





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی معدن، گرایش استخراج

پایان نامه کارشناسی ارشد

انتخاب و تحلیل روش مناسب تهویه تونل علوی، بندرعباس با رویکرد فنی اقتصادی

نگارنده: راضیه اخباری

اساتید راهنما:

دکتر فرهنگ سرشکی

مهندس سید حسن مدنی

استاد مشاور:

دکتر شبیر ارشد نژاد

شهریور 1397

شماره: ۳۸۸۴۷۹۰۰۳
تاریخ: ۱۸/۴/۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم راضیه اخباری با شماره دانشجویی ۹۴۰۱۶۸۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان انتخاب و تحلیل روش مناسب تهویه تونل علوی، بندرعباس با رویکرد فنی اقتصادی که در تاریخ ۹۷/۶/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ☒ قبول) ☐ مردود نوع تحقیق: ☐ نظری ☐ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	مهندس سید حسن مدنی	استادیار	
۳- استاد مشاور	دکتر شبیر ارشد نژاد	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی نوروزی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رضا خالو کاکایی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به روح مهربان ترین پدر دنیا
و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

راهنمایی های اساتید ارجمند جناب آقای دکتر سرشکی و جناب آقای مهندس مدنی که مرا در تمامی مراحل این پایان نامه مساعدت فرمودند، شایسته تقدیر و امتنان است و سلامت روزافزون ایشان را از درگاه الهی خواستارم.

از مساعدت های بی دریغ جناب آقای دکتر ارشدنژاد و جناب آقای مهندس تولایی و تمام عزیزانی که در تکمیل پایان نامه اینجانب همکاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب راضیه اخباری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: انتخاب و تحلیل روش مناسب تهویه تونل علوی، بندرعباس با رویکرد فنی اقتصادی تحت راهنمایی دکتر فرهنگ سرشکی و مهندس سید حسن مدنی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

امضای دانشجو : راضیه اخباری

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

با افزایش جمعیت و به دنبال آن، نیاز به ساخت راه های بیشتر، تونل های ارتباطی بیشتری نیز برای مرتبط ساختن این راه ها به یکدیگر احداث می شوند. با توجه به ترافیک موجود در داخل تونل ها، تهویه در این سازه زیرزمینی از اهمیت به سزایی برخوردار است. تهویه موجب کاهش آلاینده های ناشی از احتراق سوخت وسایل نقلیه در جو تونل شده و شرایط بهتری را برای تنفس افراد در این فضای بسته ایجاد می کند. یکی از نکات مهم در ضرورت وجود تهویه مناسب در تونل ها، نقش به سزای آن در زمان بروز آتش سوزی و انتشار حجم بسیاری از دود در داخل تونل است. در این پژوهش، سعی بر آن بوده تا بهترین سیستم تهویه برای تونل علوی واقع در شهرک شهید رجایی، در استان هرمزگان، طراحی شود. با استفاده از استانداردهای مختلف، لزوم استفاده از تهویه مکانیکی در این تونل مشخص شده و با توجه به مزیت های استفاده از تهویه طولی، این روش تهویه برای تونل علوی انتخاب شده است. با استفاده از روش های کلاسیک و روش مطرح شده از سوی انجمن جهانی راه (پیارک)^۱، شدت جریان لازم برای تهویه این تونل محاسبه شده و سپس با در نظر گرفتن مولفه های مختلف فشار، افت فشار لازم نیز محاسبه شده است. در نهایت با توجه به محاسبات، دو مدل جت فن از شرکت های Novenco و Korfmann برای تهویه تونل علوی در نظر گرفته شده است. برای مقایسه بهتر این دو جت فن در زمان آتش سوزی، به وسیله بسته نرم افزاری فلوئنت^۲، تونل در دو حالت تهویه نرمال و تهویه حین آتش سوزی به طور مجزا برای هر دو جت فن شبیه سازی شده است. در نهایت با مقایسه نتایج بدست آمده از نرم افزار و با توجه به مشخصات فنی هر یک از جت فن ها، جت فن شرکت Novenco برای استفاده در تونل علوی مناسب تر شناخته شد.

کلمات کلیدی: ترافیک، تهویه طولی، انجمن جهانی راه (پیارک)، مدل سازی آتش، بسته نرم افزاری فلوئنت

1- PIARC Committee

2- ANSYS Fluent CFD Package

فهرست مطالب

کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- تعریف مساله	۲
۳-۱- ضرورت انجام پژوهش	۲
۴-۱- اهداف پژوهش.....	۳
۵-۱- سابقه تحقیقات	۴
۱-۵-۱- پروژه پیشگیری و کنترل آتش در تونل های بزرگراهی.....	۴
۲-۵-۱- پروژه ایمن سازی تونل های حمل و نقل.....	۴
۳-۵-۱- پروژه سازه های تونلی قابل اطمینان و بادوام.....	۵
۴-۵-۱- پروژه های سازمان تحقیقات علمی کاربردی در اروپا.....	۵
۵-۵-۱- مطالعات انجام شده در زمینه شبیه سازی آتش.....	۹
۶-۱- سازمان دهی پایان نامه.....	۱۲
معرفی تونل علوی.....	۱۳
۱-۲- مقدمه.....	۱۴
۲-۲- اقلیم و آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۱۴
۱-۲-۲- استان هرمزگان.....	۱۴
۳-۲- مشخصات هندسی و فنی تونل	۱۵
۱-۳-۲- هندسه تونل.....	۱۵
۲-۳-۲- زهکشی	۱۶
۳-۳-۲- اجرای عایق بندی	۱۶
۴-۲- اجرا و ساخت تونل	۱۶
۱-۴-۲- راه های دسترسی	۱۶
۲-۴-۲- ساخت تونل	۱۶

۱۸	۵-۲- وضعیت ترافیکی در تونل علوی
۱۹	۵-۲-۱- ترافیک محورهای تاثیرگذار
۲۰	۵-۲-۲- میزان ترافیک تونل
۲۲	۵-۲-۳- تعیین ترافیک ساعتی طرح
۲۲	۶-۲- جمع بندی
۲۳	محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی
۲۴	۳-۱- مقدمه
۲۴	۳-۲- تعیین لزوم تهویه مکانیکی
۲۴	۳-۲-۱- استاندارد فرانسه
۲۴	۳-۲-۲- استاندارد نروژ
۲۵	۳-۲-۳- استاندارد انگلیس
۲۵	۳-۲-۴- بررسی نتیجه بدست آمده از استانداردهای مختلف
۲۵	۳-۳- حد مجاز آلاینده ها در طراحی سیستم تهویه
۲۶	۳-۳-۱- مقدار مجاز کربن مونوکسید
۲۶	۳-۳-۲- مقدار مجاز دوده
۲۷	۳-۳-۳- مقدار مجاز اکسیدهای ازت
۲۸	۳-۴- محاسبه مقدار هوای لازم حین بهره برداری از تونل علوی به روش کلاسیک
۲۸	۳-۴-۱- محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید (CO)
۳۵	۳-۴-۲- محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه دوده
۴۰	۳-۴-۳- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت (NO _x)
۴۱	۳-۴-۴- نتایج بدست آمده از روش کلاسیک
	نتایج بدست آمده برای شدت جریان لازم جهت تهویه تونل علوی به روش کلاسیک، به تفکیک آلاینده، شرایط ترافیکی و روش محاسبه در جدول زیر آورده شده است.
۴۱	
۴۲	۳-۵- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه تونل به روش پیارک
۴۲	۳-۵-۱- مقدمه
۴۶	۳-۵-۲- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید (CO) به روش پیارک
۴۷	۳-۵-۳- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای ترقیق دوده به روش پیارک

۴۹	۳-۵-۴- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای ترقیق اکسیدهای ازت (NO_x) به روش پیارک
۵۱	۳-۵-۵- نتایج بدست آمده از روش پیارک
۵۱	۳-۶- محاسبه شدت جریان در مواقع آتش سوزی
۵۲	۳-۷- انتخاب شدت جریان نهایی
۵۴	۳-۸- جمع بندی
۵۵	محاسبه افت فشار و انتخاب جت فن
۵۶	۴-۱- آشنایی
۵۶	۴-۲- محاسبه افت فشار تونل
۵۶	۴-۲-۱- محاسبه افت فشار مربوط به دهانه های ورودی و خروجی
۵۷	۴-۲-۲- محاسبه افت فشار استاتیکی و دینامیکی
۵۹	۴-۲-۳- محاسبه افت فشار ناشی از باد محلی
۶۰	۴-۲-۴- محاسبه افت فشار کلی
۶۰	۴-۳- انتخاب جت فن
۶۷	۴-۵- مقایسه اقتصادی جت فن های انتخاب شده برای تهویه تونل علوی
۶۸	۴-۶- جمع بندی
۶۹	مدلسازی آتش در تونل علوی
۷۰	۵-۱- مقدمه
۷۰	۵-۲- معادلات و قوانین حاکم بر مدل سازی
۷۱	۵-۲-۱- معادله پیوستگی
۷۱	۵-۲-۲- معادله ناویر - استوکس
۷۲	۵-۲-۳- قانون گاز ایده آل تراکم پذیر
۷۳	۵-۲-۴- جریان آشفته
۷۴	۵-۲-۵- مدل آشفتهگی $\varepsilon - k$
۷۵	۵-۲-۶- معادله انرژی

۷۶	۳-۵- مدل سازی تهویه در حالت عادی.....
۷۶	۳-۵-۱- هندسه تونل.....
۷۶	۳-۵-۲- مش بندی تونل.....
۸۰	۳-۵-۳- تعیین فیزیک جریان در بسته نرم افزاری فلوئنت.....
۸۱	۳-۵-۴- شرایط مرزی.....
۸۱	۳-۵-۵- اجرای مدل و نتایج مدل سازی.....
۸۵	۴-۵- مدل سازی آتش.....
۸۵	۴-۵-۱- هندسه تونل.....
۸۶	۴-۵-۲- مش بندی تونل.....
۸۷	۴-۵-۳- تعیین فیزیک جریان در بسته نرم افزاری فلوئنت.....
۸۷	۴-۵-۴- شرایط مرزی.....
۸۷	۴-۵-۵- اجرای مدل و نتایج مدل سازی.....
۹۶	۵-۵- جمع بندی.....
۹۷	جمع بندی و نتیجه گیری.....
۹۸	۶-۱- جمع بندی و نتیجه گیری.....
۹۹	۶-۲- پیشنهادات.....
۱۰۱	منابع.....
۱۰۵	پیوست.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- (الف) موقعیت جغرافیایی تونل نسبت به بندر شهید رجایی و بندرعباس ۱۵
- شکل ۱-۲- (ب) نمای سه بعدی از ورودی (۲) و خروجی (۱) ۱۵
- شکل ۲-۲- مقطع تیپ تونل علوی ۱۷
- شکل ۴-۲- مسیر تونل علوی و ارتباط آن با مسیرهای اطراف ۱۹
- شکل ۱-۳- ضریب تصحیح تولید مونوکسید کربن در ارتفاعات ۲۹
- شکل ۲-۳- ضرایب تصحیح محصولات مضره در سرعت ها و شیب های مختلف ۳۰
- شکل ۳-۳- ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا در تولید کربن مونوکسید ۳۴
- شکل ۴-۳- ضریب تاثیر شیب در تولید کربن مونوکسید ۳۴
- شکل ۵-۳- ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی ۳۶
- شکل ۶-۳- ضریب تاثیر مربوط به شیب جاده و سرعت اتومبیل ها در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی ۳۷
- شکل ۷-۳- ضریب تاثیر شیب در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی ۳۹
- شکل ۱-۴- منحنی های مشخصه کلی جت فن های شرکت KORFMANN و منحنی مشخصه لوله کوتاه متصل به آن ها ... ۶۴
- شکل ۲-۴- شمایی از نصب جت فن های شرکت KORFMANN در تونل علوی ۶۵
- شکل ۳-۴- شمایی از نصب جت فن های شرکت NOVENCO در تونل علوی ۶۷
- شکل ۱-۵- نحوه تغییر شبکه در راستای طولی (گام سوم-چهارم) ۷۷
- شکل ۲-۵- محل داده برداری سرعت در بررسی استقلال از شبکه ۷۷
- شکل ۳-۵- نمودار استقلال از شبکه ۷۸
- شکل ۴-۵- نمای روبه رو مش تولید شده در تونل علوی مجهز به جت فن شرکت NOVENCO ۷۸
- شکل ۵-۵- نمای سه بعدی مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت NOVENCO ۷۹
- شکل ۶-۵- نمای رو به رو مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN ۷۹
- شکل ۷-۵- نمای سه بعدی مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN ۸۰
- شکل ۸-۵- نمایی از سرعت جریان هوا در جت فن های شرکت NOVENCO در حالت تهویه نرمال ۸۲
- شکل ۹-۵- بردارهای سرعت در تونل مجهز به جت فن های شرکت NOVENCO در حالت تهویه نرمال ۸۲
- شکل ۱۰-۵- نمای سه بعدی از سرعت جریان هوا در تونل مجهز به جت فن های شرکت NOVENCO در حالت تهویه نرمال ۸۳
- شکل ۱۱-۵- نمایی از سرعت جریان هوا در جت فن های شرکت KORFMANN در حالت تهویه نرمال ۸۳
- شکل ۱۲-۵- بردارهای سرعت در تونل مجهز به جت فن های شرکت KORFMANN در حالت تهویه نرمال ۸۴
- شکل ۱۳-۵- نمای سه بعدی از سرعت جریان هوا در تونل مجهز به جت فن های شرکت KORFMANN در حالت تهویه نرمال ۸۴
- شکل ۱۴-۵- نمای رو به رو از نحوه قرارگیری تانکر سوخت در تونل ۸۵
- شکل ۱۵-۵- مش بندی تانکر حاوی سوخت در تونل مجهز به جت فن شرکت NOVENCO ۸۶

