مبانی طراحی تهویه تونلهای راه آهن
مطالعه موردی: تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان

مرتضی قارونی نیک، استادیار، دانشکدهٔ راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
رضا بری دیزجی، شرکت خدمات مهندسی مشانیر، تهران، ایران
همایون کتیبه، عضو هیئت علمی، دانشکده معدن، متالوژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
E-mail:gharouni@doctor.com

چکیده

امروزه تهویه تونل‌های راه آهن در کشور ایران با توجه به قدمت آنها و نیز نیاز به افزایش ترافیک عبوری، بخصوص در نواحی غربی کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی تهویه این تونل‌ها، گرما و گازهای حاصل از سوخت در موتورهای دیزل است. گرمای حاصل از احتراق موتور، ممکن است دمای هوای تونل را تا آن حد افزایش دهد که موتور لوکوموتیو نتواند با راندمان قابل قبولی کارکند. محصولات ناشی از احتراق سوخت نیز موجب آسیب افرادی خواهد شد که از تونل می گذرند. به این ترتیب سیستم تهویه این تونل‌ها را باید با توجه به این دوجنبه طراحی کرد. روش ارائه شده در این مقاله که اولین گام علمی و عملی در زمینه تهویه تونل‌های راه‌آهن موجود کشور است، بر مبنای استفاده از امکانات حمل و نقل ریلی فعلی و دستیابی به استانداردسازی هوای مورد نیاز داخل تونل در حد مطلوب استوار است. بررسی روش‌های مختلف تهویه در این مقاله نشان می دهد که حفر دستکها یا چاههای متصل به تونل و انتقال هوا از طریق آنها و نیز نصب تجهیزات در داخل تونل، به علت عدم انجام مطالعات ژئوتکنیکی و در نتیجه عدم شناخت صحیح مصالح اطراف تونل، طولانی بودن مسیر حفاری دستکها و عدم وجود فضای کافی در داخل تونل از نظر فنی و اقتصادی مطلوب نیست و در نهایت روش نصب بادزن قوی در خارج تونل اصلی و نصب دروازه هوابند در داخل آن انتخاب شد. از مزایای این روش می توان به عدم تداخل کار در تعمیر و نگهداری بادزن‌ها با حرکت قطارها اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: تونلهای راه آهن، سیستم های تهویه، بادزن تهویه، دروازه هوابند

۱. مقدمه

براساس قاعدهٔ صحیح تمام تونل‌هایی که برای عبور وسایل نقلیه موتوری احداث می‌شوند، به تهویه نیاز دارند. البته سیستم‌های تهویه در مورد تونل‌های مختلف متفاوت است. مثلا در ساده ترین حالت ممکن است جریان هوایی که به طور طبیعی در تونل به جریان می‌افتد کافی باشد و یا حرکت هوا در نتیجه اثر پیستونی ناشی از حرکت وسایل نقلیه برای این منظور کفایت کند. اما تهویه تونل‌های طویل و با ترافیک سنگین، باید با استفاده از وسایل مکانیکی انجام شود.

سیستم‌های تهویه تونل‌ها را می توان به شرح زیر رده‌بندی کرد:

الف – تهویه طبیعی

تاریخ دریافت: ۸٤/۰٤/۱۵ – تاریخ دریافت: ۸٤/۰۹/۱۳

ب – تهویه ناشی از اثر پیستونی
ج – تهویه طولی
د – تهویه عرضی
ه – تهویه نیمه عرضی
و – تهویه به کمک مواد شیمیایی

در بین روش‌های اشاره شده فوق، روشهای طولی و عرضی، متداول ترین روش‌های تهویه مکانیکی‌اند.

۱-۲ تهویه تونلهای راه آهن

در تونل‌های راه آهن، حفظ عملکرد مناسب سیستم ریلی از مسایل مهم است. اهداف اصلی سیستم تهویه تونل‌های راه آهن حفظ محیط قابل قبول برای مسافرین، کارگران و تجهیزات سیستم راه آهن در ضمن کار است که بتواند گرمای تولید شده حاصل از فعالیت قطارها را منتقل کرده و ایمنی لازم را برای گریختن مسافرین در هنگام تخلیه ایمن آنها در هنگام آتش سوزی بدون برخورد با مسیر پراز دود فراهم کند.

به طور کلی، سه نوع طرح برای سیستم‌های تهویه مکانیکی تونل‌های راه آهن وجود دارد که شامل سیستم های تهویه طولی، نیمه عرضی و تمام عرضی یا بخشی عرضی هستند. معیار انتخاب این روش‌ها به عواملی چون هزینه اولیه، هزینه عملیاتی، نگهداری، روش تخلیه مسافران در موارد اضطراری و غیره بستگی دارد.

سایر ملاحظات فیزیکی مربوط به طراحی تهویه تونل‌های راه آهن که باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

الف- مساحت سطح مقطع تونل
ب- سطح مقطع پیشانی قطار
ج- طول قطار
د- ارتفاع قطار
ه- سرویس‌های تونل

۱-۲-۱ سیستم تهویه طولی

سیستم تهویه طولی به گونه ای است که هوای تازه وارد سیستم شده و هوای آلوده از نقاط محدودی از تونل خارج می شود و بنابراین جریان طولی هوا در تونل ایجاد می‌شود. این سیستم موثرترین روش برای تونل‌هایی با حرکت ترافیک یکطرفه است.

در تونل‌های راه‌آهن معمولا از سیستم تهویه طولی استفاده می شود. سیستم های تهویه نیمه عرضی و عرضی بدلیل نیاز به تجهیزات بسیار که نصب آنها در داخل تونل‌های موجود به دشواری انجام خواهدشد، مورد تاکید قرار نگرفته‌اند. برای سیستم تهویه طولی، از روشهای زیر استفاده می شود:

الف – سیستم تهویه متمرکز از در دهانه تونل
ب- سیستم افشانه(نازل ساکاردو)[1]
ج – سیستم بادزن سقفی[2]
د – سیستم بادزن محرک[3]

در جدول ۱ مقایسه‌ای از سیستم‌های مختلف تهویه طولی در تونلهای راه آهن ارائه شده است.

۲. ضرورت تهویه تونل‌های راه‌آهن منطقه لرستان

بررسی تونل‌ها و گالری‌های موجود در شبکه راه آهن غرب ایران نشان می دهد که منطقه لرستان که در مسیر راه‌آهن سراسری تهران به بندر امام‌خمینی قرارگرفته‌است، دارای بیشترین تعدادتونل است. یکی از مشکلات موجود در راه آهن ایران و به ویژه راه آهن منطقه لرستان، فقدان سیستم تهویه تونلهای طویل است که وجود این معضل تا کنون حوادث و خسارات زیادی مانند مرگ افراد در داخل تونل بر اثر خفگی در اثر تجمع دود را به دنبال داشته است. در این راستا، مشکلاتی از قبیل مسمومیت و خطرات جانبی برای پرسنل راه‌آهن و مسافران در زمانی که قطار ناگزیر از توقف درون تونل است را می‌توان نام برد. همچنین کاهش بازدهی کار لوکوموتیوها و حتی خاموش شدن آنها به علت کمبود هوا، در قطار های طویل که از دو لکوموتیو و یا بیشتر استفاده می کنند، از دیگر مشکلات است. لازم به یادآوری است که وجود مسائل فوق باعث خسارات مالی شده و مسدود شدن خط را نیز به دنبال خواهد داشت.

