را با سرعت زیادی به داخل تونل تخلیه می‌کند و به این ترتیب به هوای داخل زیرگذر نیروی حرکت لازم را داد و آنرا به حرکت در می‌آورد [۴]

فواصل نصب جت فن‌ها هماهنگ با فواصل شفتها و برابر ۱۰۰ متر خواهد بود. این فن‌ها دو طرفه کارکرده و می‌توانند مسیر حرکت دود را در موارد اضطراری در جهت مورد نظر تغییر دهند.

بزرگترین امتیاز این نوع فن در این است که ارزانتر از فنهای لازم برای تهویه‌های مرکزی است [۴]

عیب این فن‌ها در این است که باید در ارتفاع زیر سقف در داخل تونل نصب شوند و نگهداری و تعمیرات آن مشکل‌تر از سیستم با تهویه مرکزی است [۴]

هزینه ساختمانی این نوع تهویه حداقل بوده ولی هزینه کابل کشی و برق رسانی به آنها نسبت به سیستم‌های دیگر قابل توجه است.

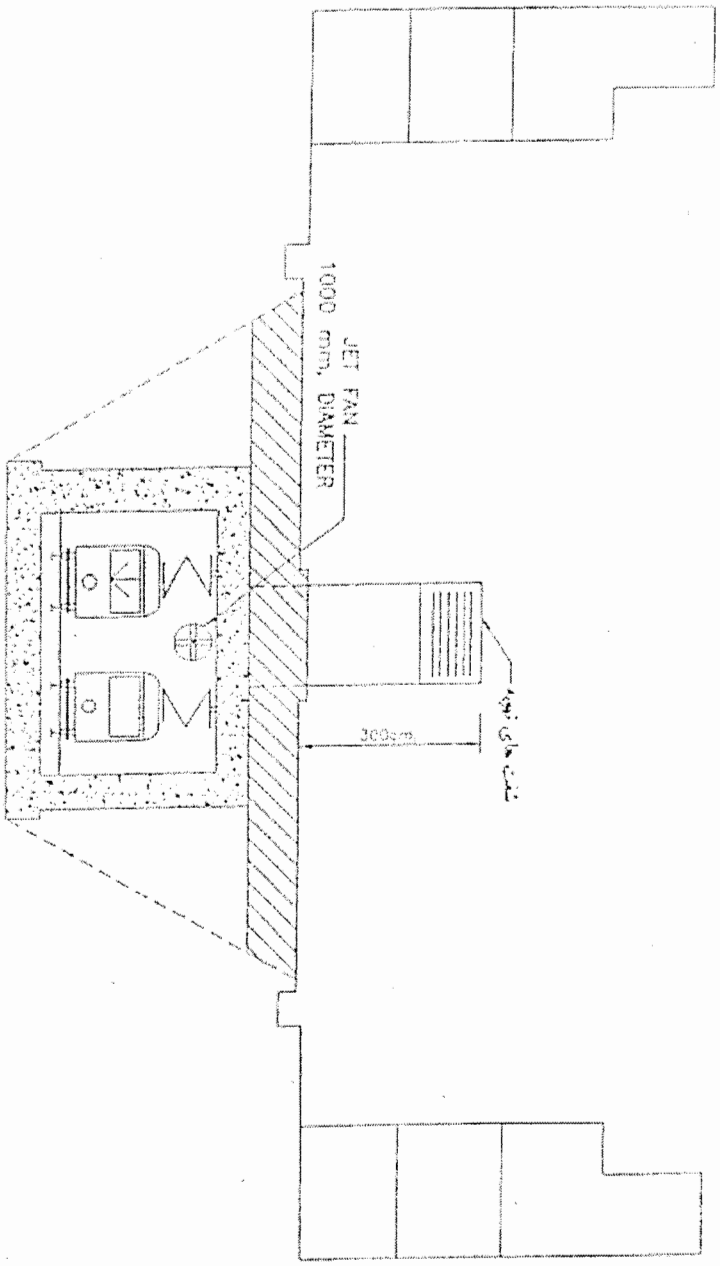
۵-۳- جمع‌بندی سیستم‌های تهویه

جمع بندی سیستم‌های تهویه پیشنهادی برای گزینش‌های مختلف به قرار زیر است [۴] :

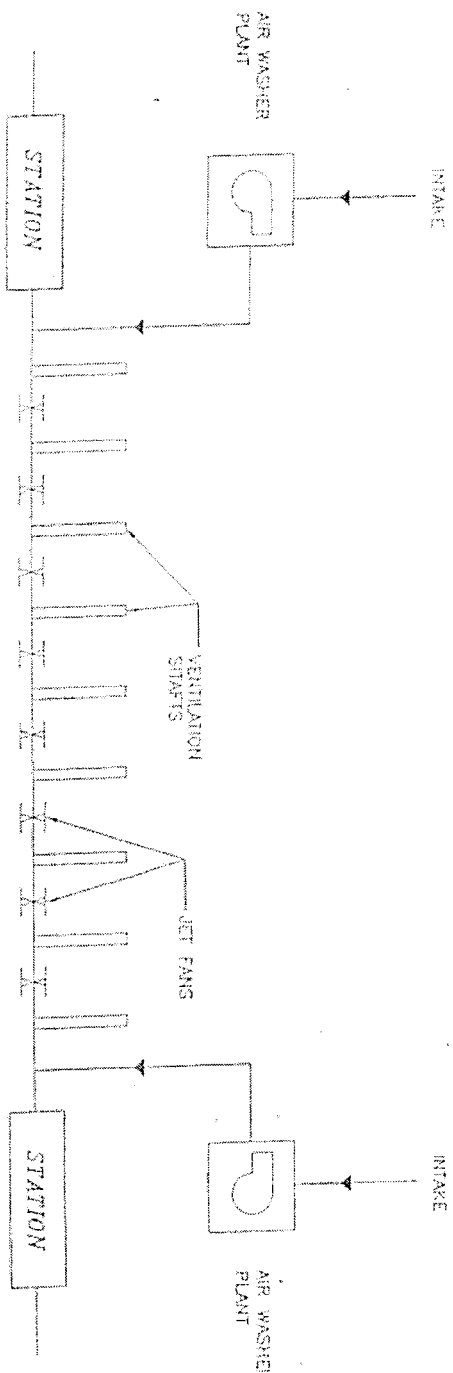
الف) زیرگذر با شفت‌های باز در فواصل معین (شکل‌های ۵-۷ و ۵-۸)

تهویه مکانیکی با استفاده از جت فن بین دو شفت در فواصل معین انجام می‌گیرد. این سیستم برای حالت‌های متراکم یا اضطراری نیز جوابگو است. جت فن‌ها دو جهته عمل کرده و سرعت هوا را در داخل تونل طوری تنظیم خواهند کرد که افراد آتش نشان به داخل رفته و مسافرین را تخلیه نمایند.

در دستگاه ایرواشر در دو انتهای ایستگاه برای کنترل دمای هوا در داخل ایستگاه و تونلها در فصل گرما نیز تعبیه شده است.



شکل شماره ۵-۷- تهویه گریزش با کس با شفت‌های تهویه مرتبط به هوای آزاد [۴]



شکل شماره ۵-۸ دیاگرام شماتیک سیستم تهویه و خنک کننده گزینش باکس با شفتهای مرتبط به هوای آزاد [۴]

ب) زیرگذر به صورت باکس بسته و بدون دیوار ایمنی (شکل ۵-۹)

دو دستگاه ایرواشر در دو انتهای هر ایستگاه برای کنترل درجه حرارت هوا و برای استفاده در مواقع حالتهای متراکم و اضطراری تعبیه شده است. هر دستگاه شامل دو بادبزن (یک دستگاه به عنوان رزرو) خواهد بود.

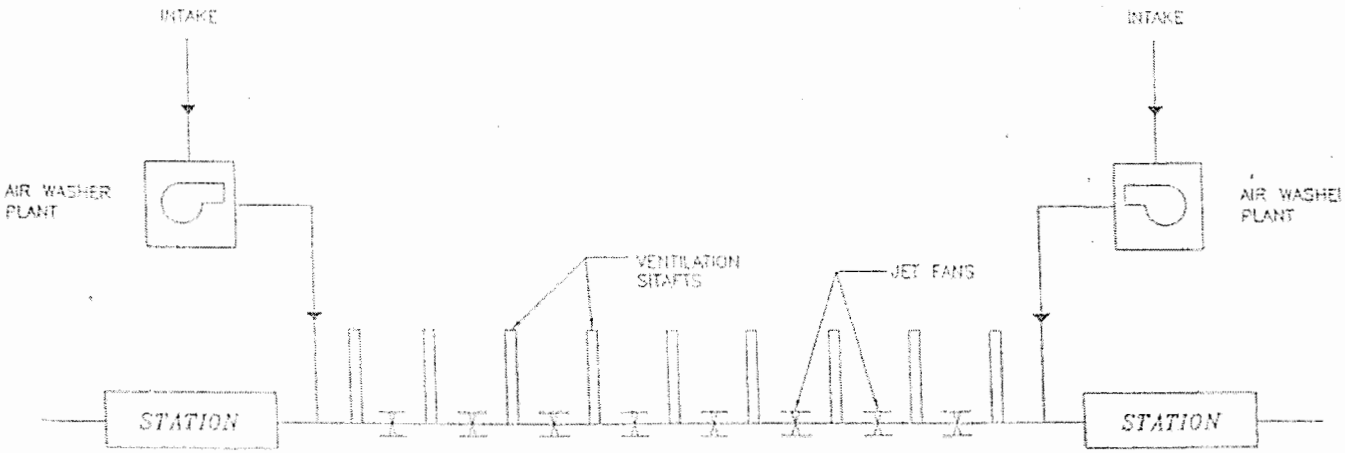
یک شفت تهویه بین دو ایستگاه با سه عدد بادبزن (یک دستگاه به عنوان رزرو) برای استفاده در مواقع حالتهای اضطراری یا متراکم و برای کنترل درجه حرارت هوا تعبیه شده است. تمامی بادبزن‌ها از نوع محوری با قابلیت کارکرد دو جهته خواهند بود تا در مواقع نیاز به صورت مکشی – کششی کار کنند.

ج) زیرگذر به صورت باکس بسته با دیوار ایمنی بین دو خط (شکل۵-۱۰)

سیستم شامل دو اطاقک تهویه با شفتهای لازم در دو انتهای هر ایستگاه، هر کدام بادو بادبزن محوری دو جهته برای کار در شرایط متراکم یا اضطراری است. دو دستگاه ایراواشر در دو انتهای ایستگاه برای کنترل درجه حرارت هوا تعبیه شده است.

د) زیرگذر به صورت یک تونل دو خطه و بدون دیوارایمنی (شکل شماره ۵-۹)

دود دستگاه ایرواشر در دو انتهای هر ایستگاه برای کنترل درجه حرارت هوا برای استفاده در مواقع حالتهای متراکم و اضطراری تعبیه شده است.



شکل شماره ۵-۹- دیاگرام شماتیک سیستم تهویه و خنک کننده گزینش‌های باکس بسته دو خطه و تونل دو خطه (بدون دیوار ایمنی) [۴]

یک شفت تهویه بین دو ایستگاه با سه عدد بادبزن (یک بادبزن به عنوان رزرو) برای استفاده در حالتهای متراکم و اضطراری تعبیه شده است که هر کدام از بادبزن‌ها قابلیت معکوس کار کردن را نیز دارا هستند.

هـ) زیرگذر به صورت یک تونل دو خطه و با دیوار ایمنی بین دو خط (شکل شماره ۵-۱۰) دو اطاقک تهویه با شفت‌های لازم در دو انتهای هر ایستگاه هر کدام با دو بادبزن محوری، (یک دستگاه به عنوان رزرو بین دو خط) و دو جهته برای کار در شرایط اضطراری و متراکم پیش‌بینی شده است.