- شکل ۵-۱۶- مش بندی تانکر حاوی سوخت در تونل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN ۸۶
- شکل ۵-۱۷- کنتور سرعت جریان هوای به وجود آمده توسط جت فن های NOVENCO در داخل تونل پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل ۸۹
- شکل ۵-۱۸- کنتور سرعت جت فن شرکت NOVENCO پس از رسیدن به تعادل ۸۹
- شکل ۵-۱۹- بردارهای سرعت پس از به تعادل رسیدن جت فن های شرکت NOVENCO به تعادل بعد از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل ۹۰
- شکل ۵-۲۰- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی در مدل استفاده شده از جت فن های شرکت NOVENCO بر حسب درصد وجود سیال ۹۰
- شکل ۵-۲۱- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل در مدل مجهز به جت فن شرکت NOVENCO بر حسب درصد وجود سیال ۹۱
- شکل ۵-۲۲- کنتور سرعت جریان هوای به وجود آمده توسط جت فن های KORFMANN در داخل تونل پس از گذشت S ۲۰۰ از اجرای مدل ۹۱
- شکل ۵-۲۳- کنتور سرعت جت فن شرکت KORFMANN پس از رسیدن به تعادل ۹۲
- شکل ۵-۲۴- بردارهای سرعت پس از به تعادل رسیدن جت فن های شرکت KORFMANN به تعادل بعد از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل ۹۲
- شکل ۵-۲۵- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی در مدل استفاده شده از جت فن های شرکت KORFMANN بر حسب درصد وجود سیال ۹۳
- شکل ۵-۲۶- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل در مدل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN بر حسب درصد وجود سیال ۹۳
- شکل ۵-۲۷- کنتور کسر حجمی هوا در مدل مجهز به جت فن شرکت NOVENCO پس از گذشت ۲۶۰ ثانیه از اجرای مدل بر حسب درصد وجود سیال ۹۴
- شکل ۵-۲۸- نمودار تغییرات دما در فاصله ۵۰ متری از منبع آتش در تونل مجهز به جت فن شرکت NOVENCO ۹۵
- شکل ۵-۲۹- کنتور کسر حجمی هوا در مدل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN پس از گذشت ۲۶۰ ثانیه از اجرای مدل بر حسب درصد وجود سیال ۹۵
- شکل ۵-۳۰- نمودار تغییرات دما در فاصله ۵۰ متری از منبع آتش در تونل مجهز به جت فن شرکت KORFMANN ۹۶

فهرست جداول

جدول ۱-۲	مختصات دهانه ورودی و خروجی تونل علوی در سیستم UTM	۱۴
جدول ۲-۲	میزان تردد روزانه محور لار (سه راهی بستک) - بندرعباس (سه راهی کهورستان)	۱۹
جدول ۳-۲	میزان تردد روزانه محور حاجی آباد (فین) - بندرعباس (دشت امام)	۱۹
جدول ۴-۲	میزان تردد روزانه محور ایسین - دشت امام	۲۰
جدول ۵-۲	ترافیک جذب شده برای تونل در سال	۲۰
جدول ۶-۲	ترافیک جذب شده از مراکز جمعیتی در سال ۱۳۹۵	۲۰
جدول ۷-۲	ترافیک تونل در سال ۱۳۹۵	۲۱
جدول ۸-۲	ضریب رشد محور لار - بندرعباس	۲۱
جدول ۹-۲	ضریب رشد محور حاجی آباد - بندرعباس	۲۱
جدول ۱۰-۲	ضریب رشد محور ایسین - دشت امام	۲۱
جدول ۱۱-۲	میزان ترافیک روزانه عبوری از مسیر در دوره طرح	۲۲
جدول ۱-۳	مقادیر مجاز کربن مونوکسید، دوده و اکسیدهای ازت	۲۷
جدول ۲-۳	حد مجاز اکسیدهای ازت	۲۸
جدول ۳-۳	وزن اتومبیل های مختلف	۲۹
جدول ۴-۳	محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک روان	۳۰
جدول ۵-۳	محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک نیمه سنگین	۳۱
جدول ۶-۳	محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک سنگین	۳۱
جدول ۷-۳	مقدار هوای لازم برای تهویه CO در تونل علوی به روش انگلیسی در سه حالت ترافیک روان، نیمه سنگین و سنگین	۳۱
جدول ۸-۳	ضریب تصحیح شیب برای تولید مونوکسید کربن	۳۲
جدول ۹-۳	ضریب تصحیح کاهش سرعت در تولید مونوکسید کربن	۳۲
جدول ۱۰-۳	شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی در شیب سربالا	۳۳
جدول ۱۱-۳	شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی در شیب سرپایین	۳۳
جدول ۱۲-۳	شدت جریان کلی مورد نیاز برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی	۳۳
جدول ۱۳-۳	محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش فرانسوی در شیب سربالا	۳۵
جدول ۱۴-۳	محاسبه شدت جریان مورد نیاز برای تهویه کربن مونوکسید به روش فرانسوی در شیب سرپایین	۳۵
جدول ۱۵-۳	شدت جریان کلی لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی به روش فرانسوی	۳۵
جدول ۱۶-۳	محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه دوده به روش انگلیسی	۳۷
جدول ۱۷-۳	ضریب تصحیح شیب در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی	۳۸
جدول ۱۸-۳	محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه دوده به روش نروژی	۳۸
جدول ۱۹-۳	ضریب تصحیح سرعت در تولید دوده برای اتومبیل های دیزلی	۳۹

جدول ۳-۲۰	محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه دوده به روش فرانسوی در شیب سربالا	۴۰
جدول ۳-۲۱	محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه دوده به روش فرانسوی در شیب سرپایین	۴۰
جدول ۳-۲۲	شدت جریان کلی مورد نیاز برای تهویه دوده به روش فرانسوی در تونل علوی	۴۰
جدول ۳-۲۳	ضریب تصحیح میزان اکسیدهای ازت در شیب های مختلف	۴۱
جدول ۳-۲۴	شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی با استفاده از روش های کلاسیک	۴۲
جدول ۳-۲۵	داده های متوسط اوج ترافیکی	۴۳
جدول ۳-۲۶	تعداد وسایل نقلیه در تونل علوی در شرایط ترافیکی مختلف	۴۴
جدول ۳-۲۷	میزان انتشار مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک در شیب سربالا	۴۶
جدول ۳-۲۸	میزان انتشار مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپایین	۴۶
جدول ۳-۲۹	شدت جریان لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک	۴۷
جدول ۳-۳۰	میزان انتشار دوده در تونل علوی به روش پیارک در شیب سربالا	۴۸
جدول ۳-۳۱	میزان انتشار دوده در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپایین	۴۸
جدول ۳-۳۲	شدت جریان لازم برای تهویه دوده در تونل علوی به روش پیارک	۴۸
جدول ۳-۳۳	میزان انتشار اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک در شیب سربالا	۴۹
جدول ۳-۳۴	میزان انتشار اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپایین	۵۰
جدول ۳-۳۵	محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک	۵۰
جدول ۳-۳۶	نتایج بدست آمده برای شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی از روش پیارک	۵۱
جدول ۳-۳۷	شدت جریان هوای لازم به روش های کلاسیک، پیارک و در مواقع آتش سوزی (M3/S)	۵۲
جدول ۳-۳۶	میانگین، واریانس و انحراف معیار شدت جریان های محاسبه شده به روش های گوناگون (M^3/S)	۵۳
جدول ۴-۱	میزان ناهمواری دیواره تونل برای پوشش های مختلف	۵۸
جدول ۴-۲	افت فشارهای مختلف موثر در تونل علوی	۶۰
جدول ۴-۳	مشخصات فنی جت فن های شرکت KORFMANN سری AL	۶۱
جدول ۴-۴	مشخصات فنی جت فن های شرکت NOVENCO سری AUR	۶۱
جدول ۴-۵	مشخصات فنی جت فن های شرکت ابزار تونل جهان (ATJ) مدل ۱۲ JAR	۶۱
جدول ۴-۶	مشخصات فنی جت فن های شرکت تجهیز تونل جوان	۶۱
جدول ۴-۷	مقادیر ضریب K برای استفاده در رابطه خاروف ۳۳۳۳۳	۶۴
جدول ۴-۸	مقدار شدت جریان محاسبه شده طبق رابطه گومنیوک برای جت فن های شرکت KORFMANN	۶۴
جدول ۴-۹	مقدار ضریب نصب جت فن (H_p)	۶۶
جدول ۴-۱۰	فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت NOVENCO	۶۶
جدول ۴-۱۱	فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت ابزار تونل جهان	۶۷
جدول ۴-۱۲	فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت تجهیز تونل جوان	۶۷
جدول ۵-۱	تعداد شبکه محاسباتی در هر گام	۷۷

۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

ایمنی در تونل ها، به عنوان فضای بسته که نقش مهمی در سیستم حمل نقل عمرانی و معدنی دارد و به علت محدودیت در دسترسی و ساخت آن ها بسیار حائز اهمیت است. در این بین، تهویه، به عنوان یکی از ملاحظات ایمنی نقشی حیاتی دارد. تهویه حین بهره برداری در تونل ها، به منظور رساندن هوای تازه به داخل فضای محدود تونل ها، رقیق کردن گازهای آلاینده متصاعد از وسایل نقلیه موجود در تونل ها و همچنین خارج کردن دود ناشی از آتش سوزی های احتمالی در تونل صورت می گیرد. تهویه تونل ها، به روش های مختلفی انجام میگیرد که می بایست در انتخاب بهترین روش، مسائل فنی و اقتصادی نیز در نظر گرفته شود.

در این فصل، ابتدا مساله مورد مطالعه توضیح داده شده و سپس ضرورت مطالعه آن بیان خواهد شد. در قسمت بعدی، هدف از انجام این پژوهش و در نهایت سابقه تحقیقاتی این موضوع ارائه خواهد شد. در نهایت مروری بر محتوای فصل های آتی نیز خواهد شد.

۱-۲- تعریف مساله

در پژوهش پیش رو، ابتدا ضرورت استفاده از تهویه مکانیکی جهت تهویه تونل علوی واقع در شهرک شهید رجایی، بندرعباس، مورد مطالعه قرار گرفته و سپس سیستم تهویه مناسب برای این تونل پیشنهاد می شود. در قدم آخر، با فرض رخ دادن آتش سوزی حاصل از انفجار یک تانکر حاوی سوخت فسیلی، عملکرد سیستم تهویه در این شرایط بررسی خواهد شد.

۱-۳- ضرورت انجام پژوهش

بین ملاحظات ایمنی در تونل ها، تهویه کلیدی ترین نقش را بر عهده دارد. چرا که در تونل ها، به علت وجود آلاینده های ناشی از احتراق داخلی موتور وسایل نقلیه، بدون تهویه مناسب، تنفس سخت شده و دید رانندگان نیز هنگام رانندگی کاهش می یابد. در چنین شرایطی امکان بروز حادثه و تصادف در تونل افزایش می یابد. از سوی دیگر، در زمان بروز حوادث از پیش تعیین نشده و غیر عادی مانند آتش سوزی و یا به وجود آمدن ترافیک سنگین در اثر رخ دادن تصادف، به دلیل بسته بودن فضای تونل ها و محدودیت دسترسی، تهویه مناسب در کنترل دود و گازهای سمی تولید شده در تونل تا رسیدن نیروهای امداد، نقشی حیاتی ایفا می کند.

در مورد بروز آتش سوزی، که تمرکز این پژوهش نیز بر روی آن است، تهویه علاوه بر کنترل و خروج دود ناشی از آتش سوزی، می‌تواند تاثیر به سزایی در میزان هوا رسانی به آتش و جلوگیری از شعله‌ور شدن بیشتر آن داشته باشد.

معمولاً جریان هوای ناشی از حرکت خودروها (اثر پیستونی) و جریان هوای خارج از تونل که در اثر تنگ شدن سطح مقطع به داخل آن می‌آید، برای رساندن هوای تازه و تخلیه هوای آلوده در تونل‌های با طول کمتر از ۳۰۰ متر کافی است [۱، ۲، ۳ و ۴]. اما در تونل‌های طولانی‌تر، استفاده از تجهیزات مکانیکی ضرورت می‌یابد [۱، ۵، ۶ و ۷].

پس از طراحی و نصب سیستم تهویه مناسب در تونل‌ها، مساله بررسی کارایی این ادوات هنگام بروز حوادث غیر مترقبه پیش می‌آید. بدین منظور، برای پروژه‌های مختلف به کمک مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی^۱، جریان به وجود آمده توسط تجهیزات تهویه‌در تونل‌ها شبیه سازی شده و تاثیر آن‌ها در هدایت دود حاصل از آتش به خارج از تونل بررسی می‌شود. بدین منظور، ابزارهای دینامیک سیالات محاسباتی متنوعی وجود دارد؛ برای مثال: ANSYS Fluent، ANSYS CFX، PHOENICS، STAR-CCM+، همچنین تعدادی ابزار دینامیک سیالات محاسباتی صرفاً مخصوص مدل سازی آتش در سال‌های اخیر به وجود آمده است که در این بین می‌توان به JASMINE، SMARTFIRE، SOFIE، Fire Dynamics Simulator (FDS) [۸] و FireFoam [۹] اشاره کرد. در این پژوهش به علت رواج استفاده از بسته نرم افزاری ANSYS Fluent، برای مدلسازی آتش از آن استفاده شده است.

۴-۱- اهداف پژوهش

هدف از این مطالعه، در مرحله اول انتخاب تجهیزات مناسب تهویه تونل علوی بر اساس روش‌های مختلف و استانداردهای معتبر دنیا و انتخاب بهترین آن‌هاست. در این مرحله، برای انتخاب بهتر تجهیزات تهویه، مقایسه‌ای فنی اقتصادی بین انواع جت فن‌های انتخابی صورت خواهد گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از کدهای دینامیک سیالات محاسباتی موجود، جریان به وجود آمده از جت فن‌ها و تاثیر آن‌ها بر دود ناشی از آتش سوزی حاصل از انفجار یک تانکر حاوی سوخت در تونل، شبیه سازی شده و نتایج حاصل از جت فن‌های انتخابی با یکدیگر مقایسه شده است. همچنین تعداد شبکه نیز برای شبیه سازی بهینه سازی شده است.

۱-۵- سابقه تحقیقات

تصادفات فاجعه بار که در سال های ۱۹۹۹ (در کوه های مون بلان^۱ با ۳۹ کشته و تارن^۲ با ۱۲ کشته) و ۲۰۰۱ (گلینالم^۳ با ۸ کشته و سن گوتارد^۴ با ۱۱ کشته) اتفاق افتاد، مساله آتش سوزی در تونل ها را به خبری بسیار مهم در سرتاسر دنیا بدل کرد [۱۰ و ۱۱]. در طی این سال ها، مطالعات و تست های زیادی بر روی مقوله آتش انجام شده است. در ادامه، تعدادی از پروژه های انجام شده در کشورهای اروپایی و آمریکا بیان خواهد شد که هر کدام، مولفه های متفاوتی را در طراحی عملی آتش در تونل ها بدست داده است. نتایج این پروژه ها برای فهم دینامیک آتش در تونل ها جهت ارتقای روش های مقابله و محافظت مقابل آتش سوزی در تونل ها بسیار تاثیر گذار بوده است [۱۲].

۱-۵-۱- پروژه پیشگیری و کنترل آتش در تونل های بزرگراهی^۵

محققان: مدیریت فدرال بزرگراه ها^۶ (ایالات متحده)
در این پروژه ۱۸ پیمانکار از ایالات متحده آمریکا بر روی ۳۵ تونل کار کرده و آن ها را مورد پایش قرار دادند. اطلاعات بدست آمده، برای محاسبه ریسک آتش حاصل از تانکرهای حامل سوخت در تونل های بزرگراهی مورد استفاده قرار گرفت. این پروژه، ریسک تصادفات تریلی های حامل تانکر و ماشین های سنگین^۷ را در تونل های بزرگراهی مطالعه کرده است و نشان داده است که این نوع از وسایل نقلیه، خطرناک ترین و پیش رونده ترین نوع آتش در تونل ها را ایجاد می کند [۱۲].