سطح مقطع کم تونل‌ها نسبت به گاباری واگن، وجود قوسهایی با شعاع کم و وجود گازهای خطرناک ناشی از احتراق موتورهای دیزلی، تهویه تونل‌ها را با دشواری روبه‌رو می کند.

تونل‌های این ناحیه اکثرا در قوسها قرار گرفته اند. از این‌رو در این خط که پتا نسیل بروز سوانح آن بالاست، اهمیت بررسی مسئله تهویه تونلها روشن می‌گردد. از اهداف این امر می توان به کاهش آلاینده های مضر سمی حاصل از کارکرد دیزل و پاکسازی هوای داخل تونل و درنتیجه تامین سلامتی مسافران در حال گذر، کارگران و کارکنان مشغول به امور باز سازی و بهسازی خط و تامین اکسیژن مورد نیاز جهت احتراق کامل سوخت و جلوگیری از خفه کردن دیزل اشاره کرد.

جدول ۱. مقایسه سیستم‌های مختلف تهویه طولی در تونلهای راه آهن [۱]

	سیستم Push-Pull	سیستم Push-Pull با افشانه ساکاردو	سیستم Push-Pull با بادزنهای محرک	سیستم Push-Pull با بادزنهای سقفی (جت فن)
تشریح سیستم	کلیه بادزنها در ساختمانها یا ایستگاههای تهویه قرار دارند.	کلیه بادزنها در ساختمانها یا ایستگاههای تهویه قرار دارند. دستگاهها در ساختمان تهویه یا ایستگاهها می توانند با ظرفیت کمتری باشند.	بادزنهای محرک در تونل همراه با هوای ورودی یا خروجی ساختمانها یا ایستگاههای تهویه عمل می کنند. دستگاهها در ساختمان یا ایستگاه تهویه می توانند ظرفیت کمتری داشته باشند.	بادزن های سقفی در تونل همراه با هوای ورودی یا خروجی از ساختمانها یا ایستگاههای تهویه عمل می کنند. دستگاهها در ساختمان یا ایستگاه تهویه می توانند ظرفیت کمتری داشته باشند.
اتاق تجهیزات در ساختمان یا ایستگاههای تهویه	مرکزی	فضای اتاق بیشتری برای قرار دادن افشانه مورد نیاز است.	فضای اتاق کمتری مورد نیاز است.	فضای اتاق کمتری مورد نیاز است.
محدودیت در برنامه اجرا و ساخت	مرکز ی	مشابه با مرکزی	نصب و آزمایش بادزن، فعالیتهای داخل تونل را تحت تاثیر قرار خواهد داد.	نصب و آزمایش بادزن، فعالیتهای داخل تونل را تحت تاثیر قرار خواهد داد.
تعمیر و نگهداری و بازرسی در آینده	فعالیتها اصولا در داخل اتاق تجهیزات بوده و می تواند در هر زمانی انجام شود. هیچکدام از تجهیزات خط آهن در ضمن تعمیر و نگهداری و بازرسی بادزن تحت تاثیر قرار نمی گیرد.	فعالیتها اصولا در داخل اتاق تجهیزات بوده و می تواند در هر زمانی انجام شود. هیچکدام از تجهیزات خط آهن در ضمن تعمیر و نگهداری و بازرسی بادزن تحت تاثیر قرار نمی گیرد.	کارها اصولا در داخل اتاق تجهیزات بوده و فقط تعمیر بادزنهای محرک ممکن است در ساعات غیر ترافیک انجام شود. تجهیزات خط آهن ممکن است در ضمن تعمیر و بازرسی بادزن متاثر شود. باید به تجهیزات اطراف خط آهن دقت شود.	کارها اصولا در داخل اتاقهای تجهیزات بوده و فقط تعمیر بادزن های سقفی ممکن است در ساعات غیر ترافیک انجام شود. در هنگام تعمیر و بازرسی بادزن باید دقت بیشتری به تجهیزات خط آهن شود زیرا آسیب وارده بر عملیات کاری قطار اثر خواهد داشت.
تاثیر بر روی سیستم خطوط و سرویسهای تونل	مرکزی	سرعت خروجی و موضعی بالا که از نازل ساکاردو تولید میشود، ممکن است سرویسهای تونل را تحت تاثیر قرار دهد.	سرعت خروجی و موضعی بالا که از هر بادزن محرک تولید می شود، ممکن است سرویسهای تونل را تحت تاثیر قرار دهد.	سرعت خروجی و موضعی بالا که از هر بادزن سقفی تولید میشود، ممکن است سرویسهای تونل را تحت تاثیر قرار دهد.
خطرات (سقوط اشیاء)	خطر سقوط بادزن / اشیاء از بین می رود.	خطر سقوط بادزن / اشیاء از بین می رود.	قطار ممکن است با سرعت بالا در محیط نسبتا تاریک تونل با مسافرین بسیار حرکت کند. سقوط بادزن یا اشیاء ممکن است عواقب جدی داشته باشد.	قطار ممکن است با سرعت بالا در محیط نسبتا تاریک تونل با مسافرین بسیار حرکت کند. سقوط بادزن یا اشیاء ممکن است عواقب جدی داشته باشد.
انتخاب تجهیزات	خستگی کمتری در مواد و تجهیزات بوجود می آید زیرا بادزنها در داخل اتاقهای تجهیزات و بدور از تونل نصب می شوند.	خستگی کمتری در مواد و تجهیزات بوجود می آید زیرا بادزنها در داخل اتاقهای تجهیزات و بدور از تونل نصب می شوند.	مواد سازنده بادزنهای محرک و تجهیزات مربوط در معرض خستگی جدی تر قرار می گیرند که به سبب تاثیر ضربه چکشی هوا اثر پیستونی قطار است.	مواد سازنده بادزن های سقفی و تجهیزات مربوط در معرض خستگی جدی تر قرار می گیرند که به سبب تاثیر ضربه چکشی هوا در اثر پیستونی قطار است.
فعالیتهای تعمیر و نگهداری اضطراری در ساعت فعالیت	باعث فشار جدی بر فعالیت خط آهن نخواهد شد.	باعث فشار جدی بر فعالیت خط آهن نخواهد شد..	ممکن است باعث فشار جدی بر فعالیت راه آهن شود.	می تواند باعث فشار جدی بر فعالیت راه آهن شود.
مرجع کار	برای اکثر تونلهای راه آهن استفاده می شود.	تعداد کمی در سطح جهان انجام شده است.	تعداد کمی در سطح جهان انجام شده است.	تعداد کمی در سطح جهان انجام شده است(معمولا به نواحی خاص مانند بخشهایی از خطوط که کمتر استفاده می شود محدود می شود).