دو دستگاه ایرواشر در دو انتهای ایستگاه برای کنترل درجه حرارت تعبیه شده است

و) زیرگذر به صورت دو تونل هر کدام با یک خط (شکل شماره ۵-۱۰)

دو اطاقک تهویه با شفتهای لازم در دو انتهای هر ایستگاه هر کدام با دو بادبزن (یک دستگاه به عنوان رزرو بین دو خط) و قابلیت کار بادبزن در دو جهت است.

دو دستگاه ایرواشر در دو انتهای ایستگاه برای کنترل درجه حرارت هوا تعبیه شده است.

۵-۴- مقایسه فنی، اقتصادی سیستم‌های تهویه

تمام پیشنهادهای ارائه شده برای تهویه گزینش‌ها مختلف، شرایط لازم برای حالتهای مختلف کار قطارهای شهری بین حالتهای عادی، متراکم، اضطراری را کنترل و تهویه لازم را بعمل خواهند آورد.

- زیرگذر باکس با شفتهای مرتبط به هوای آزاد در فواصل مختلف کمترین هزینه ارزی برای تهیه دستگاههای تهویه را دارد.

بزرگترین عیب این طرح در اینست که در زمان تعمیرات جت‌فن‌ها که در زیر سقف داخل زیرگذر نصب شده‌اند، ممکن است بسته شدن قسمتی از شبکه قطار زیر شهری را باعث گردد.

اگر این گزینش برای قطار شهری انتخاب شود، مسائل ایمنی و راه خروج از شبکه زیرگذر، مسیر و طول مسیر برای تخلیه مسافرین در سناریوهای مختلف باید مطالعه دقیق شده و پیش‌بینی پله‌های فرار و یا اضطراری را با شفتها تلفیق و یا در مجاورت آنها ایجاد نمود.

- زیرگذرهای یاکس بسته با دو خط و یا یک تونل با دو خط بیشترین هزینه ارزی برای تهیه دستگاههای تهویه را دارند. عیب این طرح در این است که اگر حالت اضطراری در یکی از خطوط پیش آید، منجر به بسته شدن هر دو خط خواهد شد.
- با رعایت ضوابط فنی و مهندسی تهویه تونل‌ها، زیرگذر با دو مسیر بسته مجزا و هر مسیر دارای یک خط نسبت به سایر زیرگذرها ارجح بوده و در نتیجه با توجه به گزینه‌های مختلفی که در گزارش مطالعه گردیده و نتایج به صورت جدول ۵-۱ بیان گردیده است. [۴]

البته لازم به ذکر است که در مورد متروی تهران بدلیل اجرا شدن طرح یک تونل دوخطه بدون دیوار ایمنی ،جدول فوق الذکر صرفاً جنبه ای مطالعاتی داشته و ازنظر عملیاتی ملاک نمی باشد.

جدول ۵ ۱ برآورد هزینه تاسیسات تهویه و آتش نشانی [۴]

ردیف	گزینه	دستگاههای تهویه تونل ها ، تدارک ارزی دلار	دستگاههای خنک کننده تبخیری و بخشی از دستگاههای تهویه تونل ، نصب و راه اندازی ریال	سیستم های اتش نشانی ریال	جمع هزینه های ریالی ریال	جمع هزینه های ارزی دلار
۱	زیرگذر باکس شفتهای باز مرتبط به هوای آراد	۵۰۳۰۳۶	۵۴۵۷۵۵۰۰۰۰	۹۵۰۰۰۰۰۰۰	۶۴۰۷۵۵۰۰۰۰	۵۰۳۰۳۶
۲	زیرگذر باکس بسته بدون دیوار ایمنی بین دو خط	۱۵۴۳۹۲۹	۳۳۵۲۱۵۶۸۰۰	۹۵۰۰۰۰۰۰۰	۴۳۰۲۱۵۶۸۰۰	۱۵۴۳۹۲۹
۳	زیرگذر باکس بسته با دو خط دیوار ایمنی بین دو خط	۸۱۱۲۲۴	۴۴۹۱۶۸۹۶۰۰	۱۹۰۰۰۰۰۰۰۰	۶۳۹۱۶۸۹۶۰۰	۸۱۱۲۲۴
۴	زیرگذر یک تونل با دو خط بدون دیوار ایمنی بین دو خط	۱۷۱۹۶۴۳	۳۶۳۲۱۵۶۸۰۰	۹۵۰۰۰۰۰۰۰	۴۵۸۲۱۵۶۸۰۰	۱۷۱۹۶۴۳
۵	زیرگذر با یک تونل دو خطه با دیوار ایمنی بین دوخط	۸۴۶۲۴۵	۴۴۹۱۶۸۹۶۰۰	۱۹۰۰۰۰۰۰۰۰	۶۳۹۱۶۸۹۶۰۰	۸۴۶۲۴۵
۶	زیرگذر با دو تونل یک خطه	۷۵۷۳۴۷	۴۴۹۱۶۸۹۶۰۰	۱۹۰۰۰۰۰۰۰۰	۶۳۹۱۶۸۹۶۰۰	۷۵۷۳۴۷

فصل ششم ـ طراحی سیستم تهویه

فصل ششم - طراحی سیستم تهویه

۶-۱- آشنایی

اصلی‌ترین عاملی که باعث خارج شدن پارامترهای هوای محیط مترو از شرایط مطلوب می‌شود گرمای داده شده به هوای محیط مترو است . این گرما از منابع متعددی به محیط مترو وارد می‌شود که عمده‌ترین آنها عبارتند از [۱۹]:

الف) گرمای تولید شده به وسیله ترن‌ها: شامل گرمای موتورهای محرک ترن، گرمای تولید شده هنگام ترمزگیری ترن، گرمای آزاد شده از ملحقات و دستگاههای نصب شده در روی واگن‌ها مثل ژنراتور برق و کمپرسورها، گرمای ناشی از مقاومت هوا در مقابل حرکت ترن، گرمای ناشی از اصطکاک قطعات مکانیکی ترن در حین حرکت و گرمای ناشی از مقاومت الکتریکی ریل سوم

ب) گرمای تولید شده به وسیله سیستم روشنایی ایستگاهها و تونلها

ج) گرمای آزاد شده از بدن مسافران

د) گرمای تولید شده به وسیله تجهیزات مکانیکی و الکتریکی که در ایستگاهها نصب شده‌اند از جمله: پله‌های برقی و تابلوهای اعلان کننده و تبلیغاتی

۶-۲- منابع عمده کسب انرژی حرارتی در مترو

منابع عمده کسب انرژی حرارتی در مترو عبارتند از [۱۹]:

الف – مصرف انرژی الکتریکی در وسایل الکترومکانیکی

ب) حرارت محسوس هوای وارد شده به محیط مترو از بیرون وقتی که دمای طراحی پایین‌تر از دمای محیط خارج باشد.

ج) دمای ناشی از سوخت و ساز بدن مسافران و کارکنان

برای هر قسمتی از مترو باید مجموع حرارت ورودی و خروجی برابر باشند که باعث تعادل حرارتی شود وقتی تعادل حرارتی وجود نداشته باشددمای محیط مترو بالا یا پایین می‌رود. در شرایط کار عادی مترو میزان حرارت آزاد شده از تجهیزات و تاسیسات مورد نظر است، تا بتوان با محاسبه میزان حرارت آزاد شده طراحی مناسب جهت تهویه خطوط و ایستگاهها را انجام داد. لذا در بخش‌های بعدی به بررسی میزان حرارت آزاد شده از وسایل مختلف خواهیم پرداخت.

۶-۳- تقسیم‌بندی منابع تولید حرارت در مترو

الف) حرارت تولید شده در زمان شتاب و ترمز گرفتن

ب) حرارت ناشی از مقاومت الکتریکی ریل سوم

ج) حرارت ناشی از دستگاه‌های تهویه مطبوع واگن‌ها و سایر ملزومات آنها

د) حرارت ناشی از روشنایی تونل

ه) حرارت ناشی از تجهیزات ایستگاهها

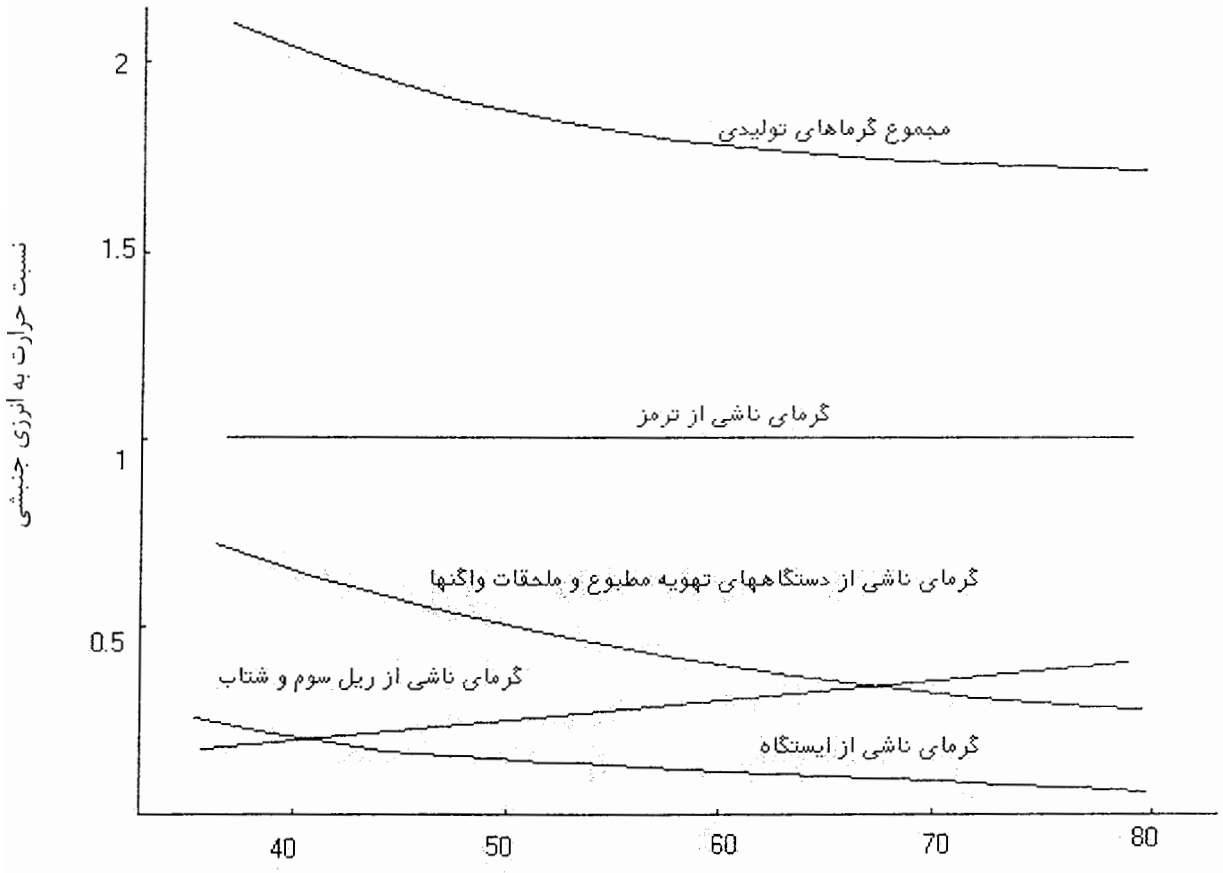
درجدول ۶-۱ بعد این منابع تولید حرارت و مقدار نسبی آنها برای یک سیستم نمونه ذکر شده است . همچنین در این جدول نسبت این حرارتها به انرژی جنبشی ترن در سرعت طراحی قید شده است.

نتایج جدول ۶-۱ به صورت شکل ۶-۱ خلاصه می‌شود.

همانطور که از شکل ۶-۱ مشخص می‌شود حرارت ناشی از ترمز گرفتن در هر سرعتی برابر با انرژی جنبشی ترن است. همچنین کل حرارت تولید شده ترن تقریباً دو برابر انرژی جنبشی ترن است.