۱-۵-۲- پروژه ایمن سازی تونل های حمل و نقل

محققان: گروه محققان برنامه همکاری تحقیقاتی حمل و نقل^۸ و برنامه ملی همکاری تحقیقاتی بزرگراه ها^۹
این پروژه به منظور ایجاد دستورالعمل هایی ایمن برای کارفرمایان و سازندگان تونل های حمل و نقلی به وجود آمده است. بدین منظور، یک تیم با تجربه از مهندسان طراح، سازندگان و پرسنل اجرایی با متخصصان ایمنی همکاری کرده تا به سوالات زیر پاسخ دهند:

- تونل ها با کدام خطرهای طبیعی و تهدیدات بین المللی رو به رو هستند؟

1- Mont Blanc

2- Tauern

3- Gleinalm

4- Saint Gotard

5- Prevention of Tunnel Highway Fires

6- Federal Highway Administration (FHWA)

7- Heavy Good Vehicle (HGV)

8- Transit Cooperative Research Program (TCRP)

9- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)

- چگونه این تهدیدات و خطرهای شناخته خواهند شد؟
 - کدام نواحی در تونل پتانسیل آسیب دارند؟
 - چه مقدار عامل اختلال در این نواحی وجود دارد؟
 - چگونه می توان از حادثه آفرینی این خطرهای و تهدیدات جلوگیری کرد؟
 - چگونه می توان آمادگی لازم برای عکس العمل مناسب را هنگام به وقوع پیوستن این تهدیدات کسب کرد؟
- این پروژه دستورالعمل هایی برای محافظت از تونل ها از طریق کمینه کردن پتانسیل آسیب حوادث عظیم تهیه کرده است، به طوری که اگر حادثه رخ دهد، سیستم در مدت زمان کوتاهی بتواند به عملکرد سابق خود بازگردد. در این مطالعه، عملکرد دستورالعمل های ایمنی در تشخیص نقاط ضعف تونل ها در مقابل خطرهای و تهدیدهای متنوع بررسی شده است. همچنین، اقدامات متقابل بالقوه فیزیکی و اجرایی و سیستم یکپارچه قابل اجرا برای دستورات، نظارت، ارتباط و اطلاعات ضروری را کاوش می کند [۱۲].

۱-۵-۳- پروژه سازه های تونلی قابل اطمینان و بادوام^۱

محققان: سرویس اطلاعاتی تحقیق و توسعه اتحادیه اروپا^۲

این پروژه که بین سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ انجام شده است، برای به وجود آوردن روش های عملیاتی و ابزار اجرایی پشتیبانی برای بهترین و فعال ترین فرایند تصمیم گیری صورت گرفته است. تمرکز این پروژه بر روی جمع آوری طراحی های بهینه تونل ها و فرآیند ساخت آن ها با توجه شرایط محیطی، شرایط فنی، هشدارهای ایمنی و طول عمر خدمات است. این روش بر اساس حداقل هزینه چرخه عمر شامل عملیات و نگهداری و با هدف بهینه کردن ایمنی و قابلیت اطمینان، ایجاد بهترین و ایمن ترین محیط برای مصرف کنندگان و همراه داشتن سود برای کارفرمایان و جامعه است [۱۲].

۱-۵-۴- پروژه های سازمان تحقیقات علمی کاربردی آدر اروپا

الف) برنامه پایش بین المللی تکنولوژی^۴

این تیم که متشکل از ۱۱ نفر از گروه های تحقیقاتی مختلف بوده است، برای مطالعه سر فصل های پروژه ایمن سازی تونل های اروپایی که در قسمت قبل توضیح داده شد شکل گرفته و از تونل های کشورهای اروپایی مطرح در زمینه تونل سازی بازدید کردند. هدف این پروژه، بررسی آن چه که در سطح بین المللی تا به حال در زمینه

1- Durable and Reliable Tunnel Structures (DARTS)

2- Community Research and Development Information service (CORDIS)

۳- Organisation for Applied Scientific Research

4- International Technology Scanning Program

سیستم حمل و نقل زیرزمینی و در حوزه زیرزمینی، عملیات و اقدامات ضروری روی داده است، بوده است. تمرکز این پایش بر روی تجهیزات، سیستم ها و اقدامات اعمال شده بر روی تونل های زیرزمینی و زیرآبی توسط مهندسان و طراحان بین المللی بوده است.

این تیم به نتایج گسترده ای در زمینه طراحی خلاقانه و برنامه های مدیریت بحران در زمان بروز حوادث رسیده است. از آن جایی که رانندگان عکس العمل هایی غیر قابل پیش بینی در زمان حادثه دارند، این تیم دستورالعمل هایی تا حد امکان ساده، برای رانندگان، مسافران و اپراتورهای تونل ها تهیه کرده تا بتوانند زمان تصمیم گیری را در زمان حادثه کاهش دهند [۱۲].

ب) UpTun

این پروژه توسط کنسرسیوم ۴۱ عضوه از ۱۹ کشور اروپایی در قالب پنجمین چارچوب برنامه اتحادیه اروپا توسط بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ انجام گرفته است. هدف این پروژه به صورت زیر خلاصه شده است:

- ارتقای تکنولوژی های نوآورانه، با تمرکز بر تکنولوژی در زمینه های تشخیص و نظارت آتش، کاهش شدت حادثه، قدرت پاسخگویی انسانی در زمان بحران و محافظت از آسیب های سازه ای
- خروجی: یک مجموعه از تکنولوژی های مقرون به صرفه
- ارتقا و نمایش روش هایی برای ارزیابی سطح ایمنی شامل مدل هایی برای پشتیبانی تصمیمات و انتقال دانش
- خروجی: یک مدل ارزیابی و ارتقا مبنی بر ریسک [۱۲].

ج) شبکه اروپایی آتش در تونل ها^۱

این شبکه سکویی برای نشر اطلاعات و تحقیقات به روز در زمینه آتش و تونل است. خلاصه این پروژه به شرح زیر بوده است:

- ترکیب نتایج حاصل از پروژه های مختلف جهت ارتقای تاثیر نتایج بر پدیده آتش در سطح اروپا؛
- به وجود آوردن یک پایگاه داده از نتایج بدست آمده در زمینه آتش در تونل؛
- به روز رسانی نظریه ها در زمینه آتش در تونل ها؛
- رسیدن به توافقی در سطح اروپا بر اساس ضوابط ملی، دستورالعمل ها، کد های عملی و ملزومات ایمنی برای طراحی ایمن تونل ها
- تعریف بهترین روش ها در زمینه خدمات اضطراری در زمان آتش سوزی [۱۲].

د) پروژه شبکه ایمنی در تونل ها^۱

این شبکه در حوزه تونل در مه ۲۰۰۳ به وجود آمده و در آوریل ۲۰۰۶ به کار خود پایان داده است. هدف این شبکه، ایجاد دستورالعمل های منسجم برای تصمیم گیری در مورد ایمنی تونل های موجود (در درجه اول راه و سپس ریلی) به وسیله آزمایش، شناسایی، ارزیابی و پیشنهاد بهترین راه های اجرایی جهت پیشگیری از حوادث و تصادفات در تونل های موجود و کاهش عواقب آن ها چه برای افراد و چه برای تجهیزات است تا تونل های راه در اروپا به سطح بالایی از ایمنی برسند [۱۲].

ه) پروژه پیشرفت های حوزه ایمنی در تونل های جاده ای و ریلی با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم گیری گسترده^۲

هدف این پروژه به وجود آوردن و ارزیابی یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری پیش رفته بوده است که با مشکلات ایمنی در تونل ها مقابله کند. همچنین در مواقع ضروری، کنترل شرایط را از طریق این شبکه می توان بدست گرفت. این پروژه قصد دارد تا مدیریت سیار را به وسیله نظارت پیشرفته و سیستم های کنترلی متمرکز بر ایمنی تونل های جاده ای و ریلی که می توانند مدیریت ترافیک شهری و بین شهری را تعدیل کند، بهبود دهد. به طور خلاصه از طریق دستاوردهای این پروژه، ریسک حوادث در تونل ها و میزان مخرب بودن این حوادث در صورت رخ دادن آن ها کاهش داده می شود. همچنین از میزان استرس و فشار موجود بر اپراتورها و شهروندانی که بیش تر از بقیه در معرض این خطرات هستند کاسته می شود. از طرفی، تونل ها و مابقی شبکه های حمل و نقل به طور تعدیل شده مدیریت می شوند و به کارایی زیرساخت های حمل و نقل در دسترس افزوده می شود. با استفاده از این سیستم، زمان کلی آنالیز بحران تا ۱۵ درصد کاهش می یابد. از این سیستم مدیریت یکپارچه، نتنها در مواقع اضطراری بلکه در دیگر وضعیت های خاص از جمله ازدحام و ترافیک شدید، عملیات های تعمیراتی و ... می توان استفاده کرد [۱۲].

و) پروژه آتش مجازی^۳

این پروژه در سال ۲۰۰۱ آغاز شده و سه سال به طول انجامیده است و هشت عضو از پنج کشور اروپایی در آن سهیم بوده اند.

در این پروژه یک شبیه ساز کامپیوتری ساخته شده است که به وسیله آن به آتش نشانان کمک می شود تا روش های موثر اطفای حریق را بیاموزند. این روش به علت هزینه پایین تر و سازگاری بیشتر با محیط، می تواند

1- Safety in Tunnels Thematic Network (Safe-T)

2- Safety Improvement in Road & Rail Tunnels using an Advanced Intensive Decision Support System (SIRTAKI)

3- Virtual Fires

جایگزین مانورهای واقعی آتش نشانی شود. این شبیه ساز همچنین در آزمایش ایمنی حین آتش سوزی در تونل و تاثیر اقدامات کاهنده از جمله تهویه، تجهیزات اطفای حریق و ... استفاده می شود [۱۲].

ز) پروژه تونل امن^۱

هدف از این پروژه، کاهش تعداد تصادفات داخل تونل های جاده ای از طریق اقدامات پیشگیرانه ایمنی است. تمرکز این پروژه بر روی کاهش چشم گیر حوادث آتش سوزی است که علی رغم آن که به ندرت اتفاق می افتند جدی ترین خطر تهدید کننده ایمنی در تونل ها است. هدف این پروژه در این راستا آن است که اقدامات لازم برای کاهش حادثه های ناشی از ماشین های سنگین را تا ۴۰ درصد در تونل فریجس^۲ در طی ۱۰ سال انجام شود و همچنین تکرار حوادث آتش سوزی در تونل ها را در طی ۶ سال، ۵۰ درصد کاهش دهد. بدین منظور گیرنده هایی بر روی وسایل نقلیه نصب شده تا عملکرد وسایل نقلیه را نظارت کرده و آنومالی های ثبت شده را پیش بینی کند و یا تشخیص دهند و در نهایت این داده ها به مرکز کنترل انتقال داده شده و توسط اپراتور تونل به وسیله یک شبکه عمومی ارتباطات مخابراتی مدیریت شود. در این راستا، یک مرکز کنترل ایجاد شده تا داده های انتقال یافته از وسایل نقلیه سنگین مجهز یا سیستم های الکترونیکی زیرساختی را دریافت و پردازش کند. در این پروژه، یک سیستم نشان گر حرارتی برای شناسایی خودروهایی که بیش از حد گرم شده قبل از ورود به تونل راه انداز شده است. این دروازه حرارتی قادر به عکس برداری، پردازش تصویری برای تشخیص نقاط حرارتی، اعمال هشدار هنگام رسیدن نقاط حرارتی به حد آستانه و متوقف کردن خودروی مورد نظر است [۱۲].

ح) برنامه ارزیابی تونل های اروپایی^۳

هدف این پروژه، ارزیابی ایمنی تونل های اروپایی ساخته شده تا کنون که توسط چک لیستی که از سال ۱۹۹۹ تاکنون به روزرسانی شده است، انجام می شود. از سال ۲۰۰۴، این پروژه حدود ۱۴۴ تونل را ارزیابی کرده است [۱۲].

ط) پروژه ایمنی حیات در تونل ها^۴

در این پروژه که توسط دولت آلمان حمایت می شود، بیش از ۵۰ آزمایش بزرگ مقیاس انجام شده است و با برون یابی داده های حاصل ۱ نتایج آزمایشات آتش در حالت آزاد، محققان محاسبه کردند که میزان نرخ آتش

1- Safe Tunnel

2- Frejus

3- EuroTAP

4- Safety of Life in Tunnel (SOLIT)

سوزی یک وسیله نقلیه سنگین می تواند تا ۱۸۰ MW پیش رود. مطالعات نشان دادند که سیستم پایش آب و رطوبت می تواند نرخ آزادسازی حرارت^۱ را ۲۰ الی ۵۰ MW کاهش دهد [۱۲].

ی) تحقیقات بزرگ مقیاس در زمینه ایمنی و امنیت^۲

هدف از این پروژه، مطالعه ایمنی در محیط های زیرزمینی بسته با رویکرد آتش در تونل ها است که از مارس ۲۰۰۵ تا مه ۲۰۰۸ ادامه داشته است. این پروژه به عنوان یک طراحی در قالب ششمین برنامه چارچوب اتحادیه اروپا بوده و شامل همکاری ۵ موسسه پیش رو در زمینه ایمنی و امنیت فضاهاى زیرزمینی در سوییس، سوئد، آلمان، هلند و فرانسه است [۱۲].

ک) EGSISTES

این پروژه یک پروژه فرانسوی بوده که بودجه آن از سوی آژانس ملی تحقیقات^۳ این کشور تامین می شود و مربوط به ارتقای ذاتی ایمنی سیستم های حمل و نقل زیرزمینی می شود. این پروژه از ژانویه ۲۰۰۷ تا ژانویه ۲۰۱۰ به طول انجامید و شامل سه بسته کاری زیر بوده است:

- آنالیز آسیب پذیری: آنالیز ریسک و تهدید تصادفات؛
- افزایش آگاهی و به وجود آوردن مدلی برای ارزیابی تاثیرات از طریق روش تجربی (آتش سوزی، انفجار و نشت گاز) و شبیه سازی عددی (ابزار عددی یک بعدی و سه بعدی)؛
- ارتقای ظرفیت ابزارهای موجود [۱۲].

۱-۵-۵) مطالعات انجام شده در زمینه شبیه سازی آتش

جدا از پروژه های انجام شده در زمینه ایمنی در تونل ها، تحقیقات بسیاری به طور خاص بر روی رفتار آتش و دود حاصل از آن در تونل های راه و بهینه سازی سیستم های تهویه بدین منظور انجام شده است.