۳. تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان

تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان در کیلومتر ۵۰۸/۹ محور تهران – اندیمشک و در مسیر شهر دورود و منطقه تنگه هفت قرار دارد. شکل ۱ موقعیت تقریبی قرار گیری تونل ۱۰۲ را نشان می دهد.

۳-۱ مشخصات تونل

۳-۱-۱ مشخصات هندسی تونل

الف – طول تونل: ۱۰۰۷ متر

ب- ابعاد تونل: شکل نعل اسبی به عرض ۵/۵ متر و ارتفاع داخلی ٦ متر

ج– وضعیت قوسها: تونل دارای سه قوس با شعاع ۲۲۰ متر در داخل و یک قوس با شعاع ۲۵۰ متر در ابتدای خود می باشد.

د – وضعیت نشیب و فراز:

– ابتدای تونل، شیب و فراز ۱۲/۳ در هزار

– داخل تونل، شیب و فراز ۱۰/۳ در هزار

– انتهای تونل، شیب و فراز ۱۱/۸ در هزار

ه– فاصله تا ایستگاه‌های مجاور: این تونل در یک کیلومتری ایستگاه سپیددشت و حدود ٤٠ کیلومتری ایستگاه دورود واقع است.

و– تونل دارای یک گالری به ابعاد تقریبی۱۲×۱/۵×۲ متر در فاصله ۲۷۰ متری از دهانه شمالی است.

۳-۱-۲ آمار و اطلاعات بار و مسافر

الف – تعداد قطار عبوری سالانه: ۲۰۰۰۰ دستگاه

ب- تعداد مسافر: ۱٦۰۰۰۰۰ نفر

ج- وزن بار خالص عبوری: ۹ میلیون تن

د- وزن بار ناخالص عبوری: ۲۰ میلیون تن

ه – سرعت قطارهای باری: حداکثر ٤٥ کیلومتر در ساعت

و – سرعت قطارهای مسافری: حداکثر ٦٠ کیلومتر در ساعت

ز – حداقل و حداکثر سرعت قطارها در داخل تونل: ٦٠ – ١٥ کیلومتر در ساعت

ح – وزن ناخالص قطارهای باری: حدود ۱۲۵۰ تن

ط – طول قطارها: متوسط ۷۰۰ متر

ی – نوع لوکوموتیو (دیزلها) عبوری: GT ۲٦ w یا GE

ک- پیش‌بینی گسترش ترافیک (باری و مسافری): حداکثر ٤٥ لوکوموتیو در روز (۱۵ لکوموتیو در مسیر تهران – اندیمشک و ۱۵ جفت لکوموتیو در مسیر اندیمشک – تهران)

ل – مساحت پیشانی لوکوموتیو: ٤/٥×۳/۲۵ متر مربع (از سطح ریل)

در شکل ۲ مقطع عرضی تونل برای خطوط مستقیم و در شکل ۳ پلان مسیر تونل در نقشه توپوگرافی منطقه تونل نشان داده شده است.

۳-۲ مبانی طراحی تهویه تونل ۱۰۲

۳-۲-۱ قطار طرح

قطار طرح شامل مجموعه ای از پارامترهای مورد نظر برای انواع اصلی ماشین آلات و تجهیزات است و بیانگر حداکثر توان مورد نیاز در سیستم تهویه است.

پارامترهای بحرانی قطار شامل توان (اسب بخار)، نوع و موقعیت قرارگیری دستگاه‌های لوکوموتیو و سرعتی است که می توان با قطار و تناژ مشخص به آن دست یافت.

از زمان ورود قطار به تونل، سیستم تهویه باید به طور مطلوب فعال باشد.

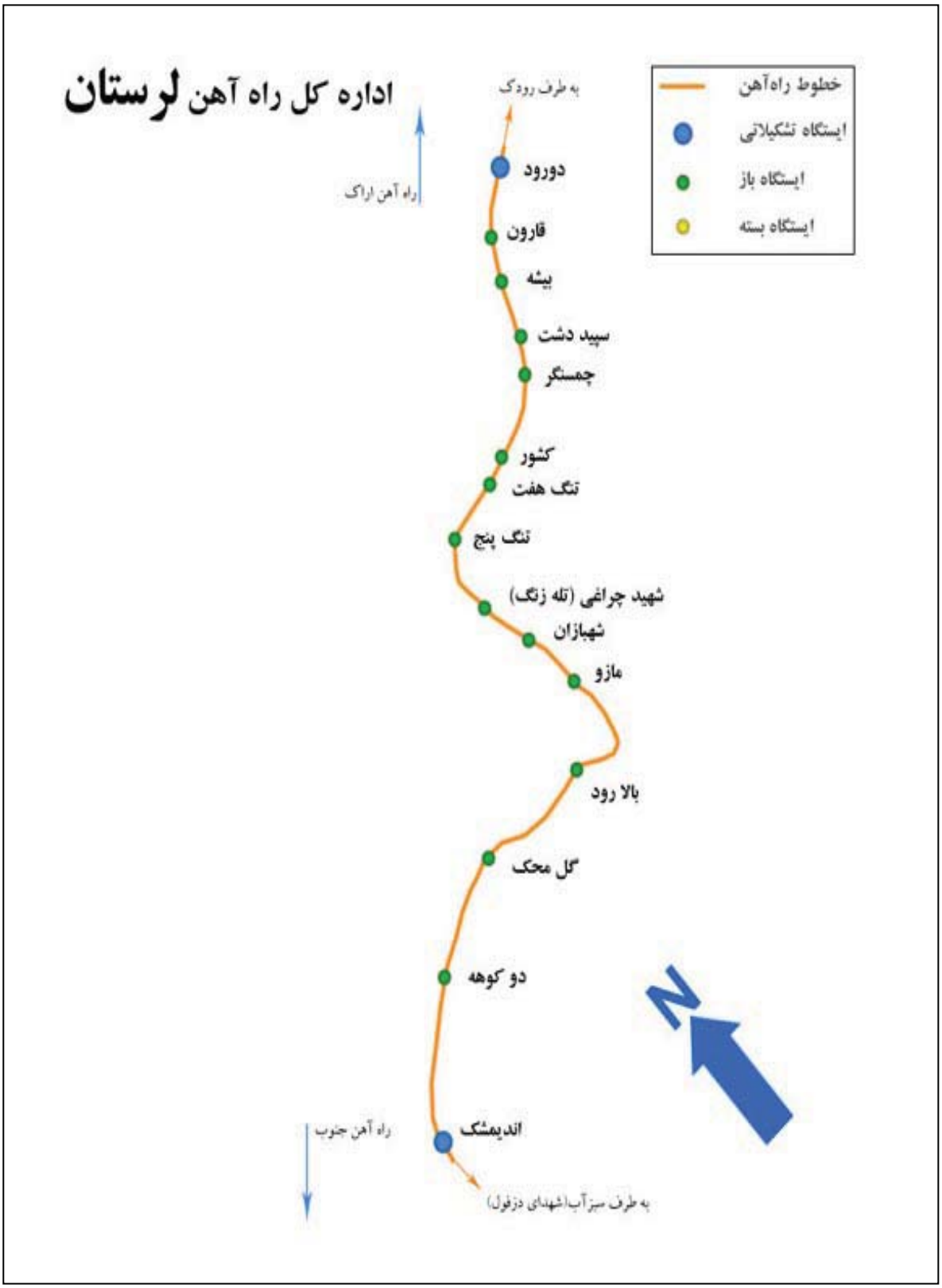
قطار طرح مشخص شده در طراحی سیستم تهویه تونل ۱۰۲ لرستان دارای ویژگیهای زیر است:

الف – انرژی مورد نیاز برای کشش قطار در مسیر اندیمشک – تهران شامل دو لوکوموتیو که هر دو به صورت متوالی در کنار هم عمل می‌کنند. همچنین قطار در مسیر تهران – اندیمشک شامل یک لکوموتیو می باشد.