جدول ۶-۱- منابع تولید حرارت نسبت به انرژی جنبشی در سرعتهای طراحی مختلف[۲۰]

سرعت طراحی	۸۰مایل بر ساعت		۶۰مایل بر ساعت		۴۰مایل بر ساعت	
منبع تولید حرارت	نسبت به انرژی جنبشی	Btu برهرتن	نسبت به انرژی جنبشی	Btu برهرتن	نسبت به انرژی جنبشی	Btu برهرتن
مقاومت هوا	۰/۰۱۶	۳۷۰۰	۰/۰۰۸	۱۱۰۰	۰/۰۰۳	۲۰۰
مقاومت مکانیکی	۰/۰۱۹	۴۴۰۰	۰/۰۱۷	۲۳۰۰	۰/۰۱۵	۹۰۰
اتلاف موتور : ترمز گرفتن	۰/۱۲۵	۲۹۸۰۰	۰/۱۲۷	۱۶۹۰۰	۰/۱۲۸	۷۶۰۰
مقاومت الکتریکی	۰/۸۴	۱۹۹۳۰۰	۰/۸۴۸	۱۱۳۱۰۰	۰/۸۵۴	۵۰۶۰۰
کل حرارت	۱	۲۳۷۲۰۰	۱	۱۳۳۴۰۰	۱	۵۹۳۰۰
مقاومت هوا	۰/۰۸۳	۱۹۶۰۰	۰/۰۴۷	۶۲۰۰	۰/۰۱۹	۱۱۰۰
مقاومت مکانیکی : شتاب گرفتن	۰/۰۶۰	۱۴۳۰۰	۰/۰۵۴	۷۲۰۰	۰/۰۴۹	۲۹۰۰
اتلاف موتور	۰/۱۳۲	۳۱۲۰۰	۰/۱۲۶	۱۶۸۰۰	۰/۱۲۳	۷۳۰۰
مقاومت الکتریکی کنترل موتور	۰/۰۳۵	۸۴۰۰	۰/۰۳۵	۴۷۰۰	۰/۰۳۵	۲۱۰۰
کل حرارت	۰/۳۱	۷۳۵۰۰	۰/۲۶۲	۳۴۹۰۰	۰/۲۲۶	۱۳۴۰۰
ریل سوم	۰/۱۱۶	۲۷۴۰۰	۰/۰۴۵	۶۰۰۰	۰/۰۱۷	۱۰۰۰
روشنایی تونل	۰/۰۰۴	۹۰۰	۰/۰۰۴	۵۰۰	۰/۰۰۳	۲۰۰
کمپرسور هوا : ملزومات واگن	۰/۰۰۶	۱۴۰۰	۰/۰۰۸	۱۱۰۰	۰/۰۱۵	۹۰۰
موتور – ژنراتور	۰/۰۱۶	۳۸۰۰	۰/۰۲۲	۳۰۰	۰/۰۳۹	۲۳۰۰
دستگاه تهویه واگن‌ها	۰/۲۷۳	۶۵۰۰۰	۰/۳۹۰	۵۲۰۰۰	۰/۶۵۸	۳۹۰۰۰
تجهیزات ایستگاهها و مسافران	۰/۰۵۹	۱۳۹۰۰	۰/۱۰۴	۱۳۹۰۰	۰/۲۳۴	۱۳۹۰۰
کل حرارت ورودی به مترو	۰/۷۸۴	۴۲۳۱۰۰	۱/۸۳۵	۲۴۴۸۰۰	۲/۱۹۲	۱۳۰۰۰۰
انرژی جنبشی در سرعت طراحی	۱	۲۳۷۲۰۰	۱	۱۳۳۴۰۰	۱	۵۹۳۰۰



شکل ۶-۱- رابطه بین حرارت و سرعتهای طراحی [۱۹]

۶-۴- ترمز گیری

بیشترین حرارت تولید شده در مترو بوسیله عمل ترمزگیری ترنهای بوجود می‌آید. انرژی جنبشی‌ترن باید در حین ترمزگیری کاهش یافته و در نهایت قطار متوقف گردد.

سیستم‌های جدید مترو از ترمز دینامیکی برای از بین بردن این انرژی جنبشی استفاده می‌کنند. در ترمز دینامیکی، موتور محرک واگن بطور الکتریکی به صورت معکوس همانند ژنراتور عمل می‌کند که

بـه وسـیله چـرخهای ترن به حرکت در آمده است، پس انرژی الکتریکی تولید شده اگر دارای اختلاف پتانسیل بالاتر از ریل سوم باشد به ریل سوم برگشت داده می‌شود، و اگر دارای اختلاف پتانسیل کمتر از ریـل سـوم باشد به مقاومت‌های الکتریکی که زیر واگن‌ها نصب شده است منتقل می‌شود و در آنجا تبدیل به حرارت می‌گردد، حرارت حاصله به صورت تشعشع و جابجایی در سرتاسر تونل پخش می‌شود [۲۰].در هـنگام ترمـز گـیری تمـام انـری جنبشی ترن پس از مقاومت هوا، مقاومت مکانیکی و اتلاف موتور – ژنراتور به صورت تولید حرارت تلف می‌شود.

۶-۴-۱- انرژی جنبشی

هـنگام محاسـبه انـرژی جنبشـی ترن باید از «وزن معادل» ترن استفاده شود. وزن معادل شامل: وزن ترن خالی، وزن مسافران و وزن معادل اینرسی دورانی چرخها و سایر تجهیزات دوار است [۲۰]

یـک تقریـب خـوب برای وزن دورانی معادل برای سیستمی با چرخهای فولادی عبارتست از: ۸ درصد وزن کل ترن (شامل ماکزیمم وزن مسافران) از آنجائیکه از انرژی جنبشی برای تعادل حرارتی استفاده مـی‌شـود بـاید واحـد آن برحسب Btu بر ساعت بیان گردد . بنابراین انرژی جنبشی ترن عبارتست از [۲۰]

$$KE = 11.1 \times 10^{-6} We.N.n.v^2 \qquad (۱-۶)$$

KE = انرژی جنبشی در سرعت ماکزیمم در محدوده ایستگاه برحسب Btu/h

We = وزن معادل هر واگن شامل مسافران و اینرسی دورانی برحسب ton

N : تعداد واگن‌ها در هر ترن

n : تعداد ترن‌های عبوری از محدوده یک ایستگاه در یک ساعت

v : ماکزیمم سرعت ترن برحسب fpm

بـرای تقریـب اولـیه، از اثـرات مقاومت هوا و مقاومت مکانیکی برای محاسبه حرارت تولید شده از ترن صرفنظر می‌شود.

بـه هـر حـال بزرگترین بخش حرارت تولید شده در حین ترمزگیری ، حرارت ناشی از ترمز دینامیکی است که در شبکه مقاومتهای الکتریکی به صورت حرارت ظاهر می‌شود.

۶-۴-۲- مقاومت هوا

مقاومـت هوا متناسب با مربع سرعت است و از این رو با افزایش سرعت، مقاومت هوا افزایش می‌یابد. نـیرو و گـرمای متـناظر آن بـه وسـیله فـرمولهای زیـر محاسـبه می‌گردد، از آنجائیکه گرمای ناشی از مقاومـت هوا در مقابل دیگر گرماهای تولید شده معمولاً کوچکتر است، ضریب درگ C_D معمولاً ۴/۴ انتخاب شده است [۲۰].

$$F_D = 4.3\times10^{-6} a\delta C_D \overline{U}^2 \qquad (۲-۶)$$

که در آن

F_D = نیروی مقاومت هوا (Lb_f)

δ = دانسیته وزنی هوا $(lbf/ft^3)=0.072$

C_D = ضریب درگ (بی بعد)

$\overline{U}$ = سرعت متوسط ترن در حین ترمز گیری (fpm)

a= سطح جلوی ترن (ft^2)

و

$$q_D = \frac{F_D d_b n}{778} \qquad (۳-۶)$$

q_D = حرارت تولید شده ناشی از مقاومت هوا (Btu/hr)

d_b = مسافت توقف از سرعت ماکزیمم (ft)

n = تعداد ترن عبوری از ایستگاه در یک ساعت (trains/hr)

۶-۴-۳- مقاومت مکانیکی

مقاومت مکانیکی را می‌توان از معادله تجربی دیویس برای یک واگن با چهار چرخه فولادی حساب کرد. نیروی اصطکاکی به صورت گرما ظاهر می‌شود[۲۰].

$$F_M = 1.3 + \frac{116}{w} + 5.1\times10^{-4}\times\overline{U} \qquad (۴-۶)$$

که در آن:

F_M = نیروی مقاومت مکانیکی یک واگن (lbf/ton)

W = وزن یک واگن شامل مسافران (ton)

$\overline{U}$ = سرعت متوسط ترن (fpm)

و حرارت ناشی از نیروی مقاومت مکانیکی عبارتست از:

$$q_M = \frac{F_M.d_b.W.N.n}{778} \qquad (۵-۶)$$

q_M = حرارت ناشی از مقاومت مکانیکی (Btu/hr)

db = مسافت طی شده از سرعت ماکزیمم (ft)

W = وزن یک واگن شامل مسافران (ton)

N = تعداد واگنها در یک ترن

n = تعداد واگن‌های عبوری از یک ایستگاه (trains/hr)

۶-۴-۴- مقاومت الکتریکی

انرژی جنبشی یک ترن در حال ترمز گیری ابتدا تبدیل به الکتریسیته و سپس تبدیل به حرارت در شبکه‌های مقاومت الکتریکی شده و از آنجا حرارت به طریق تشعشع و جابجایی به محیط مترو وارد می‌شود [۲۰].

شبکه‌های مقاومت الکتریکی به صورت فیزیکی شامل لوله‌هایی فلزی هستند که دارای هدایت الکتریکی خوبی بوده و همچنین سطح بزرگی برای پراکنده کردن دارند، جرم این شبکه‌ها باید به اندازه کافی باشد، تا تمام انرژی ناشی از ترمز گیری‌ها را بدون آنکه دمای شبکه‌ها بیش از اندازه زیاد شود، جذب نمایند. شبکه‌های با جرم کم به وسیله جریان مصنوعی هوا خنک می‌شوند تا دمایشان پایین نگه داشته شود. به طور کلی تمامی انرژی الکتریکی که به شبکه‌ها فرستاده می‌شود باید به صورت حرارت به هوا منتقل شود، در غیر این صورت دمای این شبکه‌ها به حدی زیاد می‌شود که از نظر مکانیکی سست شده و ذوب می‌شوند [۲۰] .

وزن این شبکه‌ها در هر واگن معمولاًبین ۲۰۰ تا ۵۰۰ پوند است. بعد از چند سیکل سریع حرکت و ترمز (که در آن ترن برای رسیدن به سرعت بالا شتاب می‌گیرد و بلافاصله ترمز می‌گیرد) دمای شبکه‌ها به حالت تعادل می‌رسد [۲۰].

با شروع حرکت ترن با شبکه مقاومت سرد در طی اولین سیکل حرکت و ترمز حدود ۸۰ درصد حرارت تولید شده در شبکه‌ها باقی مانده، تنها ۲۰ درصد بقیه وارد هوای مترو می‌شود. به طور کلی اگر چندین ایستگاه در یک خط مترو وجود داشته باشد، بالاخره تمام گرمای شبکه‌های مقاومت الکتریکی وارد هوای محیط مترو می‌شود [۲۰].