بارباتو^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۴، مروری مفصل بر ارزیابی ایمنی در زمان آتش سوزی در تونل های دارای تهویه طولی داشته اند. با توجه به این مطالعه، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، پس از به وقوع پیوستن تعداد زیادی از تصادفات فاجعه بار در تونل های راه و ایجاد آتش سوزی های زیان بار، رواج یافت. محققان بر روی زمینه های مختلفی در این زمینه کار کرده اند، از جمله: ابزارهای عددی به عنوان نشان گر عملکرد سیستم های تهویه، تاثیر این عملکرد بر روی جریان حرکت هوا در تونل و یا روش هایی برای به تصویر کشیدن ایمنی،

1- Heat Release Rate (HRR)

2- Large Scale Underground Research Facility on Safety and Security (L-SURF)

3- The French National Research Agency

4- Barbato

توصیف مشخصات دود ناشی از آتش، مدل های جریان مغشوش و باریاتو در این مقاله از عقب زدگی^۱ به عنوان یک عامل اصلی که می بایست در محاسبات ایمنی هنگام وقوع آتش سوزی در نظر گرفته شود، یاد می کند. بر این اساس، یک سیستم تهویه مناسب می بایست سرعت کافی به جریان هوا بدهد تا از این واقعه جلوگیری کند. در این مقاله، روش های عددی و شبیه سازی در موارد متعدد ارائه شده و سپس یک بررسی اجمالی در خصوص فرمول های مختلف سرعت بحرانی تهویه انجام شده است. این تنوع وسیع در این زمینه به دلیل پراکندگی فاکتورهای موثر در پدیده عقب زدگی لایه دود و دشواری مرتبط ساختن تمامی این فاکتورها در یک رابطه واحد است [۱۳].

مودیچ^۲ نیز پیش از این، بیان می کند که هنگام آتش سوزی و پخش شدن دود، اگر یک جریان هوای قوی تولید نشده و به جریان نیفتد، گازهای با دمای بالا و دود در تمام جهات به حرکت می افتند. در نتیجه، یک جریان هوای ضعیف، یک لایه دود در طول سقف تونل ایجاد می کند که می تواند بر خلاف جهت تهویه تونل نیز پیش برود و با جهت جریان تخلیه افراد تداخل پیدا کند. در مقاله مودیچ، نتایج در قالب سرعت هوا، دمای هوا و دیواره ها در زمان آتش سوزی استخراج شده است [۱۴].

نتایج بدست آمده در پژوهشی دیگر، تحت عنوان پروژه یورکا^۳ که ۹ کشور در آن همکاری کردند و طی آن ۲۰ تست بین سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲ انجام شد و از سال ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵ ارزیابی شد، مبنای بررسی بین المللی مفاهیم ایمنی آتش در تونل ها را شکل داد [۱۵].

در پژوهشی دیگر، دو^۴ و همکارانش، بر روی نقش سرعت بحرانی در جلوگیری از عقب زدگی لایه دود در تونل های شیب دار با استفاده از سیستم تهویه طولی مطالعه کرده اند. در این پژوهش، اندازه سرعت بحرانی به طور گسترده مطالعه شده است و آنالیزهای تئوری و شبیه سازی های عددی برای مطالعه نیروی پیش ران لازم برای رسیدن به سرعت بحرانی در تونل های سرازیر انجام شده است. آن ها در این مطالعه با استفاده از مدل های تئوری نشان داده اند که محل منبع رانش جریان هوا تاثیر به سزایی بر روی شرایط رسیدن به سرعت بحرانی دارد [۱۶].

کوللا^۵ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، یک روش چند مقیاسه برای مدل سازی جریان تهویه و آتش در تونل ها به وجود آوردند که در آن کد های دینامیک سیالات محاسباتی را با یک مدل شبکه ای یگ بعدی ترکیب کرده و اجازه استفاده منطقی تر منابع کامپیوتری را بدون کم شدن دقت و صحت آن داده اند. شبکه یک بعدی قسمت

1- Backlayering

2- Jurij Modic

3- EUREKA

4- Tao Du

5- Francesco Colella

هایی از تونل را که جریان در آن به صورت کامل رشد کرده مدل سازی می کند. این در حالی ست که دینامیک سیالات محاسباتی قسمت هایی که جریان نیاز به حل سه بعدی دارد را مدل سازی می کند. در مقایسه با دینامیک سیالات محاسباتی، این روش چند مقیاسه، زمان محاسبه مدل را بدون آنکه دقت مدل به طرز قابل توجهی کم شود، تا ۴۰ برابر کاهش داده است. در این پژوهش، سناریوهای متفاوت برای محاسبه زمان رسیدن به سرعت بحرانی و از بین بردن عقب زدگی لایه دود در بالادست بررسی شده است. هنگامی که هزینه ای محاسباتی برای شبیه سازی جریان در تونل های طولانی بسیار محدود کننده می شوند، این روش چند مقیاسه می تواند منعطف ترین ابزار شبیه سازی اینگونه تونل ها باشد [۱۷].

ونگ^۱ و همکارانش پیچیدگی مکانیسم آتش را در تونل به علت تاثیر گذاری پارامترهای دینامیک آتش (جریان مغشوش، احتراق، تشعشع و ...) و هندسه تونل (شکل تونل، هندسه و آرایش قرارگیری وسایل نقلیه و ...) بر یکدیگر می دانند. آن ها طی یک پژوهش، بر رفتار آتش در تونل های دارای انحنا تمرکز کرده اند، چرا که بسیاری از تونل های جاده ای به دلیل محدودیت های توپوگرافیک به صورت انحنا دار در سطح افق ساخته می شوند. آن ها به این نتیجه رسیده اند که سرعت بحرانی لازم در مورد آتشی که در کنار دیواره محدب یک تونل دارای انحنای با شعاع ۶۰۰ متر رخ می دهد، ۱۶ درصد بیشتر از آتشی ست که در مرکز مقطع همان تونل اتفاق می افتد. بر اساس مشاهدات آن ها، سرعت بحرانی به مقدار اندکی با انحنای تونل تغییر می کند. برای مثال، سرعت بحرانی در تونلی با شعاع انحنای ۴۰۰ متری، ۷ درصد بیشتر از تونل های مستقیم است. آن ها بر این باورند که این امر می تواند به دلیل آن باشد که سرعت جریان هوا در نزدیکی دیواره های محدب در تونل های دارای انحنا کمتر است و این مقدار با بزرگتر شدن شعاع انحنا، کمتر می شود. در نتیجه برای آتشی که در نزدیکی دیواره تونل های این چنینی رخ می دهد، دمای دود در سقف تونل بیشتر است و به همین دلیل، سرعت تهویه تونل برای جلوگیری از عقب زدگی لایه دود در تونل های دارای انحنا می بایست بیشتر باشد. در این پژوهش، سه نظام برای اندازه طول عقب زدگی لایه دود در نظر گرفته شده است: اول، برای آتش هایی که در نزدیکی دیواره تونل اتفاق می افتند، طول عقب زدگی لایه دود به آرامی افزایش می یابد و اگر سرعت جریان هوا کمتر از سرعت بحرانی باشد، این طول عقب زدگی با سرعت بیشتری افزایش می یابد. دوم، با دور شدن آتش از دیواره ها، طول عقب زدگی با نرخ پایینی افزایش می یابد. طول عقب زدگی در این شرایط در کوتاه ترین حالت ممکن خواهد بود. در حالت سوم، یک آتش سوزی در باند وسط همراه با یک آتش سوزی در نزدیکی دیواره رخ می دهد. در این حالت افزایش طول عقب زدگی بسیار سریع خواهد بود و به طور قابل توجهی با کم شدن شعاع انحنا تونل در شرایط مساوی سرعت هوا، افزایش می یابد [۱۸].

یکی دیگر از تحقیقات انجام شده در این زمینه، تاثیر استفاده از جت فن هایی با قابلیت تنظیم زاویه قرار گیره نسبت به کف تونل در ایجاد تغییرات دمایی در تونل بوده است که در سال ۲۰۱۰ توسط بتا^۱ و همکارانش صورت گرفته است. آن ها در این تحقیق، عملکرد دینامیک سیالاتی سیستم های تهویه طولی که در آن ها از جت فن های بنانا^۲ که قابلیت تغییر زاویه دهانه خروجی و ورودی نسبت به زمین را دارند، اسفاده شده است را با سیستم تهویه طولی با استفاده از جت فن های مرسوم مقایسه کرده است. در هر دو حالت یک سیل حرارتی بر روی یک وسیله نقلیه سنگین و دارای شعله گرمایی در نظر گرفته شده و جریان تونل با استفاده از مدل k-ε شبیه سازی شده است و نتایج نشان دهنده تاثیر وجود زاویه قرار گیری (α) بر ایجاد دمای پایین تر در تونل است [۱۹].

۱-۶) سازمان دهی پایان نامه

با توجه به آن چه تاکنون گفته شد، در فصل دوم، ابتدا تونل علوی واقع در شهرک رجایی در نزدیکی بندرعباس، استان هرمزگان معرفی شده و مشخصات هندسی و ترافیکی این تونل به صورت کامل توضیح داده خواهد شد. در فصل سوم، لزوم استفاده از تهویه مکانیکی در این تونل بررسی شده و سپس مقدار شدت جریان لازم برای تهویه تونل با استفاده از روش های مختلف محاسبه شده است. در ادامه، افت فشار لازم برای تهویه تونل محاسبه شده و روش تهیه و تعداد جت فن ها و نوع آن ها انتخاب شده است. در فصل آخر، با در نظر گرفتن یک سناریو آتش در تونل، جریان به وجود آمده از جت فن ها با استفاده از کد دینامیک سیالات محاسباتی شبیه سازی شده و نتایج ارائه شده است.

1- V. Betta

2- Banana Jet

۲

فصل دوم

معرفی تونل علوی

۲-۱- مقدمه

تونل علوی به طول ۱۹۱۴ متر در بخش غرب - شمال غرب شهر بندرعباس و شمال - شمال غرب بندر شهید رجایی واقع شده است. مختصات دهانه ورودی و خروجی تونل در سیستم UTM^۱ در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

جدول ۲-۱- مختصات دهانه ورودی و خروجی تونل علوی در سیستم UTM [۲۰]

دهانه خروجی		دهانه ورودی	
X	Y	X	Y
۴۰۱۵۱۹	۳۰۰۶۷۸۴	۴۰۰۴۵۶	۳۰۰۸۳۶۳

مهمترین راه دسترسی به تونل علوی، استفاده از جاده ارتباطی شهر بندرعباس به بندر شهید رجایی و راه های منتهی به شهرک صنعتی است (شکل ۲-۱).

این تونل جهت عبور دو خط رفت و برگشت به عرض ۳/۶۵ متر در نظر گرفته شده است و به دلیل محدودیت های زمانی و طول بلند، تونل از دو طرف حفر شده است. ورودی در ارتفاع ۵۱ متر از سطح دریا و خروجی آن در ارتفاع ۸۵ متر از سطح دریا قرار دارد. طول تونل ۱۹۱۴ متر بوده و سطح مقطع آن ۶۵/۶ متر مربع است. همچنین شیب آن برابر با ۱/۷ درصد است.

۲-۲- اقلیم و آب و هوای منطقه مورد مطالعه

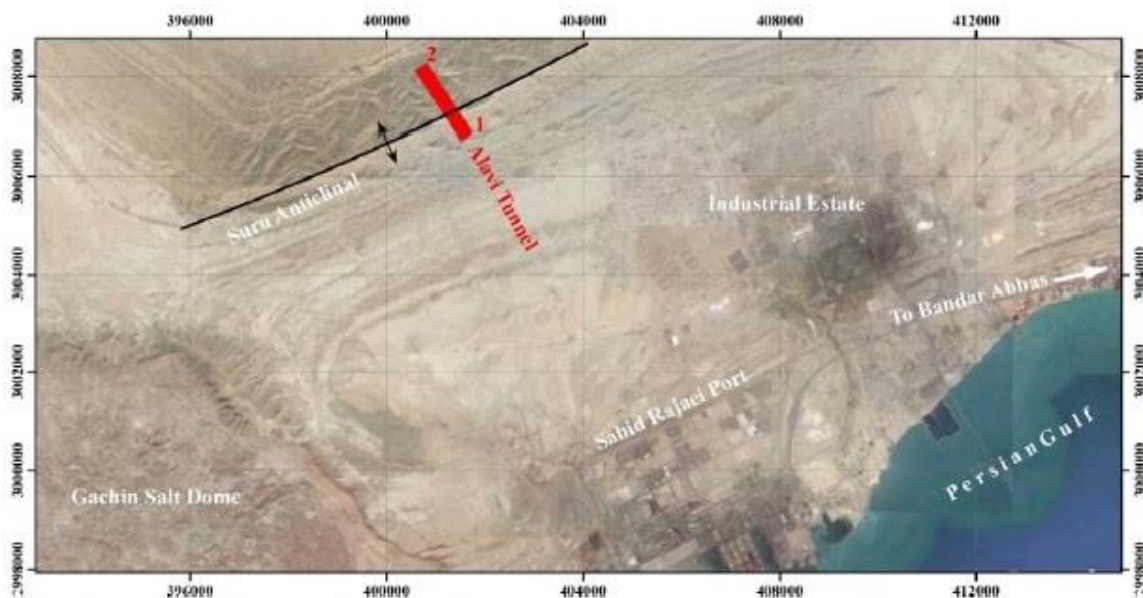
از آن جا که گستره مورد مطالعه در استان هرمزگان و در مجاورت شهر بندرعباس قرار گرفته است، آب هوای این منطقه در این بخش مطالعه خواهد شد.

۲-۲-۱- استان هرمزگان

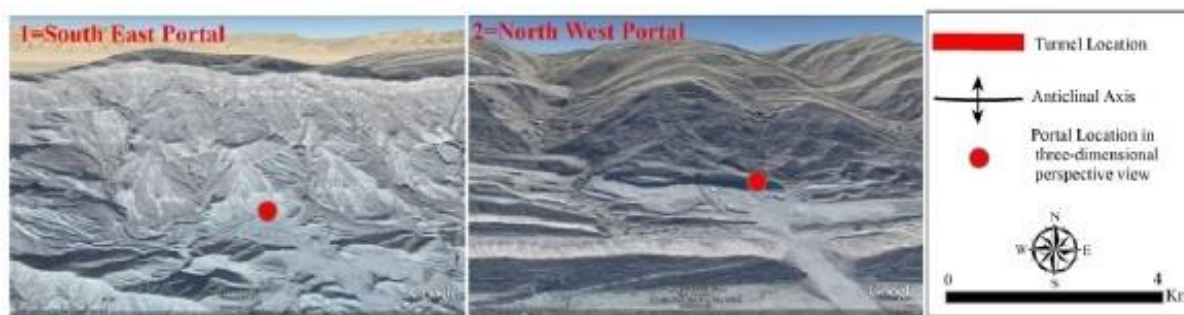
این استان از مناطق گرم و خشک ایران است و به طور کلی آب و هوای این استان تحت تاثیر آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی قرار دارد. دمای متوسط سالانه این منطقه در حدود ۲۷ درجه سانتیگراد است و رطوبت نسبی آن حداقل به ۱۹ درصد و حداکثر به ۱۰۰ درصد می رسد. مقدار متوسط بارندگی سالانه ۲۱۵/۸ میلی متر است. در این منطقه در حدود ۹ ماه از سال، بارندگی قابل توجهی صورت نمی گیرد و قسمت عمده بارندگی نیز در یک یا دو نوبت انجام می شود و در همان موارد هم اغلب به صورت باران های بهاری سیل آسا می باشد که سبب خسارت می شود [۲۱].