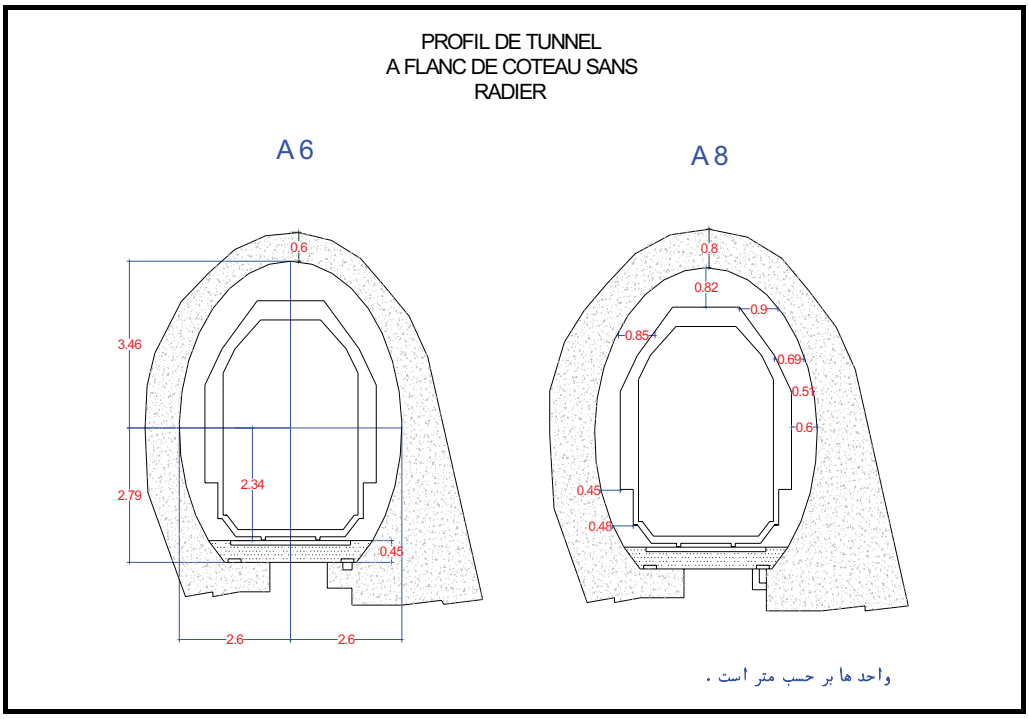
ب – توان خالص هر دستگاه لکوموتیو از نوع GT 26 CW برابر ۳۰۰۰ اسب بخار و توان ناخالص برابر ۳۳۰۰ اسب بخار می باشد.

ج- طول قطار حدود ۷۰۰ متر خواهد بود که واگن‌های باری و مسافربری به آن متصل است.

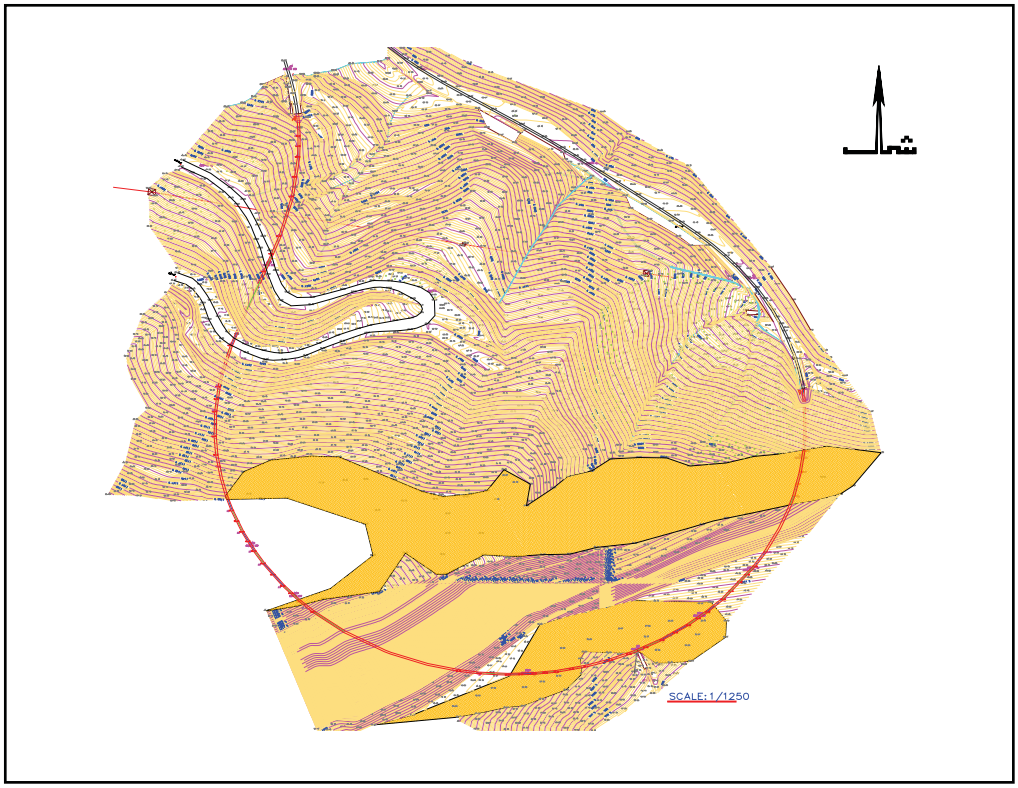
د- وزن ناخالص قطارهای باری در حدود ۱۲۵۰ تن است.



شکل ۱. موقعیت تونل ۱۰۲ در محور راه آهن لرستان [۲]



شکل ۲. مقطع عرضی تونل [۲]



شکل ۳. پلان مسیر تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان [۲]

برای حرکت قطار در مسیربا شیب متوسط رو به بالای ۱/۵ درصد در طول تونل، از دو لکوموتیو استفاده می شود. فرکانس عبور قطارها اثر مستقیم بر زمان تخصیص داده شده برای پاکسازی گازهای خروجی دیزل از تونل دارد. با توجه به وضعیت فعلی و آتی، در هر ساعت عبور ۲ قطار پیش بینی می شود (رفت وبرگشت) که به فاصله نیم ساعت از یکدیگر وارد تونل خواهند شد. علاوه براین، در شرایط خاص، ویژگی‌های عملیاتی مخصوصی مورد نیاز است که عبارتند از:

الف – قطارهایی که توقف های برنامه ریزی شده در داخل یا نزدیک تونل دارند.