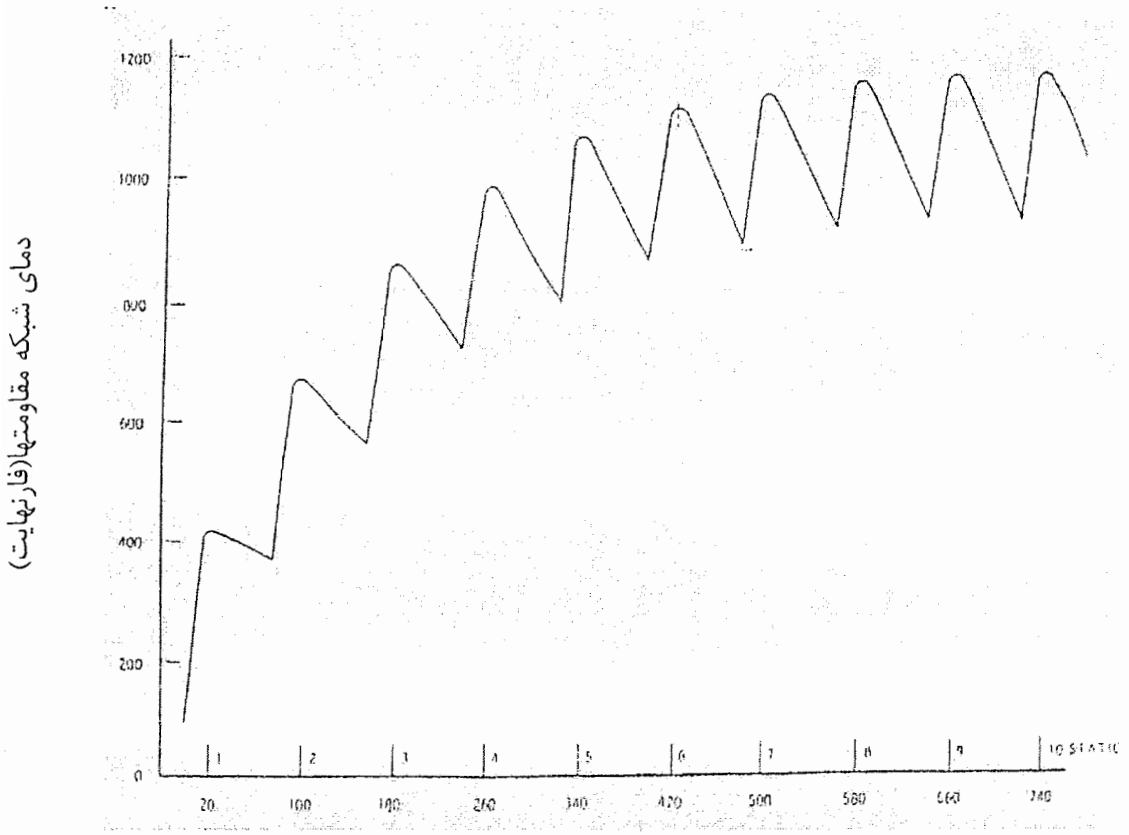
برای نشان دادن تاثیر گذشته دمای شبکه‌های مقاومت الکتریکی به عنوان مثال فرض کنید سیستمی شامل ۱۰ ایستگاه به فواصل مساوی از یکدیگر داریم، فاصله ایستگاهها از یکدیگر طوری است که ترنها برای حدود ۴۰ ثانیه شتاب می‌گیرند تا به سرعت ماکزیمم ۶۰ mph برسند و سپس سریعاً با نرخ ۳ mphps ترمز می‌گیرند تا به ایستگاه بعدی برسند [۲۰].

این سیکلهای تکراری نیاز به شبکه‌های مقاومت‌های الکتریکی قوی برای ترمز گیری دارند شکل ۶-۱ نشان می‌دهد که دمای شبکه مقاومتهای الکتریکی در طی چند ایستگاه اول به شکل ناگهانی زیاد می‌شود تا سرانجام با تکرار سیکلها به تعادل می‌رسد [۲۰].

در طی پریود دمای شبکه که در شکل ۵-۲ ملاحظه می‌شود، گرمای آزاد شده در طی یک سیکل (حرکت – ترمز) فقط بخشی از انرژی جنبشی مستهلک شده در طی مرحله ترمزگیری است، که انرژی باقیمانده صرف افزایش دمای شبکه می‌شود.

نتیجه این است که قسمت عمده انرژی ترمز بعد از اولین توقف در شبکه‌ها باقی می‌ماند، اما بعد از چندین توقف حرارت آزاد شده از شبکه در هر سیکل (حرکت – ترمز) به انرژی جنبشی مستهلک شده در حین هر ترمز گیری، نزدیک می‌شود.

درست قبل از اینکه ترن در ایستگاه دوم ترمز بگیرد شبکه‌های مقاومت الکتریکی فقط ۱۵ درصد انرژی ترمز جذب شده را آزاد می‌کنند و هنگامی که ترن به ایستگاه سوم می‌رسد حدود ۲۵ درصد انرژی جذب شده را آزاد می‌کنند.



شکل ۶-۲ سیکل افزایش دمای شبکه مقاومتهای الکتریکی [۲۰]

سه متغیر در شکل پروفیل‌های سیستم موثرند [۲۰]:

الف)انرژی جنبشی ترن

ب) جرم شبکه‌های مقاومت الکتریکی

ج) فاصله ایستگاهها از یکدیگر

تعداد توقفهای مورد نیاز برای اینکه شبکه‌ها به تعادل حرارتی برسند تابعی از جرم شبکه‌ها است. یک شبکه با جرم کم (ظرفیت کم برای ذخیره انرژی حرارتی) به تعداد توقفهای کمتری برای رسیدن به تعادل حرارتی نیاز دارد تا شبکه با جرم زیاد، همچنین شبکه با جرم کم نوسانات زیادتری در دما و گرمای آزاد شده در طی یک سیکل (حرکت – ترمز) تحمل می‌کند تا شبکه با جرم بیشتر، طول زمان

مـورد نـیاز بـرای یـک سـیکل (حرکت – توقف) نیز یکی از پارامترهای موثر در دامنه تعادل دمایی و گرمایی است [۲۰].

اگـر بعـد از توقـف اول که دمای شبکه ^{o}F ۴۱۰ می‌رسد (شکل ۶-۱) ترن تا سرعت mph ۶۰ شتاب بگیرد و در این سرعت باقی بماند تا به ایستگاه آخر برسد، شبکه‌ها فرصت کافی دارند تا دمایشان را به دمـای محـیط برسـانند. بنابرایـن در این حالت دامنه تعادل دمایی بین دمای محیط و دمای ^{o}F ۴۱۰ اسـت [۲۰].مقدار گرمای آزاد شده در طی سیکل (حرکت – ترمز) وقتی که ترن با شبکه‌های سرعت شروع به حرکت می‌کند را می‌توان با استفاده از جدول ۶-۲ تخمین زد [۲۰].

هر چه تونل بین ایستگاهها طولانی‌تر باشد، درصد بیشتری از گرمای شبکه‌ها به هوا منتقل می‌شود.

جدول ۶-۲

	تعداد توقفها در ایستگاه										
	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰
درصدانرژی جنبشی منتقل شده به هوا	۹۱	۸۹	۸۶	۸۲	۷۶	۷۰	۶۲	۵۱	۳۸	۲۱	سرد

۶-۴-۵- شتاب گرفتن

در حالت شتاب گرفتن ترن تا سرعت ماکزیمم، موتورهای الکتریکی محرک ترن شروع به کار می‌کنند. و مقدار این کار یا انرژی باید به حدی باشد که انرژی جنبشی ترن را به حد سرعت ماکزیمم برساند و نـیز بـر اتـلاف انـرژی مکانیکـی در طـی مرحله شتاب گرفتن غلبه کند که این انرژی مکانیکی شامل

مقاومت هوا و مقاومت مکانیکی است. به علاوه، اتلاف الکتریکی در موتور محرک و نیز اتلاف الکتریکی در مقاومت‌های راه انداز موتور الکتریکی به صورت گرما وارد مترو می‌شوند [۲۰].

حرارت ناشی از مقاومت مکانیکی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_M = \frac{FM.da.W.N.n}{778} \qquad (۶-۶)$$

که در آن:

da : مسافت شتاب گرفتن برای رسیدن به سرعت ماکزیمم (ft)

q_M = حرارت ناشی از مقاومت مکانیکی (Btu/hr)

FM = نیروی مقاومت مکانیکی یک واگن تنها (lbf/ton)

W = وزن یک واگن شامل مسافران (ton)

N = تعداد واگن‌ها در یک ترن

n = تعداد واگن‌های عبوری

بطور مشابه گرمای ناشی از مقاومت هوا از فرمول زیر بدست می‌آید [۲۰] :

$$q_D = \frac{F_D d_a n}{778} \qquad (۷-۶)$$

q_D = حرارت ناشی از مقاومت هوا (Btu/hr)

F_D = نیروی مقاومت هوا (lbf)

n = تعداد ترن عبوری از ایستگاه در یک ساعت (trains/hr)

اتلافهای الکتریکی در سیستم نیروی محرکه ترن، مثل اتلاف موتور و اتلاف کنترل کننده‌های موتور،از جمله فاکتورهای مهمی در بارگرمایی مترو هستند. عموماًاز موتورهای DC در ترنهای مترو استفاده می‌شود، خاصیت اصلی موتورهای DC این است که سرعت آنها متناسب با ولتاژ ورودی به موتور

است. ولتاژ ورودی را می‌توان با قرار دادن مقاومتهای خارجی به صورت سری با موتور کنترل کرد. در مرحله شروع حرکت که احتیاج به گشتاور ماکزیمم است و همچنین جریان ورودی به موتور را کاهش داده تا موتور زیاد داغ نشود [۲۰].

روشهای اصلی برای کنترل کردن موتورهای DC عبارتند از [۲۰]:

۱- کنترل بادامکی با ارتباط موازی یا سری – موازی

۲- کنترل تریستوری یا چاپری

کنترل کننده بادامکی یک وسیله الکترومکانیکی است که ولتاژ ورودی به موتور را به وسیله کاهش مقاومتهای خارجی سری با موتور بتدریج افزایش می‌دهد و این مقاومتهای خارجی بتدریج کم می‌شوند تا اتصال کوتاه برقرار شود و مقاومتها از مواد حذف شوند و موتور ولتاژ کامل خط را دریافت کند. و انرژی تلف شده در مقاومتهای راه انداز به صورت گرما وارد سیستم می‌شود. محاسبات اتلاف حرارتی مقاومتهای راه انداز را از مشخصات موتور می‌توان به دست آورد که کار مهندسین برق است. برای تخمین حرارت منتشر شده در طی اولین مرحله حرکت، معادله زیر را به کار می‌بریم [۲۰].

$$q_{step1} = KE_{step1} + q_{M\,step1} \qquad (۸-۶)$$

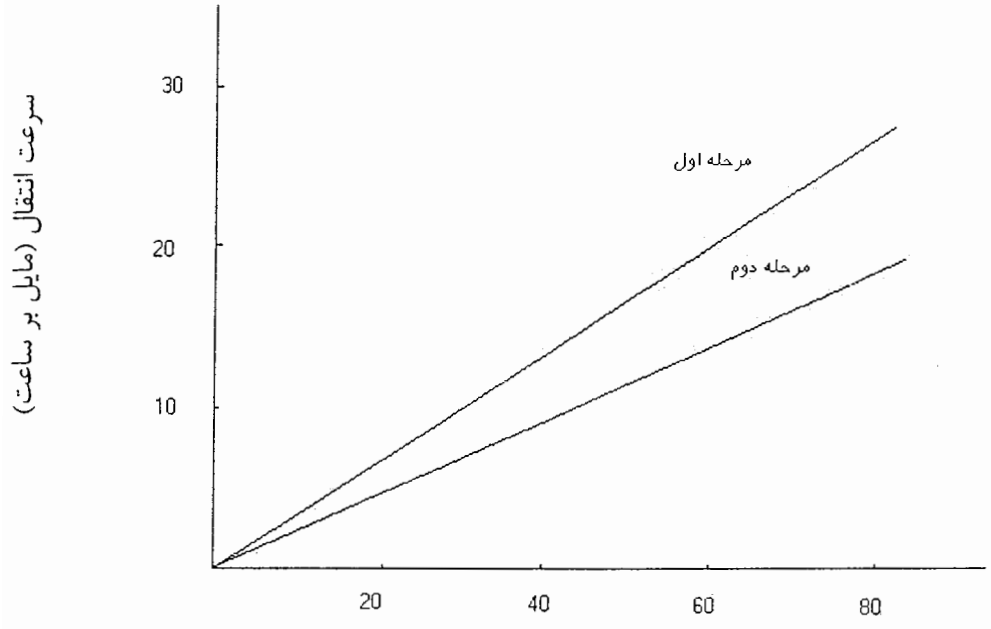
q_{step1}(Btu/hr) = اتلاف حرارت مقاومتهای راه انداز برای اولین مرحله کنترل بادامکی برای اتصال سری – موازی

KE = انرژی جنبشی ترن (Btu/hr)

q_{Mstep1} = اتلاف حرارتی موتور محرک در مرحله اول (Btu/hr)

و همچنین سرعتی که در آن انرژی جنبشی محاسبه شده است، سرعت انتقال بین مرحله اول و مرحله سوم است.