1- Universal Transverse Mercator

هوای این استان در سردترین روزهای زمستانی از ۱۰ درجه سانتی گراد بالای صفر پایین تر نمی آید. تابستان های گرم و زمستان های معتدل از ویژگی های آب و هوای استان هرمزگان بوده و گاهی نیز دمای هوا از ۵۲ درجه سانتیگراد تجاوز می کند. دمای متوسط سالانه این استان در حدود ۲۷ درجه سانتیگراد است [۲۱].



شکل ۱-۲- الف) موقعیت جغرافیایی تونل نسبت به بندر شهید رجایی و بندرعباس [۲۰]



شکل ۱-۲- ب) نمای سه بعدی از ورودی (۲) و خروجی (۱) [۲۰]

۲-۳- مشخصات هندسی و فنی تونل

۲-۳-۱- هندسه تونل

تونل علوی برای یک خط عبوری رفت و یک خط عبوری برگشت هر کدام به عرض ۳/۶۵ متر در نظر گرفته شده است. مقطع تیپ تونل در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. شکل هندسی مقطع تیپ (مقطع داخلی)، از قوسی دایره ای به شعاع ۵/۰۰ متر در بخش فوقانی و دیواره های طرفین تونل به ارتفاع ۲/۷ متر از سطح آسفالت (به صورت یک قوس با انحنای کم و شعاع ۲۱/۴ متر) تشکیل شده است. همچنین در فاصله های تقریباً ۵۰۰ متری، فضایی به عنوان پارکینگ در نظر گرفته شده است. پارکینگ های تونل هر کدام به طول ۵۰ متر بوده که

در هر یک، تونل به اندازه یک خط عبوری (۳/۶۵ متر) عریض تر شده و کمی نیز به ارتفاع تونل اضافه می شود. هر دو پارکینگ خط رفت و برگشت به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر احداث شده اند و در کل ۴ پارکینگ در تونل وجود داشته که دو پارکینگ در خط رفت و دو پارکینگ در خط برگشت قرار دارد. . مقطع پارکینگ تونل در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. سطح مقطع تونل و پارکینگ آن به ترتیب برابر با ۶۵/۶ و ۱۰۶/۵ متر مربع و محیط سطح مقطع مفید تونل و پارکینگ نیز به ترتیب برابر با ۳۱ و ۴۰/۱۴ متر است.

۲-۳-۲- زهکشی

تونل علوی در سطحی بالاتر از سطح آب زیرزمینی ساخته شده و محیط در بردارنده تونل کاملاً خشک است. ولی پیش بینی می شود که امکان دارد آب های نفوذی بطور موضعی در زمان حفاری و اجرای پوشش اولیه توسط بارندگی ها به مقدار بسیار کم به تونل نفوذ نماید. بنابراین آب های نفوذی پشت پوشش اولیه در زمان بهره برداری توسط لوله های تعبیه شده در این پوشش و پوشش نهایی به کانال های کناری تونل منتقل و از تونل خارج می گردد (شکل ۲-۲).

۲-۳-۳- اجرای عایق بندی

بررسی های اولیه نشان می دهد که امکان نفوذ آب با حجم قابل ملاحظه به داخل تونل محتمل نیست، تنها ممکن است بخشی از دیواره تونل در زمان بهره برداری مرطوب گردد. بنابراین تونل علوی نیازی به اجرای لایه عایق بندی ندارد.

۲-۴- اجرا و ساخت تونل

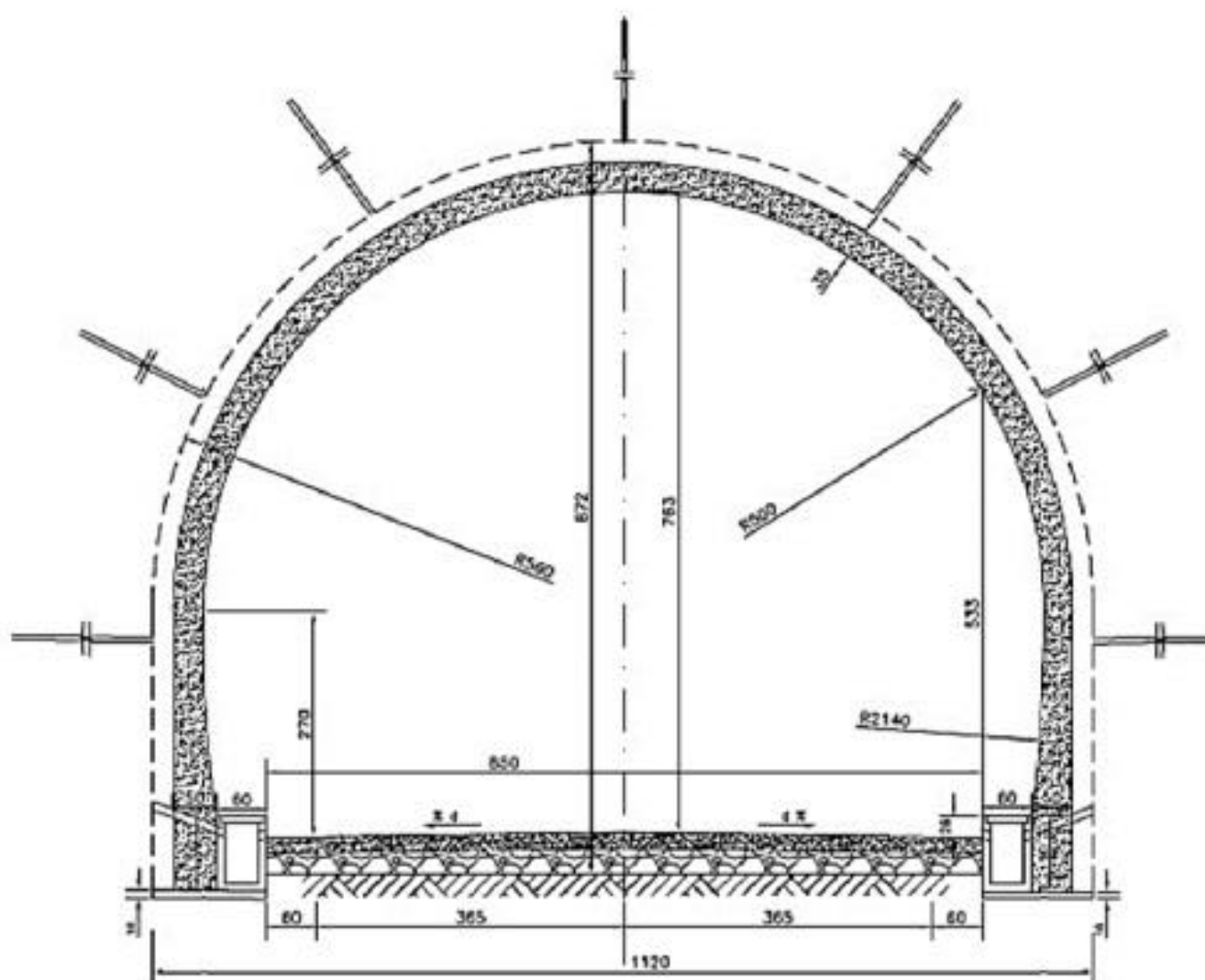
۲-۴-۱- راه های دسترسی

عملیات احداث تونل با ساخت راه دسترسی به محل دهانه ها و ترانشه های ورودی و خروجی شروع شده و بعد از آن، عملیات حفاری ترانشه ها انجام شده است. حفاری ترانشه ها با توجه به جنس زمین با استفاده از بولدوزر و لودر، در بعضی موارد و در صورت لزوم برای دیواره ها با استفاده از بیل مکانیکی و در حالت خاص با انفجار کنترل شده انجام شده است [۲۰].

۲-۴-۲- ساخت تونل

مقطع تونل علوی به صورت دو مرحله ای حفر شده است. در هر مرحله از حفاری پوشش مشخص شده در کمترین زمان ممکن به کار برده می شود. ابتدا یک لایه ۳ سانتی متری از شاتکریت بر روی جداره حفر شده

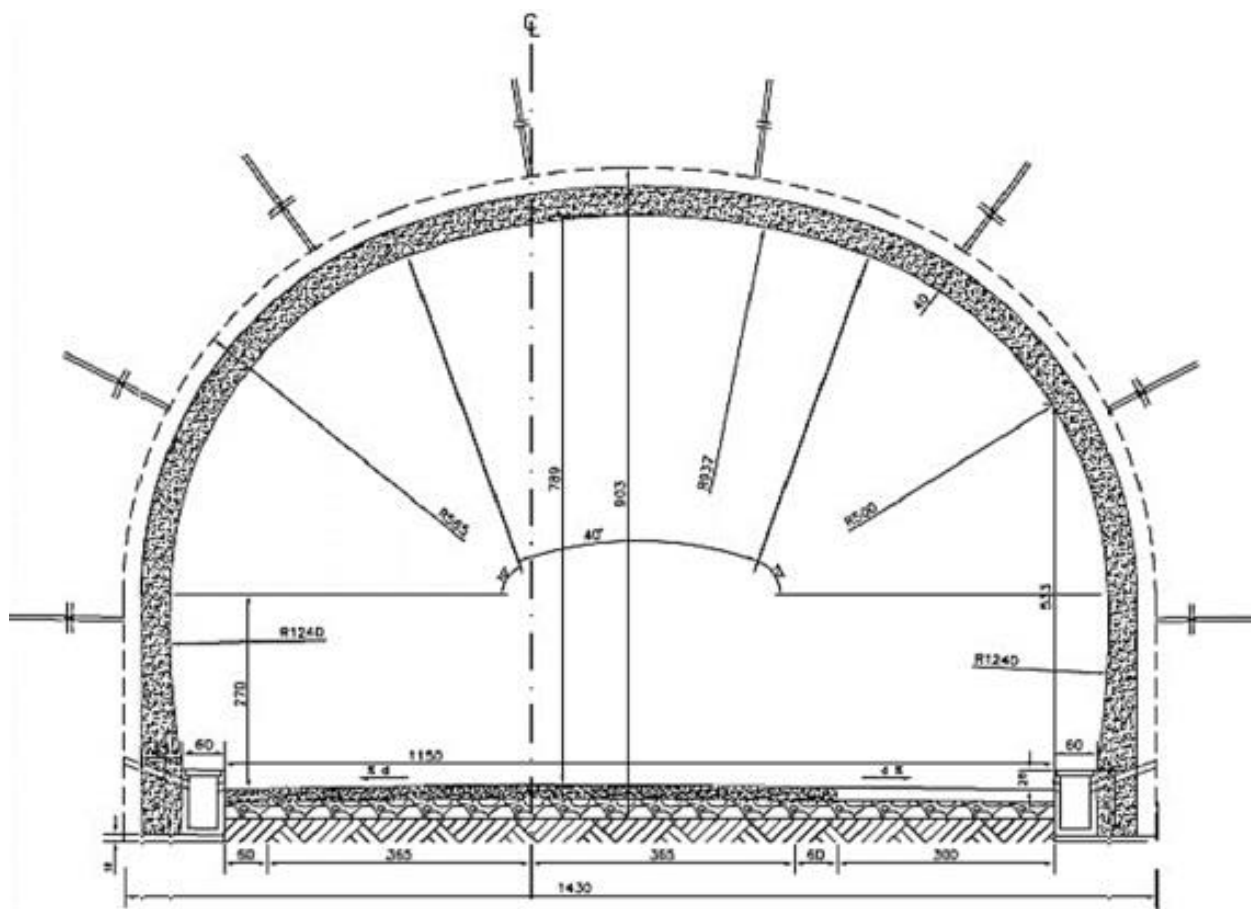
پاشیده می شود. سپس مش لایه اول با میلگردهای کوتاه طراحی شده^۱ روی دیواره نصب می شوند. در مرحله بعد، قطعات از قبل آماده شده قاب فولادی در محل نصب شده و با میلگردهای مخصوص^۲ به قاب نصب شده قبلی متصل می شوند. ابتدا و انتهای هر قطعه از قاب با یک صفحه ستون و با چهار سوراخ برای پیچ شدن به یکدیگر و شالوده بتنی تجهیز شده است. این بلوک های بتنی پس از حفر مرحله بعدی تونل برداشته شده و با قطعه بعدی قاب فولادی جایگزین می شوند. بعد از نصب قاب فولادی، نوبت به نصب لایه دوم مش و اجرای مابقی ضخامت شاتکریت می رسد. در این مرحله تیر آهن و مش به طور کامل داخل شاتکریت نهایی مدفون شده و قابل مشاهده نیست.



شکل ۲-۲- مقطع تیپ تونل علوی [۲۰]

^۱- Fixing Bolt

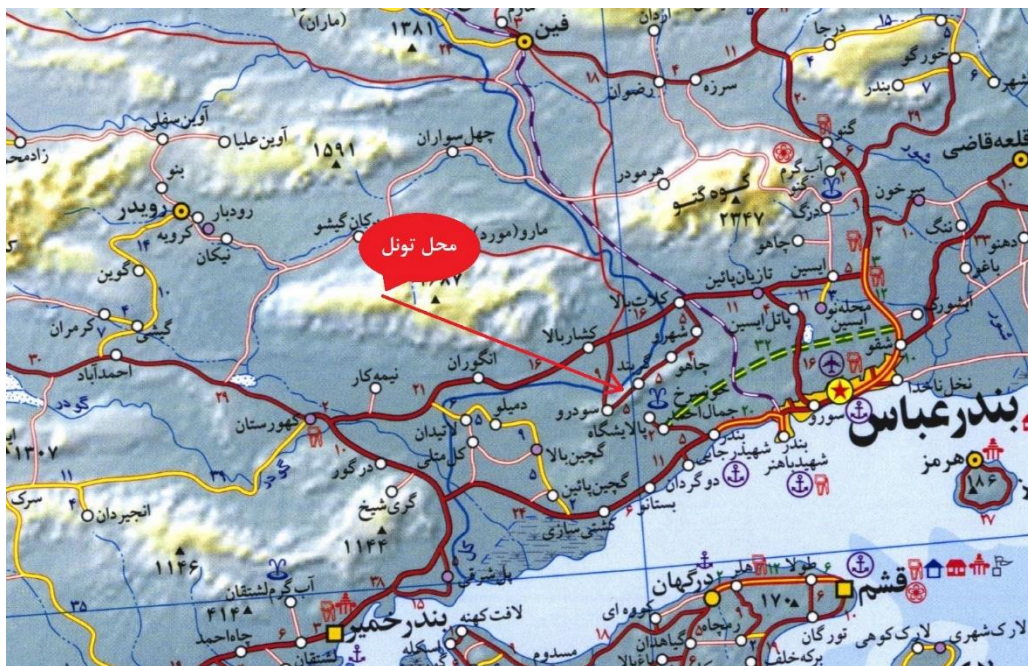
^۲- Bracing Bar



شکل ۲-۳- مقطع پارکینگ تونل علوی [۲۰]

۲-۵- وضعیت ترافیکی در تونل علوی

یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم تهویه تونل در کنار طول، سطح مقطع و وضعیت جغرافیایی تونل، وضعیت ترافیکی تونل است. به منظور تعیین آمار ترافیکی تونل علوی، ترافیک محورهای لار - بندرعباس، لار - بندر شهید رجایی، بزرگراه شیراز - فسا - بندرعباس و بزرگراه شهید رجایی و همچنین سفرهای تولید شده از شهرک علوی در نظر گرفته شده است. شکل ۲-۴ نمایی از محورهای ورودی و خروجی به تونل شهرک علوی را نشان می دهد [۲۲].