ب- موارد اضطراری که استفاده از بادزن در آن وضعیت، دارای مزایایی است.

ج – عملیات تعمیر و نگهداری که نیازمند استفاده از سیستم تهویه دائمی است.

۳-۲-۲ تونل طرح

وضعیت تونل در میزان حجم هوای در دسترس برای خنک سازی لوکوموتیو مؤثر است. جنس دیواره های تونل ترکیبی از بتن و سنگ است که این امر نیز با توجه به زبری دیواره ها، برحرکت هوا و نیز تامین هوای خنک کننده به دلیل ایجاد اصطکاک در مسیر هوا موثر است. حجم کلی تونل نیز بر ظرفیت بادزن‌های پاکسازی هوا و در نتیجه نرخ پاکسازی گازهای خروجی دیزل از تونل موثر است.

وجود مقطع نعل اسبی با فضای محدود، ارتفاع آزاد کم تونل، عبور انواع تجهیزات با ابعاد مختلف و نیز عدم امکان مسدود شدن خط راه آهن که تنها راه ارتباطی ریلی با جنوب کشور است، باعث جلوگیری از انجام هر گونه حفاری و اختلال در عبور و مرور قطارها می شود. به این دلیل طرح ارائه شده تهویه باید به گونه‌ای باشد که هیچگونه اختلالی در رفت و آمد قطار ها ایجاد نکند. یکی از راههای موجود، حفر دستکها یا چاههای متصل به تونل و انتقال هوا از آن طریق است. سه گزینه پیشنهادی از این دستکها با شیبهای دسترسی ۱۰ تا ١٤ درصد با معیار کمترین فاصله تا تونل و به طولهای ٤١٠ – ۲۹۷ متر، مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به گذشت زمان طولانی ازحفاری تونل، عدم شناخت از وضعیت ژئوتکنیکی منطقه، هزینه قابل ملاحظه حفاری تونلها و امکان هرگونه تخریب ناشی از حفاری که نمونه‌های ناموفقی از آنها در سایر نقاط کشور به اجرا در آمده است، می توان به غیراقتصادی و غیر فنی بودن این طرحها به طور روشن پی برد.

۳-۲-۳ فلسفه طراحی

از نکات عمومی موثر در طراحی سیستم نهایی تهویه می توان به حداقل سرمایه گذاری اولیه و تاکید بر انعطاف پذیری طرح در سال‌های آتی همراه با امکان گسترش حمل و نقل اشاره کرد. همچنین امکان ارائه سرویس و نگهداری و استفاده از ساده‌ترین سیستم ممکن با توجه به کوهستانی بودن منطقه باید در نظر گرفته شود.

پراکنش نهایی گرما برای عملکرد مناسب لوکوموتیو بسیار اهمیت دارد، زیرا برای خنک کردن موتور، هوای خنک مورد نیاز است. اگر دمای هوای داخل تونل در اثر گرمای حاصل از احتراق سوخت در هوای تونل و گرمای ناشی از ترمزها به بالاتر از دمای مجاز عملکرد لوکوموتیو برسد، ممکن است موتور به علت گرمای زیاد خاموش شود. در روش طراحی، سیستم تهویه خنک کننده باید به گونه‌ای باشد که حداکثر درجه حرارت کاری دستگاههای لوکوموتیو کمتر از درجه حرارت بحرانی باشد. در مورد بسیاری از لوکوموتیوها، دمای یاد شده حدود ٤٨ درجه سانتیگراد است.

گازهای خروجی از لوکوموتیو تمایل به تجمع در نقاطی مانند قوسها (افقی و قائم) دارند و توسط قطارهای عبوری به طور متناوب به عقب و جلو میروند و علاوه بر حضور گازهای سمی، دود نیز باعث کاهش دید می شود. همچنین به منظور فعالیت افراد در داخل تونل، غلظت‌های مجاز آلاینده باید در نظر گرفته شود.

به منظور پیشگیری از دخالت افراد و تاثیر آنها بر سیستم تهویه، تمامی فعالیت‌ها مانند شروع بکار بادزن و نیز باز وبسته شدن درب هوابند به صورت کاملا خودکار خواهد بود و کنترل آنها از راه دور و در ساختمان های مرکزی خارج ازتونل پیش بینی می‌شود.

۳-۲-٤ طراحی سیستم تهویه

الف- کلیات

قطار عبوری از تونل تمایل به حرکت دادن هوای جلوی خود دارد که باعث عبور هوا با سرعت نسبی کم از محدوده لوکوموتیوها و خنک شدن اندک هوا می شود. با نصب دروازه خروج هوا که در

برابر قطار ورودی به صورت بسته است، هوای خنک از کنار لوکوموتیوها عبور می کند. این اثر، به نام اثر پیستونی نامیده شده و هنگامی که سرعت قطار زیاد و تولید گرما نسبتا کم باشد، موثر است. در صورتی که شرایط شیب، بار و تولید گرما به گونه‌ای باشد که اثر سرعت قطار نتواند آنرا به تنهایی خنک کند، نیاز به تامین هوای کمکی توسط بادزنهای تحت فشار در جلوی قطار و تامین هوای خنک کافی برای لکوموتیوها وجود خواهد داشت. علاوه بر این، وجود دروازه در دهانه تونل، باعث پاکسازی موثر گازهای خروجی توسط بادزنهای نصب شده، جلوگیری از ایجاد مدار کوتاه جریان هوا و پیشگیری از اتلاف هوا می شود.

وجود تجهیزات تنظیم کننده هوا باعث حفاظت بادزن و سازه ایجاد شده دردهانه می شود زیرا از اعمال فشار اضافی به آنها جلوگیری می کند. فشار اضافی به دلیل اثر پیستونی قطار است و به این ترتیب حداقل فشار برای اطمینان از وجود جریان هوای خنک کننده در جلو و عقب قطار وجود خواهد داشت.

ب- تامین هوای خنک کننده

حجم هوای خنک مورد نیاز برای محدود کردن درجه حرارت هوای ورودی به رادیاتور(تا حداکثر مورد قبول)، با در نظرگرفتن گرمای تولیدی توسط قطار طرح و ظرفیت جذب حرارتی هوا محاسبه می شود.

مجموع گرمای تولیدی توسط قطار طرح با فرض باز دهی ثابت حدود ۳۰ درصد برای موتور دیزل و ایجاد تعادل در انرژی به صورت گرمای انتقالی به هوای تونل محاسبه شده است. در روش طراحی مورد نظر، اصولا از سیستم حالت پایدار در هوا استفاده می‌شود. تعادل گرمایی در شرایط حالت پایدار باعث افزایش درجه حرارت هوای اطراف می‌شود.