چند سرعت انتقال نمونه در شکل ۶-۳ نمایش داده شده است[۲۰].



شکل ۶-۳ سرعتهای انتقال نمونه بر حسب سرعت طراحی [۲۰]

و همچنین مقدار q_{Mstep1} که در معادله ۶-۹ استفاده شده است به کارآئی موتور بستگی دارد و از معادله زیر بدست می‌آید [۲۰].

$$q_{Mstep1} = KE_{step1}\left(\frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m}\right) \qquad (۹-۶)$$

که در آن:

ε_m: کارآیی موتور محرک (بی بعد)

اتلاف مقاومتی ترن ناچیز است و در محاسبه اتلاف موتور می‌توان از آن صرفنظر کرد

مدار بندی موتور طوری است که حرارت آزاد شده به وسیله شبکه مقاومت‌ها در طی مرحله دوم تقریباً برابر با حرارت آزاد شده در مرحله اول است [۲۰].

یعنی $q_{step1}=q_{step2}$

و از این رو حرارت آزاد شده از مقاومت‌های راه انداز از معادله زیر به دست می‌آید [۲۰] :

$$q_{SR} = 2q_{step1} \qquad (۱۰-۶)$$

q_{sr} = اتلاف حرارتی مقاومتهای راه انداز (Btu/hr)

q_{step1} = اتلاف حرارتی مقاومت‌های راه انداز برای کنترل کننده بادامکی در حالت اتصال سری– موازی (Btu/hr)

کنترل کننده چاپری (گاهی کنترل کننده تریستوری نیز نامیده می‌شود) ولتاژ ورودی به موتور را به طریق دیگری تنظیم می‌کند یعنی با قطع و وصل کردن سریع ولتاژ تغذیه می‌تواند به ولتاژ و جریان متوسط کنترل شده دست یابد. مدت یا طول زمان پالس جریان ورودی به موتور برای تغییر سرعت موتور بکار می‌رود. اتلاف حرارتی کنترل کننده چاپری قابل توجه نمی‌باشد و می‌توان از آن صرفنظر کرد [۲۰].

از آنجائیکه یک موتور کاملاً کارا نمی‌باشد، بیشتر انرژی الکتریکی داده شده به آن صرف انجام کار می‌شود، اما قسمتی از آن تبدیل به گرما می‌شود و در محیط مترو آزاد می‌شود. حرارت به واسطه اتلاف توان در سیم پیچ‌های میدان و آرماتور موتور تولید می‌شود. از آنجائی که بیشتر موتورهای محرک به وسیله جریان مصنوعی هوا (فن) خنک می‌شوند حرارت آزاد شده لحظه‌ایی است [۲۰].

اگر مشخصات فنی موتور داده نشده باشد کارایی آنرا معمولاً ۹۰٪ در نظر می‌گیرند. حرارت آزاد شده از موتور به وسیله معادله ۶-۱۱ که هم در حین ترمز گیری و هم در حین شتاب گرفتن بکار می‌رود، محاسبه می‌شود [۲۰].

$$q_m = \left(KE + q_D + q_M + q_{SR}\right)\left(\frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m}\right) \qquad (۱۱-۶)$$

که در آن:

q_m = اتلاف حرارتی موتور محرک (Btu/hr)

KE = انرژی جنبشی ترن در سرعت ماکزیمم در محدوده ایستگاه (Btu/hr)

q_D = حرارت داده شده به متور ناشی از مقاومت هوا (Btu/hr)

q_M = حرارت داده شده به مترو ناشی از مقاومت مکانیکی (Btu/hr)

q_{SR} = اتلاف حرارتی مقاومت‌های راه انداز (Btu/hr)

ε_m = کارآیی موتور محرک (بی بعد)

۶-۵- منابع حرارتی متفرقه

در این قسمت چند منبع حرارتی عمده غیر از حرارت ناشی از ترمز گیری و شتاب گیری ذکر می‌گردد.

۶-۵-۱- حرارت ناشی از ریل سوم

انرژی الکتریکی در مترو از ایستگاه فرعی بوسیله ریل تماسی کنار مسیر (ریل سوم) و یا سیم هادی بالای سر ترن به وسیله نقلیه در حال حرکت منتقل می‌شود. جریان بوسیله ریلهای مسیر (ریلهایی که ترن روی آن حرکت دارد) یا ریلهای برگشتی جداگانه به ایستگاه فرعی (ایستگاه توزیع برق) برمی‌گردد. اتلاف توان در ریل سوم در حین شتاب گرفتن، که در آن هنگام جریان مصرفی موتور بالاست، زیاد است و این اتلاف توان به شکل حرارت وارد مترو می‌شود، در این قسمت درباره اتلاف در سیستم توزیع DC بحث می‌شود [۲۰].

برای انجام محاسبات مفصل اتلاف حرارتی، جریان عبوری ریلها در هر لحظه و همچنین مقاومت طولی از ریل سوم که بین ترن و ایستگاه فرعی تغذیه وجود دارد را می‌توان محاسبه کرد.

۶-۵-۲- تهویه مطبوع واگنها

بیشتر واگنهای جدید مترو به دستگاههای تهویه مطبوع مجهز شده‌اند تا محیط داخل واگن را تهویه کنند. گرما از فضای داخل واگنها گرفته می‌شود و از طریق کوپلهای کندانسور در هوای تونل آزاد می‌شود. کمپرسور و فن‌های کندانسورهای دستگاه تهویه مطبوع نیز کار می‌کنند و حرارت تولید می‌کنند که این حرارت نیز وارد هوای تونل می‌شود.

بعد از انرژی حرارتی ناشی از مقاومتهای ترمزی، حرارت ناشی از دستگاههای تهویه مطبوع واگنها، دومین منبع بزرگ تولید حرارت در مترو است [۲۰].

گرمای تولید شده به وسیله دستگاههای تهویه مطبوع واگن‌ها از ظرفیت سرمائی دستگاه تهویه مطبوع و توان کمپرسور و موتور فن کندانسورها تعیین می‌شود.

مشخصات دستگاه تهویه مطبوع واگن‌ها را می‌توان از کتابهای تاسیساتی و هند بوک‌ها بدست آورد، به عنوان مثال یک نمونه ظرفیت واحد تهویه مطبوع یک واگن ۶۰ فوت برابر ۱۴ تن است [۲۰].

نرخ انرژی آزاد شده از دستگاه تهویه مطبوع واگنها (q_{AC}) از معادله بدست می‌آید [۲۰].

$$q_{AC} = 4.51T.N.n.t_t \qquad (۱۳-۶)$$

که در آن:

q_{AC} = حرارت داده شده به مترو ناشی از دستگاه تهویه مطبوع واگنها (Btu/hr)

T = ظرفیت تهویه مطبوع در هر واگن (ton)

N = تعداد واگن‌ها در یک ترن

n = تعداد ترن‌های عبوری از محدوده یک ایستگاه در ساعت (trains/hr)

t_t = زمانی که یک ترن محدوده ایستگاه را طی می‌کند (Sec)

تـوان تقریبـی کمپرسور را از توان تهویه مطبوع مورد نیاز در یک دمای مطلوب تونل می‌توان به دست آورد.

۶-۵-۳- ملحقات واگن‌ها

ملحقـات اصـلی یـک واگـن عبارتـند از: کمپرسور هوا برای عملیات پنوماتیکی سخت افزار واگن مثل ترمـزها و موتـور – ژنـراتور کـه تـوان الکتریکی را برای روشنایی واگن و سایر اسباب الکتریکی فراهم می‌آورد. حرارت آزاد شده به وسیله این ملحقات از فرمولهای زیر بدست می‌آید [۲۰] .

$$q_{Ax} = 0.707 Hp.f.N.n.t_t \qquad (۱۴-۶)$$

$$q_{Ax} = 0.948 K_W.f.N.n.t_t \qquad (۱۵-۶)$$

که در آن:

q_{Ax} = حرارت داده شده به متور به واسطه ملحقات ترن (Btu/hr)

Hp = توان ورودی به موتورهای محلق به واگن برحسب اسب بخار (hp)

Kw = توان ورودی به موتورهای محلق به واگن برحسب کیلووات (KW)

f = درصدی از زمان که موتورهای محلق به واگن در حال کارند (بی بعد)

N = تعداد واگن‌ها در هر ترن

n = تعداد ترن‌های عبوری در محدوده یک ایستگاه در هر ساعت (trains/hr)

t_t = زمانی که یک ترن محدوده یک ایستگاه را طی می‌کند (Sec)

تـوان موتورهـای ملحـق واگن که روی واگن نصب شده‌اند معمولاً بوسیله طراح واگن تعیین می‌شوند، اگـر طراحـی واگن به اندازه کافی پیشرفته نباشد ، مقادیر داده شده در نمونه زیر ممکن است استفاده شود [۲۰] .

تعداد واگن ها در یک ترن = ۸

کمپرسور هوا

سیکل کاری = ۲۵٪

ظرفیت در هر واگن = ۱۰ اسب بخار

موتور – ژنراتور

سیکل کاری = پیوسته

ظرفیت در هر واگن = ۶ کیلو وات

۶-۵-۴- روشنایی تونلها

گـرمایش ناشـی از لامپهای روشنایی تونل در مقایسه با کل حرارت ورودی به مترو، کوچک است ولی باید در فهرست گرماهای ورودی به مترو گنجانده شود.

لامـپها برای روشن کردن مسیر برای استفاده اپراتورهای ترن و مراقبان و همچنین در حالت اضطراری یعنی وقتی که احتیاج به ترک کردن سریع ترن وجود دارد به کار می‌روند.

انرژی حرارتی داده شده به مترو توسط این لامپ‌ها از فرمول زیر محاسبه می‌شود [۲۰] .

$$q_{tl} = (3.41) \times W_l \times L \qquad (۱۶-۶)$$

q_{t_l}= گرمای داده شده به مترو ناشی از روشنایی تونل (Btu/hr)

WL = روشنایی تونل (Watts/ft)

L = طول تونل (ft)

۶-۶- ایستگاه

محوطه ایستگاه شامل منابع متعددی از گرما است که شامل پله برقی‌ها، آسانسورها، تجهیزات جمع آوری کرایه، اعلام کننده‌ها، چراغهای روشنایی ایستگاه و آگهی‌های تبلیغاتی و دیگر تجهیزات الکتریکی که در ایستگاه‌ها استفاده می‌شود همچنین مردمی که در حال انتظار در ایستگاه هستند نیز گرما به مترو می‌دهند.

برای در نظر گرفتن و محاسبه حرارت داده شده به محیط مترو زمان اوج بار مسافری باید در نظر گرفته شود.

۶-۶-۱- گرمای ناشی از روشنایی ایستگاه

گرمای ناشی از لامپ‌های روشنایی ایستگاه در مقایسه با کل گرمای داده شده به مترو کوچک است. ولی باید در فهرست گرماهای ورودی به مترو گنجانده شود.

لامپ‌ها برای روشن کردن فضای ایستگاه و استفاده مسافرین و پرسنل خدماتی از روشنایی لامپ‌ها در ایستگاه تعبیه می‌شود.