شکل ۲-۴- مسیر تونل علوی و ارتباط آن با مسیرهای اطراف [۲۲]

۲-۵-۱- ترافیک محورهای تاثیرگذار

در جداول ۲-۲ الی ۲-۴، آمار ترافیک برداشت شده در سه محور لار - بندرعباس، حاجی آباد - بندرعباس و ایسین - دشت امام آورده شده است.

جدول ۲-۲- میزان تردد روزانه محور لار (سه راهی بستک) - بندرعباس (سه راهی کهورستان) [۲۲]

نام محور	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	میانگین
لار (سه راهی بستک) - بندرعباس (سه راهی کهورستان)	۲۱۵۶	۲۵۱۴	۳۲۵۷	۲۸۴۸	۲۶۹۴
بندرعباس (سهراهی کهورستان) - لار (سه راهی بستک)	۲۳۸۶	۲۷۰۴	۳۵۲۸	۳۰۸۹	۲۹۲۷
جمع کل	۴۵۴۲	۵۲۱۸	۶۷۸۵	۵۹۳۷	۵۶۲۱

جدول ۲-۳- میزان تردد روزانه محور حاجی آباد (فین) - بندرعباس (دشت امام) [۲۲]

نام محور	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	میانگین
حاجی آباد (فین) - بندرعباس (دشت امام)	۴۷۰۶	۵۰۷۷	۱۵۷۸۴	۷۸۹۳	۸۳۶۸
بندرعباس (دشت امام) - حاجی آباد (فین)	۶۴۴۴	۴۴۸۰	۳۷۶۵	۷۰۳۶	۵۴۳۲
جمع کل	۱۱۱۵۰	۹۵۵۷	۱۹۵۴۹	۱۴۹۲۹	۱۳۷۹۷

برای محور ایسین - دشت امام به دلیل عدم وجود اطلاعات سال های قبل، از اطلاعات ۴ ماه آخر موجود سال ۹۴ استفاده شده است [۲۲].

جدول ۲-۴- میزان تردد روزانه محور ایسین - دشت امام [۲۲]

نام محور	مرداد ۹۴	شهریور ۹۴	مهر ۹۴	آبان ۹۴	میانگین
ایسین-دشت امام	۳۵۰۲	۳۹۵۷	۴۱۳۶	۳۹۵۹	۳۶۱۱
دشت امام-ایسین	۴۰۲۳	۴۰۹۳	۲۵۲۸	۴۴۴۳	۳۴۳۴
جمع کل	۷۵۲۵	۸۰۵۰	۶۶۶۴	۸۴۰۲	۷۰۴۵

۲-۵-۲- میزان ترافیک تونل

از آن جایی که آماری از ترافیک محور کهورستان - ایسین در دست نیست، پیش بینی ترافیک تونل نیاز به تقریب زیادی دارد. ترافیک محورهای تاثیرگذار بر تونل شامل (جدول ۲-۵ تا ۲-۷) [۲۲]:

- ترافیک محور لار - قشم - بندرعباس است که فرض شده ۱۰ درصد این ترافیک جذب تونل می شود، ترافیک ؛

- ترافیک محور حاجی آباد - بندرعباس که فرض شده است ترافیکی از سمت آن جذب تونل نمی شود؛

- ترافیک محور ایسین - دشت امام که فرض شده است ۱۰ درصد از این ترافیک جذب تونل می شود؛

- ترافیک جذب شده از شهرک علوی که در حدود ۵ دستگاه اتوبوس، ۵ دستگاه مینی بوس و ۲۰۷ دستگاه سواری فرض شده است.

جدول ۲-۵- ترافیک جذب شده برای تونل در سال ۱۳۹۴ [۲۲]

نام محور	نام محوری که ترافیک از آن جذب شده است	ترافیک متوسط روزانه (ADT)
شهرک علوی - بندرعباس	لار (سه راهی بستک)-بندرعباس (سه راهی کهورستان)	۲۸۵
	ایسین - دشت امام	۳۹۶
بندرعباس - شهرک علوی	بندرعباس (سه راهی کهورستان)-لار (سه راهی بستک)	۳۰۹
	دشت امام - ایسین	۴۴۵
جمع کل		۱۴۳۵

جدول ۲-۶- ترافیک جذب شده از مراکز جمعیتی در سال ۱۳۹۵ [۲۲]

نام محور	نام محوری که ترافیک از آن جذب شده است	ترافیک متوسط روزانه (ADT)
شهرک علوی - بندرعباس	شهرک علوی	۱۰۹
	روستاهای اطراف	۱۰۸
بندرعباس - شهرک علوی	شهرک علوی	۱۰۹
	روستاهای اطراف	۱۰۹
جمع کل		۴۳۴

جدول ۲-۷- ترافیک تونل در سال ۱۳۹۵ [۲۲]

نام محور	ترافیک متوسط روزانه (ADT)
شهرک علوی - بندر عباس	۹۲۶
بندر عباس - شهرک علوی	۱۰۰۱
جمع کل	۱۹۲۷

شناسه های ترافیک محور مورد نظر که می بایست برای تخمین حجم ترافیک در محور مورد مطالعه تعیین شود شامل موارد زیر است:

الف) ضریب رشد ترافیک با استفاده از آمار

ضریب رشد ترافیک برای سال های ۹۰-۹۱، ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳ محورهای مورد مطالعه در جدول های زیر آورده شده است.

جدول ۲-۸- ضریب رشد محور لار - بندرعباس [۲۲]

نام محور	درصد ضریب رشد ۹۰-۹۱	درصد ضریب رشد ۹۱-۹۲	درصد ضریب رشد ۹۲-۹۳	میانگین
لار - بندرعباس	۱۶/۶۰	۲۹/۵۵	-۱۲/۵۵	۱۱/۲۰
بندرعباس - لار	۱۳/۳۲	۳۰/۴۷	-۱۲/۴۴	۱۰/۴۵

جدول ۲-۹- ضریب رشد محور حاجی آباد - بندرعباس [۲۲]

نام محور	درصد ضریب رشد ۹۰-۹۱	درصد ضریب رشد ۹۱-۹۲	درصد ضریب رشد ۹۲-۹۳	میانگین
حاجی آباد - بندرعباس	۷/۸۸	۲۱۰/۸۹	-۴۹/۹۹	۵۶/۲۶
بندرعباس - حاجی آباد	-۳۰/۴۷	-۱۵/۹۵	۸۶/۸۷	۱۳/۴۸

جدول ۲-۱۰- ضریب رشد محور ایسین - دشت امام [۲۲]

نام محور	درصد ضریب رشد مرداد-شهریور	درصد ضریب رشد شهریور-مهر	درصد ضریب رشد مهر-آبان	میانگین
ایسین - دشت امام	۱۲/۹۹	۴/۵۲	-۴/۲۷	۴/۴۱
دشت امام - ایسین	۱/۷۳	-۳۸/۲۳	۷۵/۷۵	۱۳/۰۸

از آنجایی که ترافیک های یاد شده دارای نوسانات غیر منظم هستند، لذا نمی توان به ضریب رشد بدست آمده اطمینان کرد. روش های کلاسیک پیش بینی ترافیک در کشورهایی استفاده می شود که صنعت حمل و نقل دارای رشد قابل توجهی بوده و کشور از ثبات اقتصادی برخوردار باشد. هرگونه رشدی در حمل و نقل، ناشی از افزایش تولید ناخالص ملی است که بالطبع میزان نوسان این رشد زیاد نیست. با توجه به مطالب یاد شده، میزان رشد برای دوره طرح ۴ درصد در نظر گرفته می شود. آمار ترافیک سال ۱۳۹۵ نیز به عنوان ترافیک مبنای محاسبات در نظر گرفته شده است [۲۲].

ب) پیش بینی ترافیک در سال های دوره طرح

با استفاده از تردد منطقه و اعمال ضریب رشد به آن، تردد در اصل اول بهره برداری که سال ۱۳۹۶ در نظر گرفته شده است و سال های دوران طرح بدست می آید.

میزان ترافیک عبوری روزانه در سال ۹۵ برابر با ۱۹۲۷ دستگاه خودرو بوده که با اعمال ضریب رشد ۴ درصد، برای سال ۹۶، ترافیک روزانه عبوری برابر با ۲۰۰۵ دستگاه خودرو خواهد شد. جدول ۲-۱۱ مجموع ترافیک روزانه رفت و برگشت پیش بینی شده محور را طی دوران طرح نشان می دهد. [۲۲]

جدول ۲-۱۱- میزان ترافیک روزانه عبوری از مسیر در دوره طرح [۲۲]

سال	ADT	سال	ADT	سال	ADT	سال	ADT
۱۳۹۶	۲۰۰۵	۱۴۰۱	۲۴۳۹	۱۴۰۶	۲۹۶۷	۱۴۱۱	۳۶۱۰
۱۳۹۷	۲۰۸۵	۱۴۰۲	۲۵۳۶	۱۴۰۷	۳۰۸۶	۱۴۱۲	۳۷۵۴
۱۳۹۸	۲۱۶۸	۱۴۰۳	۲۶۳۸	۱۴۰۸	۳۲۰۹	۱۴۱۳	۳۹۰۴
۱۳۹۹	۲۲۵۵	۱۴۰۴	۲۷۴۳	۱۴۰۹	۳۳۳۷	۱۴۱۴	۴۰۶۰
۱۴۰۰	۲۳۴۵	۱۴۰۵	۲۸۵۳	۱۴۱۰	۳۴۷۱	۱۴۱۵	۴۲۲۳

۲-۵-۳- تعیین ترافیک ساعتی طرح

شرایط ترافیکی ساعتی از سال طرح که طراحی برای حجم ترافیک ترافیک آن انجام شد، ترافیک ساعت طرح نامیده می شود. بطور معمول، حجم ترافیک ساعت طرح برابر ۹ تا ۱۰ درصد متوسط سالانه حجم ترافیک روزانه^۱ و یا ۱۵ درصد متوسط حجم ترافیک روزانه^۲ در نظر گرفته شد [۲۲].

در نهایت برای تونل علوی، ترافیک روزانه در سال ۱۴۱۵ که دارای بالاترین میزان ترافیک است در نظر گرفته شده است و با اعمال ضریب ۱۵ درصد، میزان ترافیک متوسط ساعتی، برابر با ۶۳۴ دستگاه در ساعت محاسبه شده است.

۲-۶- جمع بندی

تونل علوی واقع در استان هرمزگان، دارای طولی برابر با ۱۹۱۴ متر بوده و سطح مقطع آن نعل اسبی شکل است که برابر با ۶۵/۶ متر مربع می باشد. با توجه به گزارشات حاصله از مطالعات ترافیکی محورهای متصل به تونل علوی، مقدار ۶۳۴ دستگاه اتومبیل در ساعت در دوره طرح به عنوان ترافیک ساعتی تونل در نظر گرفته شده است.

1- AADT

2- ADT

۳

فصل سوم

محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی

۳-۱- مقدمه

پیش از هر اقدامی در طراحی سیستم تهویه، ابتدا می بایست لزوم استفاده از تهویه مکانیکی در تونل بررسی شود که این مهم با استفاده از استانداردهای معتبر در این پژوهش انجام خواهد شد. همچنین میزان شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل می بایست به منظور طراحی سیستم تهویه محاسبه شود. به همین جهت، در این بخش، شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل ابتدا به روش های کلاسیک محاسبه شده و سپس با استفاده از روش پیشنهادی انجمن جهانی راه (پیآرک^۱) این مقدار تعیین شده است.

۳-۲- تعیین لزوم تهویه مکانیکی

استانداردهای متعددی جهت بررسی ضرورت تهویه مکانیکی پیشنهاد شده است که در این بین، برای تونل علوی از استانداردهای فرانسه، ژاپن، نروژ، آلمان، انگلیس و آمریکا استفاده شده است.

۳-۲-۱- استاندارد فرانسه

بر اساس این استاندارد، اگر طول تونل های کوهستانی بیش از ۱۰۰۰ متر باشد، استفاده از تهویه مکانیکی ضروری است. از آنجایی که طول تونل علوی برابر با ۱۹۱۴ متر است، لذا استفاده از تهویه مکانیکی بر اساس این استاندارد برای این تونل ضروری است [۲۳].

تهویه مکانیکی در تونل علوی لازم است. $\Rightarrow L > 1000$

۳-۲-۲- استاندارد نروژ

طبق این استاندارد، حداکثر طول تونل بدون تهویه از رابطه زیر حساب می شود [۲۳]:

$$L = \frac{C_o \cdot A \cdot a \cdot V}{120q} \quad (1-3)$$

که در آن:

L = حداکثر طول تونل بدون تهویه بر حسب کیلومتر

C_o = حداکثر میزان مجاز گاز کربن مونوکسید که برابر با ۰/۲۲ میلی گرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود.

A = سطح مقطع تونل بر حسب متر مربع

V = سرعت متوسط وسایل نقلیه که برای ترافیک روان ۴۰ کیلومتر بر ساعت و برای ترافیک متراکم ۱۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته می شود.

a = فاصله بین دو اتومبیل که برای سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت برابر با ۲۰ متر و برای سرعت ۱۵ کیلومتر بر ساعت برابر با ۹/۹ متر در نظر گرفته می شود.

q = مقدار گاز مونوکسید کربن تولید شده به ازای هر اتومبیل که معمولاً آن را ۶۰ لیتر بر دقیقه در نظر می گیرند.

$$V = 15, a = 9/9 \rightarrow L_1 = \frac{0/22 \times 86/5 \times 9/9 \times 15}{120 \times 60} = 0/392 \rightarrow 392 \text{ m}$$

$$V = 40, a = 20 \rightarrow L_2 = \frac{0/22 \times 86/5 \times 40 \times 20}{120 \times 60} = 2/114 \rightarrow 2114 \text{ m}$$

میانگین مقادیر بدست آمده از رابطه بالا برابر با ۱۲۵۳ متر است که نشان می دهد بنابر استاندارد نروژ نیز تونل علوی نیاز به تهویه مکانیکی دارد.