فرض می‌شود که گرمای تولیدی ناشی از دو لوکوموتیو باشد که گرمای لوکوموتیو اول باعث ایجاد درجه حرارت بحرانی در هوای ورودی به رادیاتور لوکوموتیو دوم می شود. با افزایش درجه حرارت هوای ورودی به رادیاتور که بیش از مقدار بحرانی آن است، موتور شروع به گرم شدن کرده و این فرآیند سرانجام باعث خفگی موتور می‌شود. سازندگان موتور برای لوکوموتیوهای استاندارد، حداکثر درجه حرارت هوای ورودی ۴۸ درجه سانتیگراد را توصیه می‌کنند. اطلاعات در دسترس حاصل از انجام آزمایش در سایر کشورها نشان می دهد که توزیع درجه حرارت تا حد زیادی به صورت طبقه‌بندی شده و در طول لوکوموتیو به صورت نسبتا پایدار است که به دلیل منابع گرمایی اصلی مانند اگزوز و رادیاتور در بالای لوکوموتیوها است. لازم به یادآوری است که کاهش بازدهی موتور که در درجه حرارت بالاتر تونل ایجاد می‌شود کاهش سرعت قطار را کاهش می‌دهد.

در روش طراحی مورد اشاره [٤]، مجموع حجم هوای در دسترس برای خنک کردن لوکوموتیوها در یک تونل بسته، همان حجم تونل است. حجم هوای ورودی در دسترس برای خنک کردن قطار برابر حاصلضرب سرعت قطار و سطح مقطع تونل است. بنابراین q_p، حجم هوای خنک کننده در دسترس ناشی از اثر پیستونی برابر با $q_p = V \times A$ خواهد بود که در آن V سرعت قطار بر حسب m/s (۱۵ کیلومتر در ساعت و یا تقریبا ٤/۱۷ متر در ثانیه) و A سطح مقطع تونل (m^2) است که در این حالت A برابر ۲٦ متر مربع است، بنابراین:

(۱)

$$q_p = 26V \quad (m^3/s)$$
$$q_p = 108 \ (m^3/s)$$

فشار ناشی از اثر پیستونی در یک تونل با وجود سیستم تهویه از معادله (۲) که به نام معادله Daugherty است، محاسبه میشود. مقدار فشار اثر پیستونی در حالت بدون تهویه برابر ٦/۱ کیلوپاسکال است.

(۲)

$$P = K\,(AS + q_f)^2$$

$$K = \frac{\gamma NL}{(A-a)^2}$$

که در آن:

P = فشار اثر پیستونی، (KPa)

K = ثابت

γ = وزن واحد هوا، (kg/m^3)

L = طول قطار، (m)

A = سطح مقطع تونل، (m^2)

S = سرعت قطار، (m/s)

q_f = حجم هوای تامین شده توسط بادزن، (m^3/s)

a = سطح مقطع قطار، (m^2)

N = ثابت اثر پیستونی، که: $7.9 - 9.9\times10^{-3} \quad KPa\frac{s^2}{kg}$

ج- نیازمندیهای پاکسازی هوا

استفاده از لوکوموتیوهای دیزلی در تونلهای طویل راه آهن، همراه با مشکلات مربوط به کیفیت هوا برای پرسنل عملیاتی و تعمیر و نگهداری است. گازهای خروجی شامل گازهای معینی است که نتیجه احتراق کامل یا ناقص سوخت دیزل می باشند.

اجزای سمی گازهای خروجی شامل CO_2 NO, NO_2, SO_2 است. غلظت این اجزاء تا حد زیادی بستگی به چگونگی کارکرد موتور دارد. گازهای سمی داخل تونل را می توان توسط بادزنها و با کمک درهای نصب شده در دهانه های ورودی پاکسازی کرد. ظرفیت بادزن مورد نیاز بستگی به زمان در دسترس برای پاکسازی و تغییر حجم هوای مورد نیاز برای کاهش غلظت گازهای سمی تا سطح قابل قبول دارد.

د- روشهای پاکسازی هوای تونل

هوای تونل ممکن است با حرکت طبیعی هوا، بسته به شرایط جوی و فشار، درجه حرارت، رطوبت، سرعت باد و توپوگرافی دهانه های ورودی، پاکسازی شود. با وجود این، با تکیه بر تهویه طبیعی نمی‌توان از وجود هوای مطلوب در تونلها مطمئن شد. تجربیات موجود نشان می دهند که تغییر حجم هوا به میزان ۱/۲۵ برابر باعث اطمینان از تمیزی هوا می شود.

در صورت فرض زمان پاکسازی برابر ۱۸۰۰ ثانیه، حجم مورد نیاز برای پاکسازی هوای داخل تونل برابر ۱۹ متر مکعب در ثانیه خواهد بود. این زمان بر مبنای عبور دو قطار در هر ساعت در نظر گرفته شده است. در صورت افزایش زمان پاکسازی، ظرفیت بادزن مورد نیاز کمتر خواهد بود.

با استفاده از معادله ۳ برای حالتی که انتهای تونل بسته بوده و بادزن(ها) نیز کار می‌کنند [۳] و نیز مقادیر جدول۲، فشار تولیدی توسط بادزن برابر۳ کیلوپاسکال و توان مورد نیاز برابر ۶۰۰ کیلووات خواهد بود.

(۳)

$$\frac{\Delta p}{\gamma}=\frac{P_A-P_B}{\gamma}-\Delta H_1\pm\frac{U^2}{2g}\left[\sum_1^n k_t+\frac{f_w(L_1-L)}{4R_w}\right]+$$
$$\frac{(U\pm V)^2}{2g}\left[\frac{P_t f_t L}{4A(1-\phi)^3}+\left(\frac{\phi}{1-\phi}\right)^2\right]\pm\frac{(U\pm\phi V)^2}{2g}\left[\frac{Lf_w}{4R_w(1-\phi)^3}\right]$$

که در آن:

ΔH_1 = اختلاف ارتفاع بین موقیت i که در آنجا افزایش فشار مورد انتظار است و مقطع A (m)

L_1= مجموع فاصله بین موقعیت I و دهانه A(m)

ΔP = اختلاف فشار موقعیت i و خروجی B (Kg/m^2)

P_A =فشار بارومتریک در دهانه A (Kg/m^2)

P_B = فشار بارومتریک در دهانه B (Kg/m^2)

V = سرعت قطار (m/sec)

g = شتاب جاذبه (m/sec^2)

P_t = محیط قطار (m)

γ =وزن مخصوص هوا Kg/m^3

$$\frac{A_f}{A}=\phi$$

L = طول قطار (m)

L_T = طول تونل (m)

R_w= شعاع هیدرولیکی تونل باز (m)

k_i =ضریب افت موضعی تونل

f_w= ضریب اصطکاک سطح دیواره تونل

f_t= ضریب اصطکاک سطح قطار

A = سطح مقطع تونل (m^2)

A_f = سطح مقطع قطار (m^2)

U= سرعت هوا در تونل (m/sec) می باشد.