انرژی حرارتی داده شده به مترو توسط لامپ‌های ایستگاه از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$q_s = 3.41 W_s A \qquad (۱۷-۶)$$

که در آن:

q_S = گرمای ناشی از لامپ‌ها برحسب Btu/hr

Ws = توان لامپ‌ها برحسب W/ft^2

A = مساحت ایستگاه برحسب ft^2

ب) این تقریب اولیه در تمام مراحل طراحی کافی خواهد بود.

۶-۸- توزیع فضایی گرمای ترمز در محیط مترو

توزیـع گرمای شبکه مقاومت‌ها، براساس طول فیزیکی ایستگاهها و تونل‌ها می‌توانند به سه بخش مجزا تقسیم شوند [۲۰] :

الف – گرمای ورودی به فضای ایستگاه: گرمایی که وقتی قطار در ایستگاه توقف کرده است از شبکه مقاومت‌های الکتریکی آزاد شده و به هوای ایستگاه منتقل می‌شود.

ب – گـرمای ورودی به تونل وقتی که قطار در حال ترک ایستگاه است: گرمایی که به وسیله شبکه مقاومت‌های الکتریکی که کاملاًسرد نشده‌اند از ایستگاه خارج شده و به تونل منتقل می‌گردد.

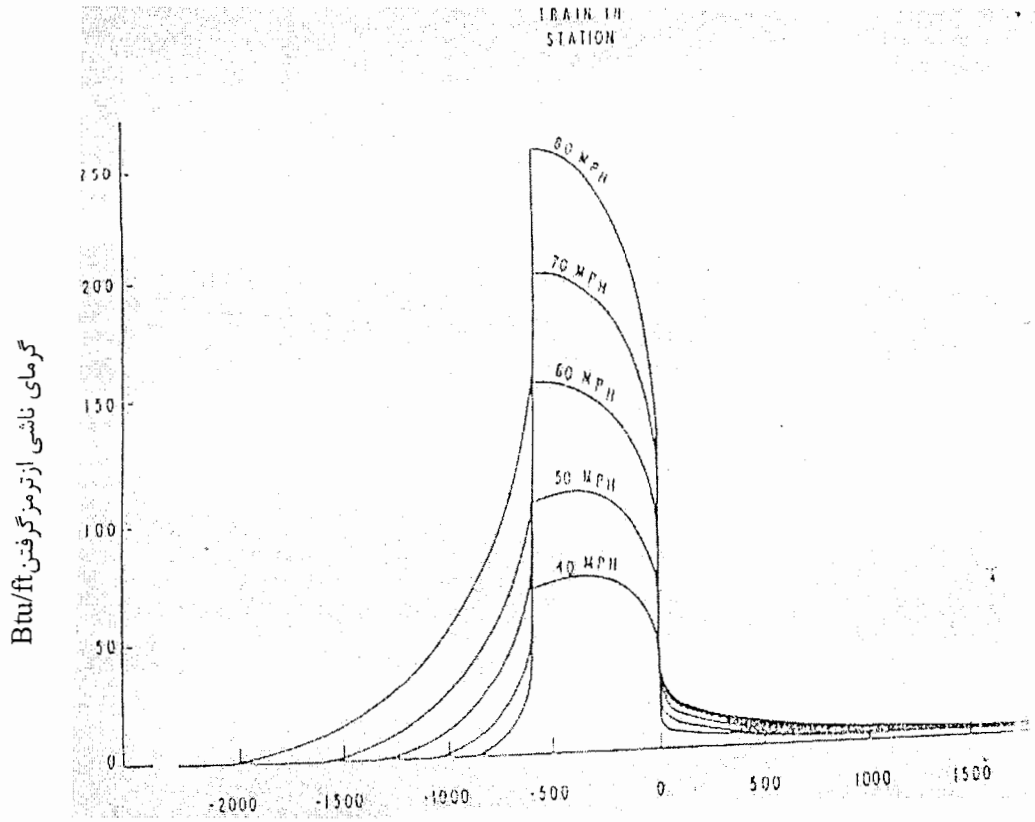
ج – گـرمای ورودی بـه تونل وقتی که قطار در حال نزدیک شدن به ایستگاه است: این بخش از گـرما در طـی مرحله ترمزگیری به هوای زیر قطار داده شده و هوای زیر قطار با هوای تونل مخلوط می‌شود.

هـوای مخلـوط شـده بـه وسیله مومنتوم باقی مانده در هوا به ایستگاه حمل می‌شود، و یا به وسیله اثر پیستونی قطار به ایستگاه کشیده می‌شود.

بـرای بدترین شرایط طراحی، توزیع فضای گرمای ناشی از مقاومت‌های ترمودینامیکی محاسبه شده و در شکل ۶-۴ برای چند سرعت طراحی ماکزیمم مختلف رسم گردیده است [۲۰] .

بدتریـن شـرایط وقتی رخ می‌دهد که قطار در چندین سیکل تکراری توقف – حرکت که در هر سیکل به سرعت ماکزیمم رسیده باشد. حرکت کند [۲۰] .

با توجه به شکل ۶-۴ تمرکز گرمای ناشی از مقاومت‌های الکتریکی در ایستگاه آشکار می‌شود بویژه در



شکل ۶-۴- توزیع گرمایی ناشی از ترمز گیری در طول خط [۲۰]

سرعت ۴۰ mph که قطار قبل از اینکه ترمز بگیرد فاصله زیادی از ایستگاه دارد [۲۰] .

انتقال حرارت از شبکه مقاومت‌های الکتریکی، نه تنها بوسیله تشعشع و جابجایی آزاد انجام می‌شود بلکه به وسیله جابجایی اجباری هم که ناشی از جریان هوای تولید شده بوسیله حرکت قطار است، انجام می‌گیرد.

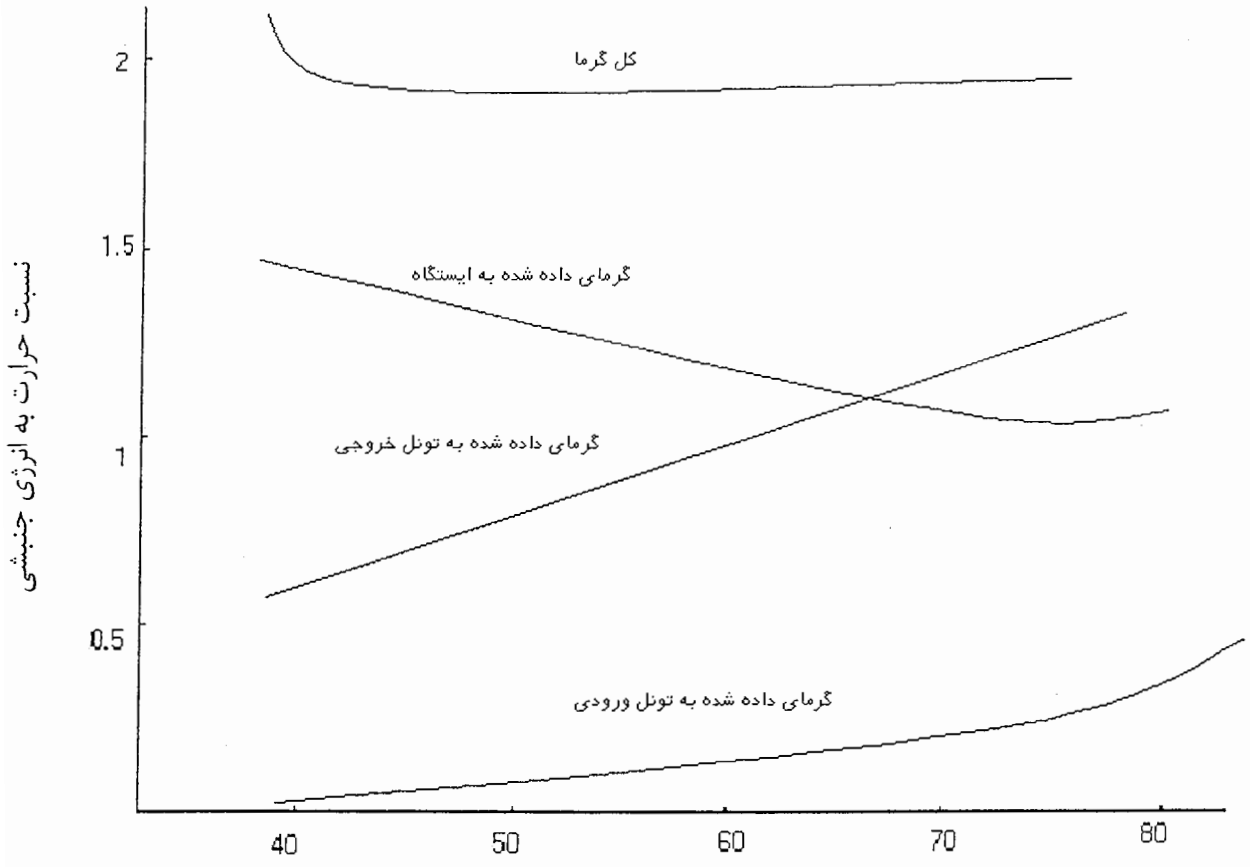
۶-۹- توزیع فضایی کل گرمای داده شده به مترو

گرماهای عمده ورودی به مترو ناشی از مقاومت‌های الکتریکی ترمودینامیکی به سه بخش تقسیم شده‌اند:

- تونل ورودی به ایستگاه
- ایستگاه
- تونل خروج از ایستگاه

برای دیگر منابع گرما نیز می‌توان چنین تقسیم بندی را انجام داد که این کار در جدول ۶-۳ انجام شده و نتایج در شکل ۶-۵ رسم شده‌اند.

اجزاء انرژی پراکنده شده در طی مرحله ترمزگیری از نظر الگوی توزیع گرما کمی با یکدیگر اختلاف دارند اما انرژی آزاد شده از شبکه مقاومت‌های الکتریکی حاکم بر تمام آنها است [۲۰].



شکل ۶-۵ –توزیع گرمایی در سرعتهای طراحی مختلف[۲۰]

تمـام اتلافهـای ناشـی از شـتاب گرفتن (درگ – اصطکاک – اتلاف موتور گرمای مقاومتها) وارد تونل خروجـی مـی‌شـوند مـنابع گـرمای ایسـتگاه نـیز البـته به طور فیزیکی در محوطه ایستگاه قرار دارند. همانطور که انتظار می‌رود قسمت عمده گرمای سیستم به محوطه ایستگاه منتقل می‌شود [۲۰] .

نحـوه توزیع گرمای قطار در سرعت‌های طراحی مختلف براساس شبکه مقاومت‌ها در جدول ۶-۴ آمده اسـت و بـا توجـه به آزمایش‌های مختلف برای کل گرماهای تولید شده مقادیر تعمیم داده شده توزیع گرمایی که برای بیشتر طراحی‌ها از دقت کافی برخوردارند در جدول ۶-۵ داده شده‌آند [۲۰] .

جدول ۶-۳- درصد گرمای داده شده به ازای هر قطار در سرعت‌های طراحی مختلف [۲۰]

سـرعت طراحی	حرارت داده شده از قطار در حال ترک ایستگاه به تونل		حرارت داده شده از قطار به ایستگاه		حـرارت داده شـده از قطار به تونل در حال نزدیک شدن به ایستگاه	
	درصد	قطار /Btu	درصد	قطـار /Btu	درصد	قطار /Btu
۴۰	۲۹/۶	۳۸۴۰۰	۶۵/۳	۸۴۹۰۰	۵/۱	۶۷۰۰
۵۰	۳۵/۳	۶۳۷۰۰	۵۷/۳	۱۰۴۰۰۰	۷/۲	۱۳۱۰۰
۶۰	۳۷/۸	۹۵۱۰۰	۵۱/۵	۱۲۶۰۰۰	۹/۷	۲۳۷۰۰
۷۰	۴۱/۶	۱۳۵۲۰۰	۴۶/۳	۱۵۰۰۰۰	۱۲/۱	۳۹۲۰۰
۸۰	۴۳/۴	۱۸۴۰۰۰	۴۰/۸	۱۷۳۲۰۰	۱۵/۸	۶۶۹۰۰

جدول ۶-۴- توزیع گرما در سرعت‌های طراحی مختلف [۲۰]

سرعت طراحی	درصد حرارت داده شده به تونل ورودی	درصد حرارت داده به محوطه ایستگاه	درصد حرارت داده شده به تونل خروجی
۴۰	۱۰	۷۰	۴۰
۵۰	۱۲	۶۳	۲۵
۶۰	۱۵	۵۵	۳۰
۸۰	۱۸	۴۷	۳۵
۸۰	۲۰	۴۰	۴۰

۶-۱۰- محاسبه گرمای داده شده به ایستگاههای مولوی وشوش و تونل اتصال دهنده آنها

برای محاسبه گرمای داده شده به ایستگاه و تونلهای مجاور آن لازم است تمامی وسایل و تجهیزاتی که به نوعی در تولید گرما موثر هستند در نظر گرفته شود و هر کدام جداگانه مورد تجزیه و تحلیل و محاسبه قرار گیرد.