۳-۲-۳- استاندارد انگلیس

طبق استاندارد انگلیس تونل هایی با طول بیش از ۴۰۰ متر نیاز به تهویه مکانیکی دارند. بنابراین، با توجه به این استاندارد نیز تونل علوی نیاز به تهویه مکانیکی دارد [۲۳].

$$L > 400 \rightarrow L = 1914 \text{ m} \rightarrow \text{نیاز به تهویه مکانیکی}$$

۳-۲-۴- بررسی نتیجه بدست آمده از استانداردهای مختلف

نتیجه حاصله از بررسی لزوم تهویه مکانیکی در تونل علوی با استفاده از استانداردهای کشورهای مختلف نشان می دهد، که استفاده از تهویه مکانیکی در تونل علوی با طول ۱۹۱۴ متر، امری ضروری است و تهویه طبیعی جوابگوی تونلی با این مشخصات نیست.

۳-۳- حد مجاز آلاینده ها در طراحی سیستم تهویه

اغلب میزان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به عنوان مبنای طراحی سیستم های تهویه انتخاب می شود. اما این امری کلی نبوده و وابسته به شرایط تونل و همچنین ناوگان حمل و نقل جاده ای است. به همین منظور محاسبات شدت جریان می بایست برای تمامی آلاینده های موجود در تونل انجام شده تا بیش ترین مقدار آلودگی و هوای لازم برای تهویه آن بدست آید. در نتیجه، پیش از هر اقدامی در طراحی سیستم تهویه، لازم است تا حد مجاز برای هر آلاینده مشخص شود [۲۳].

۳-۳-۱- مقدار مجاز کربن مونوکسید

با توجه به آیین نامه ایمنی راه های کشور، مقدار مجاز کربن مونوکسید در شرایط مختلف ترافیکی متفاوت بوده که این مقادیر در جدول ۳-۱ آورده شده است.

۳-۳-۲- مقدار مجاز دوده

برای بیان میزان مجاز دوده از میزان قابلیت دید استفاده می شود. یک شعاع نورانی وقتی از میان هوا عبور می کند، پیوسته از شدت روشنایی آن کاسته می شود. این شیوه عمل به صورت رابطه ۳-۲ نشان داده می شود [۲۳].

$$E = E_0 \cdot e^{-kL} \quad (۳-۲)$$

که در آن:

E = شدت روشنایی در فاصله L از منبع نور؛

E_0 = شدت روشنایی در منبع نور؛

K = ضریب دید بر حسب m^{-1} و

L = فاصله از منبع نور بر حسب متر است.

معمولا در تهویه تونل ها، قابلیت دید را با ضریب خاموشی k بیان می کنند. در واقع k نشان دهنده میزان افت شدت روشنایی پس از طی مسافت L در داخل هوای تونل است. ضریب k را می توان به عنوان میزان کدری نیز در نظر گرفت.

$$k = -\frac{1}{L} \ln \frac{E}{E_0} \quad (۳-۳)$$

تعریف دیگر قابلیت دید، میزان انتقال روشنایی (S) است که عبارت است از درصد کاهش شدت روشنایی شدت روشنایی پس از طی مسافت L متر از منبع نور که به صورت رابطه ۳-۴ تعریف می شود.

$$S = 100 \cdot e^{-kL} \quad (۴-۳)$$

مقدار ضریب k تعبیر مختلفی داشته که در زیر ارائه می شوند:

0.05 m^{-1} = نشان دهنده هوای پاک تونل (قابلیت دید حدود چند صد متر)

0.07 m^{-1} = نشان دهنده هوای غبار آلوده

0.09 m^{-1} = نشان دهنده هوای مه آلود

0.12 m^{-1} = نشان دهنده هوای نامساعد

۳-۳-۳- مقدار مجاز اکسیدهای ازت

بخش عمده اکسیدهای ازت منتشر شده از وسایل نقلیه، نیتروژن مونوکسید (NO) است که در مجاورت ازن (O_3) به NO_2 تبدیل می شود که گازی خطرناک بوده و پنج برابر نیتروژن مونوکسید ایجاد مسمومیت می کند. درصد حجمی نیتروژن دی اکسید در اکسیدهای ازت تولید شده از وسایل نقلیه بین ۵٪ (در ترافیک سنگین) تا ۲۰٪ (در ترافیک روان است). به علت خطر بیشتر گاز نیتروژن دی اکسید، همواره فرض می شود که کل اکسیدهای ازت به نیتروژن دی اکسید تبدیل شده اند و حد مجاز این گاز مبنای طراحی قرار داده می شود. در جدول ۳-۱ مقادیر مجاز اکسیدهای ازت ذکر شده اند.

جدول ۳-۱- مقادیر مجاز کربن مونوکسید، دوده و اکسیدهای ازت [۲۳]

مقدار مجاز دوده بر اساس میزان دید		مقدار مجاز مونوکسید کربن بر حسب ppm		شرایط ترافیکی
میزان دید برای ۱۰۰ متر بر حسب درصد (%)	ضریب قابلیت دید k بر حسب $10^{-3} m^{-1}$	سال طراحی		
		۲۰۱۰	۱۹۹۵	
۶۰	۵	۷۰	۱۰۰	اوج ترافیک روان (۱۰۰ km/h)
۵۰	۷	۷۰	۱۰۰	توقف و ترافیک متراکم روزانه در تمام خطوط
۴۰	۹	۱۰۰	۱۵۰	توقف و ترافیک متراکم استثنایی در تمام خطوط
۷۵	۳	۲۰	۳۰	تعمیر و نگهداری در شرایط ترافیکی
۳۰	۱۲	۲۰۰	۲۵۰	بستن تونل
مقدار مجاز اکسیدهای ازت بر حسب ppm				
نیتروژن مونوکسید		نیتروژن دی اکسید		شرایط
۳۵		۵		برای مدت کوتاه
۳۷/۵		۵		برای مدت طولانی
۲۵		۵		جد مجاز

برای اکسیدهای ازت در حالت های مختلف، حدود مجاز دیگری نیز تعریف شده است که در جدول ۳-۲ آمده است و در محاسبات بعدی از آن استفاده شده است.

جدول ۳-۲- حد مجاز اکسیدهای ازت [۲۳]

غلظت قابل قبول گاز NO_x (ppm)	مدت
۳۰	کمتر از $\frac{1}{3}$ ساعت
۲۵	$\frac{1}{3}$ ساعت الی $\frac{1}{2}$ ساعت
۲۰	$\frac{1}{2}$ ساعت الی ۱ ساعت
۱۵	۱ ساعت الی ۲ ساعت
۱۰	۲ ساعت الی ۵ ساعت
۸	بیش از ۵ ساعت

۳-۴- محاسبه مقدار هوای لازم حین بهره برداری از تونل علوی به روش کلاسیک

شدت جریان لازم برای تهویه تونل علوی، با استفاده از روش های مختلف برای آلاینده های مختلف موجود در تونل شامل کربن مونوکسید، دوده و اکسیدهای ازت محاسبه شده است و در نهایت از بزرگترین مقدار بدست آمده برای طراحی استفاده می شود [۲۳]. البته در بیشتر موارد اگر از شدت جریان بدست آمده برای تهویه کربن مونوکسید استفاده شود، هوای لازم برای ترقیق دیگر آلاینده ها نیز تامین خواهد شد. از آن جایی که هر دو خط رفت و برگشت در یک تونل قرار دارند، محاسبات برای هر خط به طور جداگانه انجام خواهد شد، چرا که در یکی شیب مثبت و در دیگری شیب منفی است.

۳-۴-۱- محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید (CO)

در این بخش مقدار هوای لازم برای تهویه گاز کربن مونوکسید تولید شده توسط وسایل نقلیه عبوری از تونل علوی با استفاده از سه روش انگلیسی، نروژی و فرانسوی محاسبه شده است.

الف) روش انگلیسی^۱:

در این روش، ابتدا حجم گاز کربن مونوکسید تولید شده در طول یک کیلومتر راه از رابطه زیر محاسبه می شود [۲۳]:

$$Q_{\text{CO}} = q_o \cdot W \cdot f_h \cdot f_{iv} \quad (۳-۵)$$

که در آن :

Q_{CO} = حجم گاز تولید شده به وسیله هر اتومبیل در هر کیلومتر برحسب متر مکعب بر کیلومتر،

q_0 = مقدار گاز تولید شده در هر کیلومتر به ازای هر تن وزن وسیله نقلیه و در شرایط سرعت یکنواخت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، در ارتفاع کمتر از ۴۰۰ متر از سطح دریا بر حسب متر مکعب بر کیلومتر بر تن ($m^3/km.t$)،
 W = وزن متوسط اتومبیل بر حسب تن؛

f_h = ضریب تاثیر ارتفاع که از شکل ۳-۱ بدست می آید و در اینجا برابر با ۱ در نظر گرفته شده است؛

f_{iv} = ضریب تاثیر سرعت و شیب است که از شکل ۳-۲ بدست می آید.

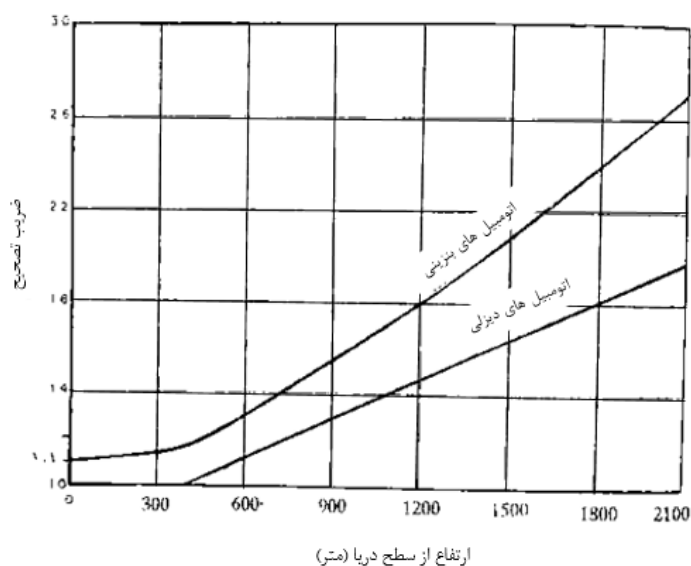
مقدار q_0 برای شرایط عادی یعنی سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت در جاده افقی و در ارتفاع کمتر از ۴۰۰ متر از سطح دریا برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته می شود [۲۴]:

$q_0 = 0.017 m^3/km.t$ برای اتومبیل های بنزینی

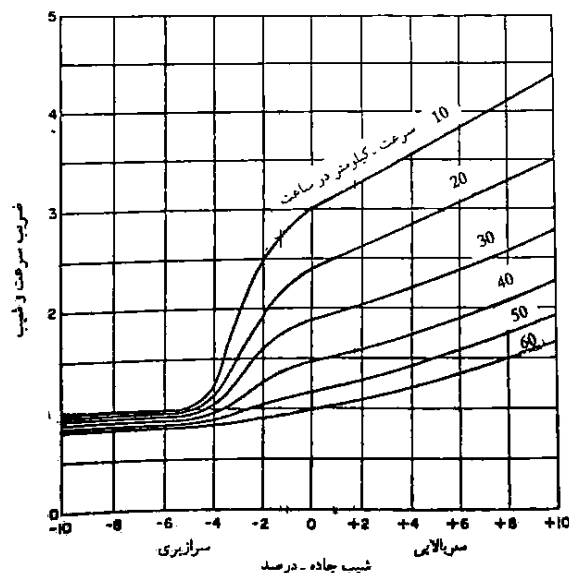
$q_0 = 0.0005 m^3/km.t$ برای اتومبیل های دیزلی

جدول ۳-۳- وزن اتومبیل های مختلف [۲۵]

وزن وسیله بدون بار (t)	وزن وسیله همراه با بار (t)	نوع وسیله
۱/۵	۱/۵	سواری و وانت
۵	۵	مینی بوس
۱۰	۱۳	اتوبوس
۱۰	۱۹	کامیون و نفتکش ۲ محور
۱۴	۲۶	کامیون و نفتکش ۳ محور



شکل ۳-۱- ضریب تصحیح تولید مونوکسید کربن در ارتفاعات [۲۶]



شکل ۳-۲- ضرایب تصحیح محصولات مضره در سرعت ها و شیب های مختلف [۲۶]

پس از آنکه مقدار کربن مونوکسید تولید شده توسط هر وسیله نقلیه محاسبه شد، از طریق رابطه ۳-۶، میزان هوای لازم برای ترقیق این گاز محاسبه می شود.

$$Q = \frac{\sum Q_{CO} \cdot M}{C_0} \times \frac{10^6}{3600} \quad (۳-۶)$$

که در آن:

M شدت ترافیک که تعداد ماشین های موجود در تونل در هر ساعت است و C_0 حد مجاز گاز کربن مونوکسید بر حسب ppm بوده و برای تونل های کوهستانی با ترافیک روان برابر با ۱۵۰ ppm در نظر گرفته می شود.

جداول ۳-۴ الی ۳-۶ میزان شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید را در تونل علوی به روش انگلیسی نشان می دهند.

جدول ۳-۴- محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک روان (۱۰ km/h)

شیب	نوع وسیله	f_{iv}	W	Q_{CO} (m ³ /km)	M	C_0 (ppm)	Q (m ³ /sec.km)	Q (m ³ /sec)
سریال	سبک	۱/۱	۱/۵	۰/۰۳۱	۲۰۰	۱۵۰	۲۶/۵	۵۱
	سنگین	۱/۱	۲۶	۰/۰۱۴	۱۱۷			
سری پایین	سبک	۰/۹	۱/۵	۰/۰۲۵	۲۰۰			
	سنگین	۰/۹	۲۶	۰/۰۱۲	۱۱۷			

جدول ۳-۵- محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک نیمه سنگین (۴۰ km/h)

شیب	نوع وسیله	f_{iv}	W	Q_{co} (m^3/km)	M	C_0 (ppm)	Q ($m^3/sec.km$)	Q (m^3/sec)
سربالا	سبک	۱/۶	۱/۵	۰/۰۴۵	۲۰۰	۱۵۰	۳۸/۲۳۳	۷۳
	سنگین	۱/۶	۲۶	۰/۰۲۱	۱۱۷			
سرپایین	سبک	۱/۳	۱/۵	۰/۰۳۶	۲۰۰			
	سنگین	۱/۳	۲۶	۰/۰۱۷	۱۱۷			

جدول ۳-۶- محاسبه هوای لازم برای تهویه تونل علوی به روش انگلیسی در ترافیک سنگین (۶۰ km/h)

شیب	نوع وسیله	f_{iv}	W	Q_{co} (m^3/km)	M	C_0 (ppm)	Q ($m^3/sec.km$)	Q (m^3/sec)
سربالا	سبک	۳/۲۵	۱/۵	۰/۰۹۱	۲۰۰	۱۵۰	۷۷/۲۰۷	۱۴۸
	سنگین	۳/۲۵	۲۶	۰/۰۴۲	۱۱۷			
سرپایین	سبک	۲/۶	۱/۵	۰/۰۷۳	۲۰۰			
	سنگین	۲/۶	۲۶	۰/۰۳۴	۱۱۷			

تمامی مقادیر بدست آمده، مقدار هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید در یک کیلومتر را نشان می دهد. جدول ۳-۷، مقادیر لازم برای طول کامل تونل را به تفکیک سرعت های مختلف نشان می دهد.