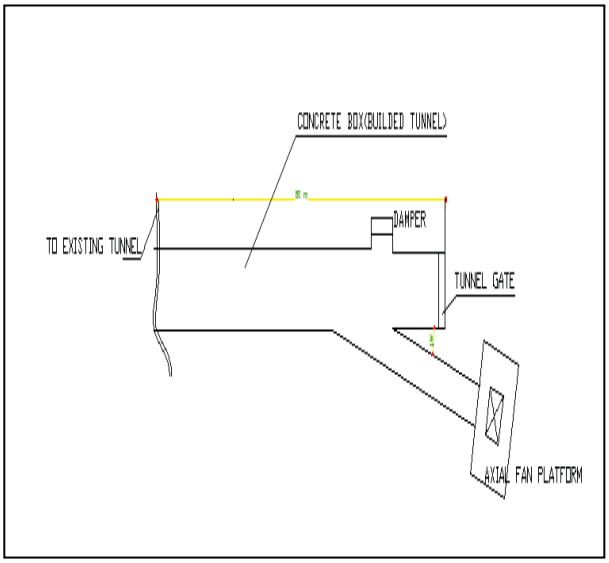
لازم به یادآوری است که اثر جهت جریان هوا و قطار به صورت هم جهت یا بر خلاف یکدیگر در فرمول فوق مشخص شده است. سرعت هوای ناشی از تهویه مکانیکی باید به گونه‌ای باشد که فشار آن باعث سلب آسایش مسافران نشده و بر سلامتی آنان اثر سوء نداشته باشد.

با توجه به محاسبات سازه‌ای و منطقه در دسترس مقابل تونل موجود، تونل بتنی با ابعاد برابر با تونل موجود به منظور جلوگیری از تغییر موضعی در مقطع و در نتیجه عدم افت فشار، با ضخامت دیوار و سقف ۲۵ سانتیمتر و طول ۵۰ متر در اتصال با تونل موجود احداث خواهد شد. وجود تونل هوارسان با زاویه تماس حدود ۱۵ درجه با تونل بتنی نیز نقش مهمی در کاهش مشکلات هیدرولیکی خواهد داشت.

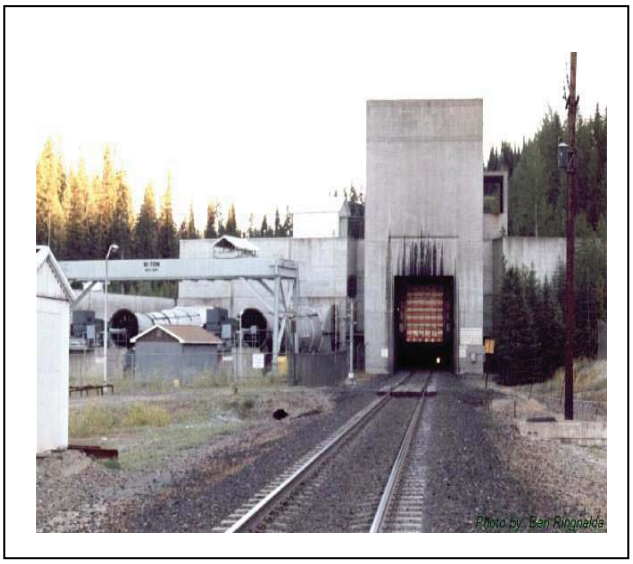
در شکل‌های ٤ و ٥ نیز نحوه استقرار تاسیسات مربوط مانند بادزن، تونل بتنی ساخته شده، محل نصب درهای ورودی و محل قرارگیری تجهیزات تنظیم هوا نشان داده شده است. این امر به دلیل این مسئله پرهیز از حفاری دستک متصل به تونل است که از نظر فنی و اقتصادی با مشکلاتی همراه است.

جدول ۲. مقادیر مورد نیاز برای محاسبه فشار بادزن

U(m/sec)	سرعت هوا در تونل مسدود شده	۳
V(m/sec)	سرعت قطار	٤/۱۸
$A(m^2)$	سطح مقطع تونل	۲٦
$A_f(m^2)$	سطح مقطع قطار	۱۲/۵
PHI	نسبت A_f/A	۰/۵
L(m)	طول قطار	۷۰۰
$L_t(m)$	طول کلی تونل	۱۰۵۰
$P_t(m)$	محیط قطار	۱۳/۵
Ptunnel(m)	محیط تونل	۱۹
$R_w(m)$	شعاع هیدرولیکی تونل باز	۱/۳۷
$R_t(m)$	شعاع هیدرولیکی قطار	۰/۹۱
f_t	ضریب اصطکاک سطح قطار	۰/۱٤۳
f_w	ضریب اصطکاک سطح دیواره تونل	۰/۰۱۳۳
k_i	ضریب افت موضعی تونل	۰
$DELTAP(kg/m^2)$	اختلاف فشار موقعیت I و خروجی B	۳۱۱/۸۳
$Pa(kg/m^2)$	فشار بارومتریک در دهانه A	۱۲۰٦
$Pb(kg/m^2)$	فشار بارومتریک در دهانهB	۱۱۹٦/۲
DELTAH(m)	اختلاف ارتفاع دو دهانه تونل	۱۰
$g(m/sec^2)$	شتاب جاذبه	۱۰
$gama(kg/m^3)$	وزن مخصوص هوا	۱/۲
L1(m)	مجموع فاصله بین موقعیت I ودهانه A	۱۰۵۰
DELTAP(Kpa)	اختلاف فشار موقعیت I و خروجی B	۳/۱



شکل ٤. نمایش نحوه استقرار تاسیسات تهویه در خارج از تونل [٤]



شکل ۵. نمونه ای از درهای هوابند نصب شده در دهانه تونل [٤]

٤. مشخصات بادزن وساختمانهای مورد نیاز

٤-۱ کلیات

مطابق محاسبات انجام شده فوق، بادزن مورد نیاز دارای مشخصات فنی زیر می باشد:

الف- حجم هوادهی: ۱۳۲ متر مکعب درثانیه

ب- فشار مورد نیاز:۳۰۰۰ پاسکال

توان موتور: ٦۰۰ کیلووات

بادزن، قابلیت تغییر دور و نیز دوران در جهت معکوس را خواهد داشت.