گرمای موجود در ایستگاه و تونلها را می‌توان به چهار بخش کلی تقسیم نمود که هر بخش به قسمت‌های کوچکتری تقسیم می‌شود. این بخش‌ها عبارتند از:

الف) گرمای ناشی از ترمز گرفتن

۱- گرمای ناشی از مقاومت هوا

۲- گرمای ناشی از مقاومت مکانیکی

۳- گرمای ناشی از ترمز دینامیکی

ب – گرمای ناشی از شتاب گرفتن

۱- گرمای ناشی از مقاومت هوا

۲- گرمای ناشی از مقاومت مکانیکی

۳- گرمای ناشی ازاتلاف حراراتی مقاومت‌های راه انداز

۴- گرمای ناشی از اتلاف حرارتی موتور محرک واگن‌ها

ج – گرمای متفرقه

۱- گرمای ناشی از ریل سوم

۲- گرمای ناشی از کمپرسور هوای واگن‌ها

۳- گرمای ناشی از موتور – ژنراتور واگن‌ها

۴- گرمای ناشی از روشنایی تونل‌ها

د -- گرمای ناشی از ایستگاه

۱- گرمای ناشی از روشنایی ایستگاه

۲- گرمای ناشی از تابلوهای تبلیغاتی

۳- گرمای ناشی از تابلوهای اعلام کننده

۴- گرمای ناشی از پله برقی

۵- گرمای ناشی از تجهیزات جمع آوری کرایه و کنترل بلیط

۶- گرمای ناشی از مسافرین

حال در موردایستگاه و تونلها گرمای هر بخش را محاسبه کرده و در نهایت گرمای داده شده به ایستگاه را محاسبه می‌کنیم.

داده های مورد نیاز جهت انجام محاسبات عبارتند از:

متوسط درجه حرارت ماکزیمم در تونلها :	۳۴ درجه سانتی گراد
درجه حرارت خارج محیط	۳۷ درجه سانتی گراد
سطح مقطع تونل	۶۰ مترمربع
طول تونل	۱۰۰۰متر
سرعت ماکزیمم قطار	۸۰ کیلومتر در ساعت
سطح مقطع قطار	۹/۲۹ مترمربع
وزن واگن	۴۱ تن
ولتاز ریل سوم	۷۵۰ ولت
توان کمپرسور های قطار	۱۰ اسب بخار
توان موتور ژنراتور واگن ها	۶کیلووات
توان لامپ های تونلها	۲ وات بر فوت
توان پله برقی	۴۴/۷۶ کیلووات
ضریب درگ	۴/۴
تعداد قطار های عبوری در ساعت	۳۰ دستگاه
تعداد واگن هر قطار	۹عدد

۶-۱۰-۱- گرمای ناشی از ترمز گرفتن

الف – گرمای ناشی از مقاومت هوا

با توجه به فرمول (۶-۲) برای محاسبه نیروی مقاومت هوا داریم:

$$F_D = 4.3\times10^{-6} a\delta C_D \overline{U}^2$$

$$a=100\,ft^2 \qquad \delta=0.0723\ lb/ft^2$$

$$C_D = 4.4 \qquad \tilde{u}=37\ \ km/h = 2023.16\,fpm$$

$$\Rightarrow F_D = \left(4.3\times10^{-6}\right)\times(100)\times(0.0723)\times(4.4)\times(2023)^2 = 559.91 lb_f$$

حال با محاسبه نیروی مقاومت هوا می‌توان گرمای ناشی از مقاومت هوا را با توجه به فرمول ۶-۳ محاسبه کرد.

$$q_D = \frac{F_D.d_b.n}{778}$$

$$db = 900\,ft \qquad n = 30(train\ s/hr)$$

$$q_D = \frac{(559.92)\times(900)\times(30)}{778} = 19431.670 Btu/hr = 5.7 KW$$

ب – گرمای ناشی از مقاومت مکانیکی

با توجه به فرمول تجربی دیویس (معادله ۶-۴) برای یک واگن با چهار چرخ فولادی داریم:

$$F_M = 1.3 + \frac{116}{w} + 5.1\times10^{-4}\times\overline{U}$$

$$W = 41 ton \qquad \overline{U} = 2023.19\, f_{pm} = 37 Km/h$$

$$\Rightarrow F_M = 1.3 + \frac{116}{41} + \left(5.1\times10^{-4}\right)\times(2023.19) = 5.161(lbf/ton)$$

برای محاسبه گرمای ناشی از مقاومت مکانیکی از فرمول ۶-۵ استفاده می‌کنیم.

$$q_M = \frac{F_M . d_b . W . N . n}{778}$$

$$N = 9 \qquad n = 30(trains/hr)$$

$$W = 41ton \qquad db = 900\,ft$$

$$q_M = \frac{(5.161)\times(900)\times(41)\times(9)\times(30)}{778} = 66091.315Btu/hr = 19.2KW$$

ج – گرمای ناشی از ترمز دینامیکی (شبکه مقاومتهای الکتریکی)

در هـنگام ترمز انرژی جنبشی ترن در مقاومت‌های الکتریکی تبدیل به گرما می‌شود، لذا برای محاسبه گرمای ناشی از ترمز دینامیکی بایستی انرژی جنبشی ترن را محاسبه کنیم.

برای محاسبه انرژی جنبشی ترن از فرمول ۶-۱ استفاده می‌کنیم.

$$KE = 11.1\times10^{-6} We.N.n.v^2$$

$$We = 41ton \qquad N = 9$$

$$n = 30trains/hr \qquad v = 4374.453 f_{pm}$$

$$KE = (11.1\times10^{-6})\times(41)\times(9)\times(30)\times(4374.464)^2 = 2351354.495Btu/hr = 688.9KW$$

۶-۱۰-۲- گرمای ناشی از شتاب گرفتن

الف – گرمای ناشی از مقاومت هوا

بـا استفاده از روش گفته شده در مورد ترمز گیری میتوان گرمای ناشی از مقاومت هوا را محاسبه کرد که برابر همان مقدار در حین ترمز گیری خواهد شد.

n=30 مقدار ترن‌های عبوری (trains/hr)

$$q_{3R} = (0.65)\times\left(\frac{(2512139.62)^2(4.6)}{(30)(24.7)(750)^2}\right) = 69647.35Btu/hr = 20.4KW$$

ب – گرمای ناشی از کمپرسور هوای واگن‌ها

با استفاده از فرمول ۶-۱۴ برای محاسبه گرمای ناشی از کمپرسورها داریم:

$$q_{Ax} = 0.707H_p f.N.n.t_t$$

Hp=10hp توان کمپرسور N=9 تعداد واگن در هر ترن

n=30 تعداد قطار در هر ساعت

f=0.25 درصدی از زمان که موتورهای ملحق به واگن در حال کارند

t_t=100(sec) زمانی که قطار محدوده ایستگاه را ترک می‌کند

$$q_{Ax} = 0.707\times10\times0.25\times9\times30\times100 = 47722.5Btu/hr = 14KW$$

ج – گرمای ناشی از موتور – ژنراتور واگن‌ها

برای محاسبه این مورد از فرمول ۶-۱۵ استفاده می‌نمائیم. طبق فرمول داریم:

$$q_{Ax} = 0.948Kw.f.N.n.t_t$$

Kw=6 *kw* توان موتور – ژنراتور

N=9 تعداد واگن‌در قطار

n=30 trains/hr

t_t=100 (sec) زمان عبور قطار از ایستگاه

f=1 درصدی از زمان که موتورهای محلق به واگن در

$$q_{Ax} = 0.948 \times 6 \times 9 \times 30 \times 100 \times 1 = 153576 Btu/hr = 45KW$$

د – گرمای ناشی از روشنایی تونل‌ها

بـا استفاده از فرمول ۶-۱۶ گرمای ناشی از لامپ‌های روشنایی که برای تونل‌ها استفاده می‌شود بدست می‌آید.

$$q_{tl} = (3.41) \times W_l \times L$$

W_l= 2 watt/ft(روشنایی تونل)

L=3280.84(ft) (طول تونل) =1000 m

$$q_{tl} = 3.41 \times 2 \times 3280.84 = 22375.3 Btu/hr = 6.5KW$$

۶-۱۰-۴- گرمای ناشی از ایستگاه

الف – گرمای ناشی از روشنایی ایستگاه

با استفاده از فرمول ۶-۱۷ داریم:

$$q_{s1} = 3.41 WsA$$

$$w_S = 3W / ft^2$$

$$A = 25000 Ft^2$$

$$q_{s1} = 3.41 \times 25000 \times 3 = 255750 Btu/hr = 75KW$$

ب – گرمای ناشی از تابلوهای تبلیغاتی

با استفاهد از فرمول ۶-۱۸ و با توجه به توان مجموع تابلوهای تبلیغاتی میتوان میزان گرمای آزاد شده از این وسایل را محاسبه کرد.

$$qs_{2}=3.41W$$

مجموع توان تابلوها W=15000 watt

$$q_{s_2} = 3.41 \times (15000) = 51150 Btu/hr = 15 KW$$

ج – گرمای ناشی از تابلوهای اعلان کننده

با استفاده از فرمول ۶-۱۸ و توان هر یک از تابلوهای اعلان کننده داریم:

$$q_{s_3} = 3.41 W$$

توان هر تابلو W=200W

تعداد تابلوها n=7

$$q_{s_3} = 3.41 \times 200 \times 7 = 4774 Btu/hr = 1.4 KW$$

د – گرمای ناشی از پله برقی‌ها

دو پلـه برقـی هـر کـدام بـه ظرفیت hp ۳۰ بین ایستگاه و طبقه‌میانی در حال کار است. با استفاده از فـرمول ۶-۱۸ و رعایـت ضـریب سـیکل کاری ۰/۷۵ میتوان گرمای ناشی از این وسیله را نیز محاسبه کرد.

$$q_{s_4} = (3.41) \times W$$

برای تبدیل توان پله برقی‌ها از اسب بخار به وات باید توان پله برقی را در ضریب تبدیل ضرب کنیم

$$W = 30 \times 2 \times 746 = 44760 \qquad (k = 746)$$

$$q'_{S_4} = 3.41 \times 44760 = 152631.6 Btu/hr$$

$$q_{s_4} = q'_{s_4} \times 0.75 = 114473.7 Btu/hr = 33.53 KW$$

هـ – گرمای ناشی از تجهیزات جمع آوری کرایه و کنترل بلیط

۶-۱۰-۶- توزیع کل گرما

کل گرمای بدست آمده را در ایستگاه و تونلهای مجاور آن توزیع می‌کنیم.

مطابق روش گفته شده چون حداکثر سرعت قطار ۸۰ km/h یا ۵۰ mph می‌باشد، کل گرمای بدست آمده مطابق جدول زیر تقسیم می‌کنیم.