٤-۲ مشخصات ساختمان و سازه‌های لازم

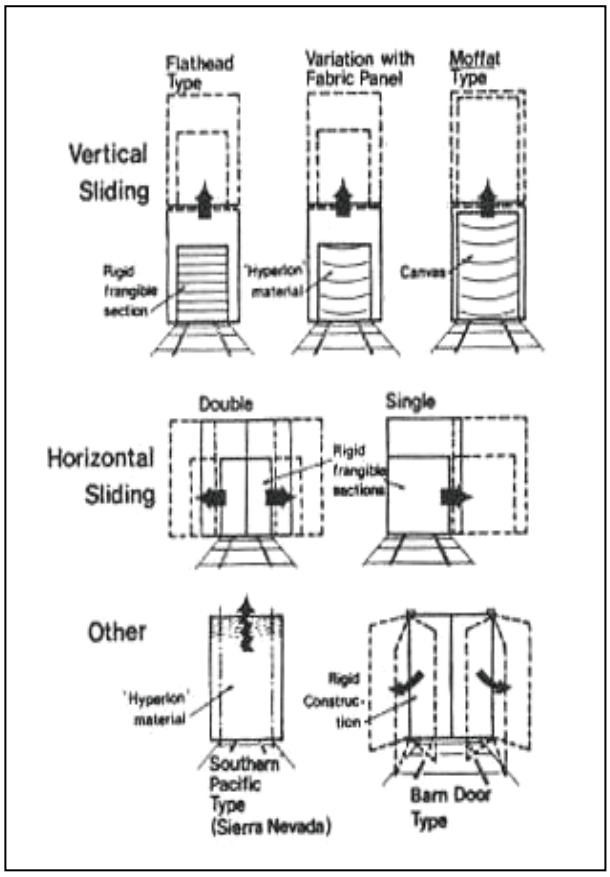
به منظور نصب مجموعه بادزن در ابتدای دهانه تونل، می‌بایستی کالورت بتنی به طول ۵۰ متر احداث شود. ابعاد مورد نظر برای کالورت، منطبق با ابعاد تونل موجود هستند. همچنین سازه جنبی دیگری برای انتقال هوا از بادزن به کالورت اصلی ایجاد خواهد شد.

ابعاد این تونل کوچکتر که با زاویه تقریبی ۱۵ درجه نسبت به کالورت اصلی قرار دارد برابر ابعاد بادزن انتخابی است. ایجاد سکوهای بتنی برای استقرار بادزن در فضای آزاد، همراه با توری محافظ در اطراف آن نیز پیش بینی شده است.

کالورت بتنی دارای ضخامت تقریبی ۲۵ سانتیمتر است. علاوه بر این، سازه دروازه هوابند نیز وجود خواهد داشت که دروازه در داخل آن قرار خواهد گرفت.

با توجه به وضعیت خودکار عملکرد سیستم تهویه به منظور کارکرد بادزن و نیز باز و بسته شدن در هوابند، در هنگام نزدیک شدن قطار به تونل در فاصله ای از تونل با استفاده از سوئیچهای مخصوص به در به طور خودکار دستور باز شدن داده می شود. همچنین پس از عبور قطار از تونل نیز با استفاده از همان سیستم در داخل تونل، در هوابند بسته می شود.

مواد سازنده در هوابند از نوعی است که در صورت خرابی یا عملکرد نامناسب در، قابل شکسته شدن توسط پیشانی قطار بوده و حداقل آسیب به قطار وارد شود. در شکل ٦ چندین نمونه از درهای هوابند و نحوه عملکرد آنها نشان داده شده است.



شکل ٦. انواع در هوابند نصب شده در دهانه تونل [٤]

۵. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت روزافزون استفاده از راه آهن در حمل و نقل و افزایش ترافیک در تونل‌های راه آهن غرب کشور، بخصوص استان لرستان، و افزایش آلودگی در این تونلها، بحث تهویه تونلهای راه آهن به علت گرما و گازهای حاصل از سوخت در موتورهای دیزل باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. در مورد تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان که دارای طول بیشتر و قوسهای طولانی تر است، اهمیت این بررسی غیر قابل انکار است.

در ابتدا امکان اجرای روشهای مختلف تهویه در خصوص این تونل مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به خصوصیات هندسی تونل و نیز وضعیت توپوگرافی منطقه، استفاده از دستکها و تونلهای دسترسی به منظور هوارسانی منتفی گردید. روش‌های تهویه عرضی و نیمه‌عرضی نیز با توجه به نیاز به نصب سیستم‌های پیچیده در مقایسه با روش طولی در اولویت قرار نگرفت.

نهایتاً استفاده از بادزنهای قوی با حجم هوادهی حدود ۱۳۰ مترمکعب در ثانیه و فشار ۳ کیلوپاسکال و توان موتور ٦۰۰ کیلووات و کنترل اتوماتیک آنها به همراه استفاده از گالری تهویه به طول حدود ۵۰ متر با زاویه ۱۵ درجه نسبت به تونل اصلی و درهای هوابند، سیستم بهینه تهویه این تونل را تشکیل می‌دهند.

۷. مراجع

1. Chia, T. and Lai, S. (2003) "A comparison of the ventilation system for railway and road tunnels", Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels. Vol. I.

۲. دفتر مهندسی و نظارت راه آهن جمهوری اسلامی ایران - اطلاعات مربوط به تونل ۱۰۲ راه آهن لرستان.

۳. مدنی، حسن (۱۳۷۸) "تونلسازی- جلد دوم: خدمات فنی". مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

4. Charlwood, R.G. (1982) "Tunnel ventilation system for the British Columbia Railway", Aerodynamics & ventilation of Vehicle Tunnels.

پانویس‌ها

1- Saccardo nozzle system
2- Jet fan system
3- Impulse fan system

Fundamentals of Designing Railway Tunnel Ventilation, Case Study: Lorestan Railway Tunnel No. 102

M. Gharouni Nik, Iran University of Science & Technology)
R. Berry Dizaji, Moshanir Engineering Services Co.)
H. Katibeh, University of Amirkabir (Tehran Polytechnic)
E-mail: gharouni@doctor.com

ABSTRACT

Nowadays ventilation of railway tunnels in Iran with regard to their age and the need for increasing the traffic lines, especially for the west part of the country, is of paramount importance. The most important factors affecting ventilation design of these tunnels are heat and the gases produced by fuel combustion in diesel engines. The heat produced by these engines may increase the temperature of the air in tunnels so that locomotive motors are not able to operate with a reasonable efficiency. Products resulting from fuel combustion may also cause problems for the tunnel users. Therefore, ventilation of the tunnels should be designed with respect to these two aspects. The method presented in this paper, which is the first scientific and practical step in this regard, is based on using present railway transportation facilities and approaching standardization of the appropriate required air inside the tunnel. Studyin of different ventilation methods shows that excavation the galleries and connected shafts the air through which may be transferred, or installation of the equipment inside the tunnel are not technically and economically desirable due to lack of geotechnical surveys and therefore knowledge about the earth materials, elongation of the proposed galleries and shafts and finally lack of the clearance in tunnel. These considerations resulted in choosing the method of installing a powerful jetfan outside the tunnel and using the air-tight gates, one of the advantages of which is prevention of interference between the maintenance procedures with the train movement.

In this paper the requirement for installation of ventilation facilities in the railway tunnels in Lorestan province in the west of Iran, with particular emphasis on the 102 Lorestan Railway Tunnel has been discussed. First of all the possibility of applying the different methods of ventilation in this tunnel was studied and according to the geometric conditions of the tunnel and topographical situation of the area, the possibility of using the hand dollies and access tunnels was disregarded. The transverse and semi transverse ventilation systems was not preferred either, due to the complexity of these systems compared to longitudinal ventilation systems.

Finally application of strong fans with 130m^3/s and the 3 KPa pressure and an engine with 600 KW power along with utilization of ventilation gallery with 50 m length and 15° angle towards the main tunnel and airtight doors, has been selected as the optimal ventilation systems for this tunnel.

Keywords: Railway tunnel, ventilation system, jet fan, air-tight gate