سرعت	درصد گرمای داده شده به تونل ورودی	درصد گرمای داده شده به ایستگاه	درصد گرمای داده شده به تونل خروجی
80Km/h	٪ ۱۲	٪۶۳	٪۲۵
Btu/hr	۴۴۲۴۴۸/۵۵	۲۳۲۲۸۵۴/۹۲	۹۲۱۷۶۷/۸۲
Kw	۱۲۹/۶۳	۶۸۰/۵۷	۲۷۰/۰۶

۶-۱۰-۷- محاسبه مقدار هوای مورد نیاز

برای محاسبه مقدار هوا در حالت ماکزیمم درجه حرارت در یک روز تیرماه که دمای هوا برابر ۳۷ درجه سانتی‌گراد است در نظر گرفته می‌شود. هوای داخل مترو ۳ درجه از هوای بیرون خنک‌تر است.

$$To = 37^{o} \rightarrow T_s = T_o - 3 = 37 - 3 = 34^{o}$$

اگر بخواهیم هوای مترو را علاوه بر گرمای اضافه شده به آن تا حد ۱۷ درجه‌سانتیگراد کاهش دهیم بایستی از دو پمپ رطوبت زن با دبی مشخص در ایرواشر استفاده نمائیم.

برای محاسبه دبی هوای لازم با توجه به دمای مورد نظر از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$Q = \frac{q}{\rho c(Ts - Ta)}$$

ρ ÷ دانسیته هوای تهران (kg/m^3)

C = گرمای ویژه هوای تهران $(kj/kg^{o}k)$

Q = دبی هوای مورد نیاز (m^3/sec)

Ts = دمای هوای محیط مترو (^{o}K)

Ta = دمای هوای خروجی از رطوبت زن ۱۷ درجه بعد از پمپ دوم در نظر گرفته می‌شود.

q = نرخ گرمای داده شده به محیط مترو (kw)

$$Q_{\text{ایستگاه}} = \frac{680.57}{34-17}$$

$$Q_{\text{ایستگاه}} = 40.03 \approx 40 m^3/\sec$$

$$Q_{\text{ورودی}} = \frac{129.63}{34-17} = 7.62 m^3/\sec \cong 8 m^3/\sec$$

$$Q_{\text{خروجی}} = \frac{270.06}{34-17} = 15.88 m^3/\sec \cong 16 m^3/\sec$$

۶-۱۱- حریق و مقدار هوای مورد نیاز

همانطوری که در قبل اشاره شده است حریق عامل بالقوه‌ایی است که می‌تواند یک فضای زیرزمینی را به کام مرگ بکشاند. از مواد بسیار مهم هنگام آتش سوزی حفظ فضاهایی بعنوان مکان‌های امن در جهت انتقال و جابجایی مسافران و خارج کردن آنها از مهلکه است.

برای دست یابی به این مهم بایستی به دو نکته اساسی توجه کنیم:

الف - امداد رسانی صحیح و سریع و تلاش در جهت کنترل حریق و مهار کردن آن

ب - ایجاد و برقراری یک تهویه صحیح بسته به نوع وموقعیت آتش سوزی

در مورد تهویه در شرایط اضطراری بایستی به استانداردهای جهانی که در مورد این شرایط وضع گردیده توجه کنیم.

همـانطور کـه قـبلاً ذکـر شـده یـک حـریق بـه قدرت ۷ مگاوات (قدرت همسان ناشی از آتش سوزی قطارهای مترو) توانایی تولید ۲۵ متر مکعب در ثانیه دود را دارد.

کـه ایـن دود مـی‌تواند ناحیه‌ای از تونل را به طور کامل مسدود کند. بنابراین دستگاههای داخل تونل بایسـتی طـوری طراحـی شـود که سرعت هوای لازم را در داخل تونل جهت مقابله با این پدیده ایجاد کند. این سرعت بتواند دود را در جهت مورد نظر هدایت کند [۴]

ایـن سـرعت، سـرعت بحرانـی اسـت کـه باعث می‌شود دود حاصله فقط در یک جهت تخلیه گشته و قابلیـت حرکـت در جهـت مخـالف را نداشـته باشـد. این سرعت بین ۱/۵ الی ۳ متر در ثانیه بسته به شرایط تونل، قدرت حریق و سطح مقطع متغیر است [۴]

در جدول ۶-۵ سرعت‌های بحرانی بسته به شرایط تونلها آورده شده است.

جدول ۶-۵ سرعت بحرانی با توجه به شرایط تونل [۴]

شرح	سرعت بحرانی (m/s)	درجه حرارت حاصله (k)
زیرگذر به صورت باکس با دو خط	۱/۶۵	۳۹۹
زیرگذر به صورت باکس با دو خط	۱/۹۸	۴۵۸
یک تونل دو خطه	۱/۷۴	۳۹۰
تونل دو خطه با دیوار ایمنی	۲/۱	۴۴۱
دو تونل یک خطه	۱/۹۵	۴۷۱

با توجه به شرایط تونل‌های متروی تهران که از نوع یک تونل دو خطه می‌باشد لذا سرعت بحرانی ۲/۱ متر بر ثانیه در تونل‌ها می‌باشد لذا:

سرعت بحرانی × سطح مقطع تونل = Q آتش سوزی

$$Q = 60 \times 1.74 = 104.4 \cong 105\, m^3/sec$$

۶-۱۱-۱- شدت جریان بادبزن اضطراری وسط تونل

باتوجه به اینکه شدت جریانی برابر ۶۴=۴۰+۸+۱۶ مترمکعب درثانیه در حالت عادی تامین می شود پس برای جبران کمبود هوا در حالت اضطراری که به شدت جریانی برابر ۱۰۵ مترمکعب در ثانیه نیاز می باشدبنابراین برای تهویه اضطراری یک بادبزن با شدت جریان ۴۱ مترمکعب در ثانیه لازم است .

فصل هفتم ـ نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده و همچنین بررسی های انجام گرفته ، سیستم تهویه یک تونل دو خطه با استقرار اتاقک های تهویه در ابتدا و انتهای هر تونل برای حالت عادی و یک اتاقک تهویه در وسط تونل جهت تهویه اضطراری مورد تایید قرار گرفت . همچنین یک اتاقک تهویه برای ایستگاه تعبیه شده است در طراحی سیستم تهویه همیشه بدترین حالت مد نظر بوده است و مبنای طراحی آن ، کل گرماهای تولید شده ناشی از قطار ، تاسیسات و تجهیزات استفاده شده در ایستگاهها و تونل ها ، مسافران و شرایط جوی و محیطی شهر تهران بوده است . در انتها نیز شدت جریان هوای مورد نیاز برای قسمت های مختلف به شرح زیر آمده است .

مکان بادبزن	تونل ورودی	ایستگاه	تونل خروجی	وسط تونل
شدت جریان m^3/sec	۸	۴۰	۱۶	۴۱

۷-۲-پیشنهادات

۱) سیستم تهویه مترو جهت صرفه جویی در مصرف انرژی به گونه ای انعطاف پذیر طراحی گردد که قابلیت عملکرد مفید و موثر در دو حالت ترافیک بالا و پایین مسافران را داشته باشد .

۲) سیستم تهویه اضطراری مترو با توجه به انواع حریق های ممکنه و محصولات تولیدی آنها بررسی گردد .

۳) سیستم تهویه مترو در حالت عادی با توجه به اثر پیستونی حرکت قطار ها طوری طراحی شود که حداکثر استفاده از این اثر ، امکان پذیر باشد.

۴) با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری ومدل سازی نحوه جابجایی حرارت در تونل ها وایستگاههای

مترو ، طراحی سیستم تهویه از صحت و اطمینان بیشتری برخوردار می شود.

۵) کسب اطلاعات کافی در مورد نحوه گسترش حریق و مدل سازی آن ، می تواند به منظور تعیین دقیق وظایف بادبزن ها و افزایش ایمنی مسافران کاملا موثر باشد.

۶) به دلیل فقدان منابع و اطلاعات لازم وکافی در مورد روش های تهویه مترو و نوپا بودن این صنعت در کشور پیشنهاد می شود جهت دسترسی به منابع و اطلاعات روزمنبع یا مرکزی بدین منظور احداث گردد.

فهرست منابع:

[۱] رضامند (۱۳۷۸) - تاریخچه متروی تهران - انتشارات متروی تهران

[۲] شرکت راه آهن شهری تهران وحومه(۱۳۷۹) - ماهنامه حرکت مسافر - انتشارات متروی تهران

[۳] شرکت راه آهن شهری تهران وحومه(۱۳۸۰)- قوانین وجداول حرکت در خطوط متروی تهران - انتشارات متروی تهران

[۴] شرکت هگزا(۱۳۷۸)- سیستم های تهویه قطارهای شهری - انتشارات شرکت هگزا

[5]Hartman H.L, Mutmansky J. M, Ramani R.V ,Wang Y.J (1997)

Mine ventilation and Air Conditioning
Jon Wily and Sons Inc.

[۶] مدنی حسن(۱۳۷۲) - تهویه در معادن - انتشارات مرکز نشر جهاد دانشگاهی - چاپ دوم

[7] Shigenobu H , Tsutomu K , Toshifumi N (1996)
Ventilation and Air – Conditioning System Design for New Astram Metro Line in Hiroshima http://global.mitsubishielectric.com/pdf/advance/vol74/Vol74.pdf

[8] Pflitsch A , Ruschkowski M , Comps P (1999)
Breeze vs .Blast Quantifying Passive and Forced Airflows Through New York City's Subwy Platforms
www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/agklima/1pflitsch/subway/subway-platform.htm

[۹] مدنی حسن (۱۳۷۸) - تونلسازی - جلد دوم - مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[10] Pflitsch A , Comps P (1999)
Urban Climate In The Subway , Resolving the dilemma of subway airflow in urban climate

[11]Chow W.K , Li J (1999)
Safety Requirement and Regulations Reviews on Ventilation and Fire for Tunnels in the Hong Kong Special Administrative Region
Tunneling and Underground Space Technology, Vol 14 , No.1,pp.13-21

[12] Pflitsch A , Comps P ,Ute A (1999)
An Initial Study of Linkages Between Subterranean and Street – Level Climate in New York City
http://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/agklima/1pflitsch/subway/subway street.html

[13] Sameer A. Z, Bendelius A.G , Santioanni D.A, McCleery J.E (1995)

USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS TO DESIGN AN EMERGENCY VENTILATION SYSTEM FOR A TRANSIT SUBWAY STATION
SERA –Vol.4, Safety Engineering and and Risk Analysis ASME

[14] Silas Li , Kennedy W.D (1999)
A CFD Analysis of Stations Fire Conditions in the Buenous Aires Subway System
ASHRAE Transactions Symposia
http://confex2.confex.com/ashrae/store/trans99/1-2.htm

[15] Deng M.P , Miclea P.C , McKinney D (1996)
CFD MODELING CONSIDERATIONS FOR TRAIN FIRES IN UNDERGROUND SUBWAY STATIONS
FED –Vol. 238 ,1996 Fluids Engineering Division Conference , Volume 3
ASME

[۱۶] شرکت راه آهن شهری تهران وحومه(۱۳۷۷) - گزارش ایمنی حریق درمتروی زیرزمینی لندن
انتشارات واحد بازرسی فنی و ایمنی مدیریت فنی مهندسی و بهره برداری متروی تهران

[17] Tarada F (may 2000)
Critical Velocities for Smoke Control in Tunnel Cross – Passages
HBI Harter Ltd , Consulting Engineers , Switzerland
http://www.hbi.ch/media/pdf/publikationen/Critical_Velocities_Paper.pdf

[18] Bopp R, GRUNER LTD, Basle, Switzerland
4th International Conference on Safety in Road and Railway Tunnels, 2-6 April 2001, Madrid, Spain
http://www.gruner.ch/topic/newsmedia/download/fa_bor_madrid_0101.pdf

[۱۹] شرکت راه آهن شهری تهران وحومه - مدارک و اسناد شرکت سوفرتو در مورد تهویه تونلها و ایستگاههای متروی تهران - انتشارات متروی تهران

[۲۰] رحمانی کامران - بررسی سیستم تهویه مترو تهران - سمینار کارشناسی ارشد – دانشکده مترو