جدول ۳-۷- مقدار هوای لازم برای تهویه CO در تونل علوی به روش انگلیسی در سه حالت ترافیک روان، نیمه سنگین و سنگین

نوع ترافیک	$Q_{total}(m^3/s)$
روان	۵۱
نیمه سنگین	۷۳
سنگین	۱۴۸

ب) روش نروژی:

در این روش مقدار گاز کربن مونوکسید تولید شده در داخل تونل تابعی از شدت و ترکیب ترافیک، شیب تونل، طول و سرعت ترافیک در نظر گرفته شده است و طبق رابطه زیر محاسبه می شود [۲۷]:

$$Q_{CO} = q_0 \cdot f_i \cdot f_h \cdot f_v \cdot M \cdot L \quad (۷-۳)$$

که در آن:

Q_{CO} = مقدار گاز کربن مونوکسید تولید شده بر حسب متر مکعب بر ساعت (m^3/h);

q_0 = مقدار گاز کربن مونوکسید تولید شده به وسیله هر اتومبیل که به طور متوسط برابر با ۰/۰۱۳ متر مکعب بر کیلومتر بر تعداد وسایل نقلیه در نظر گرفته می شود؛

M = شدت ترافیک بر حسب تعداد وسایل نقلیه در هر ساعت (veh/h)؛

f_h = ضریب تصحیح ارتفاع تونل از سطح دریا که در مورد تونل علوی برابر با ۱ در نظر گرفته می شود؛

f_i = ضریب تصحیح شیب تونل که از جدول ۳-۸ بدست می آید؛

f_v = ضریب تصحیح کاهش سرعت که از جدول ۳-۹ بدست می آید و

L = طول تونل بر حسب کیلومتر است [۲۳].

جدول ۳-۸- ضریب تصحیح شیب برای تولید مونوکسید کربن [۲۷]

سرپایین					سرپالا				شیب تونل درصد
۸	۶	۴	۲	۰	۲	۴	۶	۸	
۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۸	۱	۱/۱۵	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۵۰	ضریب تصحیح f_i

جدول ۳-۹- ضریب تصحیح کاهش سرعت در تولید مونوکسید کربن [۲۷]

۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵	سرعت ترافیک
۰/۹	۰/۹	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۵	۲/۰	۳/۵	۶/۳	ضریب تصحیح f_v

پس از تعیین میزان انتشار کربن مونوکسید توسط وسایل نقلیه، میزان شدت جریان هوای لازم برای تهویه این آلاینده از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$Q_0 = \frac{Q_{CO} \cdot 10^6}{C_0 \cdot 3600} \quad (۸-۳)$$

که در آن:

Q_0 = شدت جریان لازم در دمای ۰ درجه سانتیگراد و فشار ۷۶۰ میلی متر جیوه بر حسب متر مکعب بر ثانیه و C_0 = مقدار مجاز کربن مونوکسید بر حسب ppm است که ۱۵۰ ppm در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبه شدت جریان در شرایط ذکر شده، شدت جریان لازم برای تهویه در شرایط تونل از طریق رابطه ۳-۹ محاسبه می شود.

$$Q = Q_0 \frac{760 \cdot T}{P \cdot 273} \quad (۹-۳)$$

در این رابطه T دمای منطقه بر حسب کلوین و P فشار محیط بر حسب میلی متر جیوه است. دما در منطقه ای که تونل علوی واقع شده است برابر با $30.0/15$ کلوین و فشار $753/6$ میلی متر جیوه در نظر گرفته شده است. در جدول ۳-۱۰ شدت جریان هوای لازم برای تهویه گاز کربن مونوکسید در تونل علوی به روش نروژی در حالات مختلف ترافیکی آورده شده است.

جدول ۳-۱۰- شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی در شیب سربالا

ترافیک	f_i	f_v	f_h	q_o ($m^3/km.veh$)	M (veh/h)	L (km)	Q_{co} (m^3/h)	Q_0 (m^3/s)	Q (m^3/s)
روان	۱/۱۳	۱	۱	۰/۰۱۳	۳۱۷	۱/۹۱۴	۸/۹۱۳	۱۶/۵۰۵	۱۸
نیمه روان		۱/۲					۱۰/۶۹۵	۱۹/۸۰۵	۲۲
سنگین		۳/۵					۳۱/۱۹۵	۵۷/۷۶۸	۶۴

جدول ۳-۱۱- شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی در شیب سرباين

ترافیک	f_i	f_v	f_h	q_o ($m^3/km.veh$)	M (veh/h)	L (km)	Q_{co} (m^3/h)	Q_0 (m^3/s)	Q (m^3/s)
روان	۰/۸۳	۱	۱	۰/۰۱۳	۳۱۷	۱/۹۱۴	۶/۵۴۷	۱۲/۱۲۴	۱۳
نیمه روان		۱/۲					۷/۸۵۶	۱۴/۵۴۸	۱۶
سنگین		۳/۵					۲۲/۹۱۳	۴۲/۴۳۱	۴۷

جدول ۳-۱۲- شدت جریان کلی مورد نیاز برای تهویه کربن مونوکسید به روش نروژی

ترافیک	Q (m^3/s)
روان	۳۱
نیمه روان	۳۸
سنگین	۱۱۱

ج) روش فرانسوی:

در این روش شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = \frac{10^3}{60} \cdot \frac{q_o \cdot M \cdot f_i \cdot f_h}{C_o} \quad (10-2)$$

که در آن:

Q = شدت جریان لازم برای تهویه کربن مونوکسید در هر کیلومتر از تونل بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر ($m^3/s.km$)؛

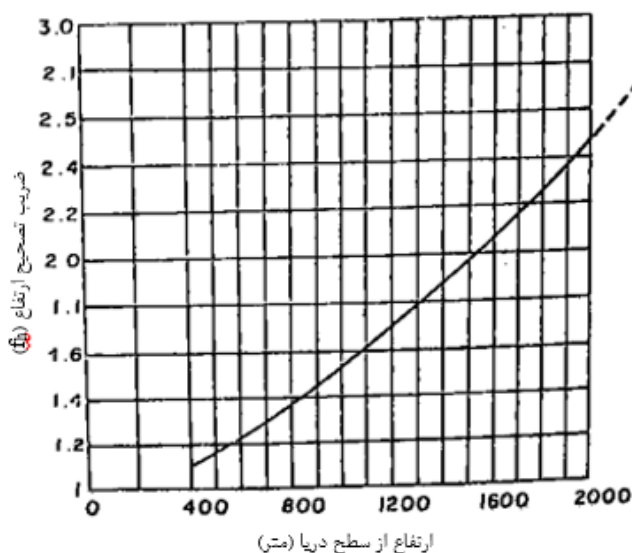
q_0 = مقدار متوسط کربن مونوکسید تولید شده به وسیله هر اتومبیل بر حسب لیتر بر دقیقه که l/min ۲۰ در نظر گرفته می شود؛

M = تعداد وسیله نقلیه در هر کیلومتر که از تقسیم ترافیک ساعتی بر سرعت وسایل نقلیه بدست می آید؛

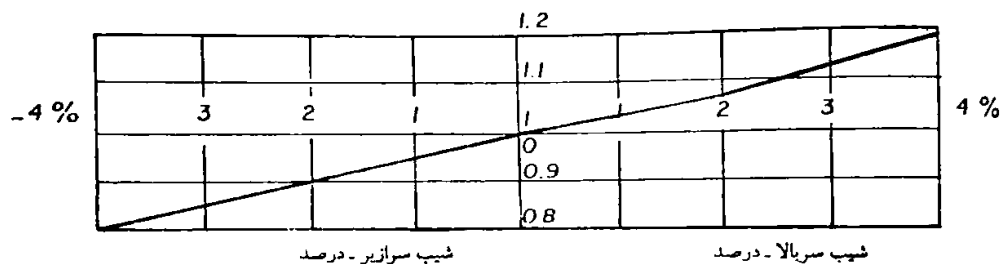
f_i = ضریب تاثیر سر بالایی و سر پایینی که از شکل ۳-۴ بدست می آید؛

f_h = ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا که از شکل ۳-۳ بدست می آید و

C_0 = غلظت مجاز گاز کربن مونوکسید بر حسب ppm است که ۱۵۰ ppm در نظر گرفته می شود.



شکل ۳-۳ - ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا در تولید کربن مونوکسید [۲۴]



شکل ۳-۴ - ضریب تاثیر شیب در تولید کربن مونوکسید [۲۴]

در جدول ۳-۱۳ و ۳-۱۴، میزان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی، ابتدا برای هر کیلومتر از تونل و سپس برای کل طول تونل به روش فرانسوی محاسبه شده است.

جدول ۳-۱۳- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید به روش فرانسوی در شیب سربالا

نوع ترافیک	نوع وسیله نقلیه	M	f _i	f _h	(m ³ /s.km) Q	(m ³ /s) Q
روان	سبک	۴	۱/۰۷	۱	۱۴/۲۶۷	۲۷
	سنگین	۲				
نیمه سنگین	سبک	۵			۱۹/۰۲۲	۳۶
	سنگین	۳				
سنگین	سبک	۲۰			۷۶/۰۸۹	۱۴۵
	سنگین	۱۲				

جدول ۳-۱۴- محاسبه شدت جریان مورد نیاز برای تهویه کربن مونوکسید به روش فرانسوی در شیب سرپایین

نوع ترافیک	نوع وسیله نقلیه	M	f_i	f_h	$Q \text{ (m}^3/\text{s.km)}$	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$
روان	سبک	۴	۰/۹۳	۱	۱۲/۴۰۰	۲۴
	سنگین	۲				
نیمه سنگین	سبک	۵			۱۶/۵۳۳	۳۲
	سنگین	۳				
سنگین	سبک	۲۰			۶۶/۱۳۳	۱۲۶
	سنگین	۱۲				

جدول ۳-۱۵- شدت جریان کلی لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی به روش فرانسوی

ترافیک	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$
روان	۵۱
نیمه سنگین	۶۸
سنگین	۲۷۱

۳-۴-۲- محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه دوده

در این بخش، مانند کربن مونوکسید، از سه روش انگلیسی، نروژی و فرانسوی برای محاسبه میزان شدت جریان هوای تازه برای ترقیق دوده استفاده شده است.

الف) روش انگلیسی:

در این روش، ابتدا مقدار دوده تولید شده به وسیله اتومبیل های دیزلی در هر کیلومتر از تونل از رابطه زیر محاسبه می شود [۲۵]:

$$Q_{DC} = q_0 \cdot W \cdot f_h \cdot f_{iv} \quad (۳-۱۱)$$

که در آن:

Q_{DS} = مقدار دوده منتشر شده توسط اتومبیل های دیزلی در هر کیلومتر بر حسب میلی گرم بر کیلومتر بر تن
(mg/km.ton)

q_0 = مقدار مبنایی تولید دوده برای هر تن از وسیله نقلیه در ارتفاع کمتر از 400 m از سطح دریا، جاده افقی و سرعت 40 کیلومتر در ساعت بر حسب میلی گرم بر کیلومتر بر تن که معمولا آن را 100 mg/km.ton در نظر می گیرند؛

W = وزن متوسط وسیله نقلیه بر حسب تن (ton)؛

f_h = ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا که از شکل 3-5 بدست می آید؛

f_{iv} = ضریب تاثیر شیب و سرعت است که از شکل 3-6 تعیین می شود [25].

پس از محاسبه مقدار دوده تولید شده، با استفاده از رابطه 3-12 مقدار هوای لازم برای ترقیق دوده محاسبه می شود.

$$Q = \frac{1}{3600} (\sum Q_{DS} \cdot M / D_0) \quad (3-12)$$

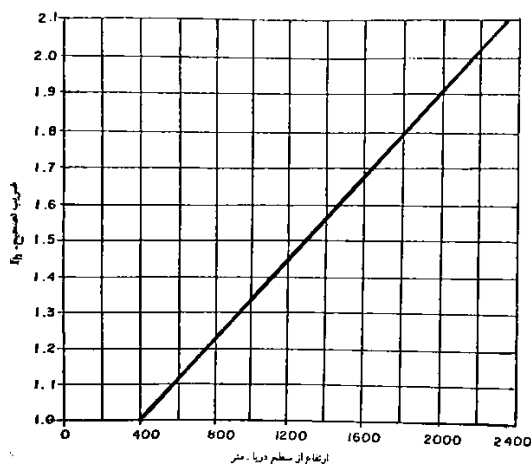
که در آن:

Q = شدت جریان هوای تازه مورد نیاز برای ترقیق دوده بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر (m³/s.km)؛

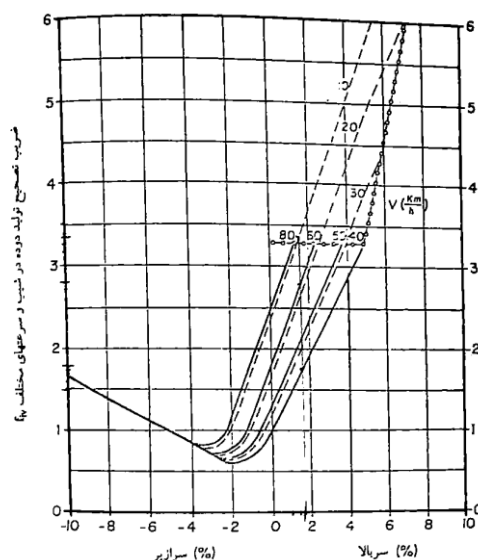
Q_{DS} = میزان دوده تولید شده به وسیله هر اتومبیل دیزلی بر حسب میلی گرم بر کیلومتر بر تن
(mg/km.ton)

M = تعداد انواع وسایل نقلیه دیزلی در هر ساعت و

D_0 = غلظت مجاز دوده است که مقدار آن 2 mg/m³ در نظر گرفته می شود.



شکل 3-5- ضریب تاثیر ارتفاع از سطح دریا در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی [24]



شکل ۳-۶- ضریب تاثیر مربوط به شیب جاده و سرعت اتومبیل ها در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی [۲۵]

در جدول ۳-۱۶، مقدار تولید دوده و همچنین هوای تازه لازم برای تهویه آن در سه حالت ترافیک روان، نیمه سنگین و سنگین محاسبه شده است.

جدول ۳-۱۶- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه دوده به روش انگلیسی

ترافیک	شیب	q_o (mg/km.tb)	W (t)	f_h	f_{iv}	D_o (mg/m ³)	M	Q_{DS} (mg/km.tb)	Q (m ³ /s.km)	Q (m ³ /s)
روان	سرپایین	۱۰۰	۲۶	۱	۰/۸	۲	۱۱۷	۷۰۲۰	۱۴۷/۸۷۵	۲۸۳
	سرپایین				۲/۷			۲۰۸۰		
نیمه سنگین	سرپایین	۱۰۰	۲۶	۱	۰/۶	۲	۱۱۷	۴۴۲۰	۹۷/۱۷۵	۱۸۶
	سرپایین				۱/۷			۱۵۶۰		
سنگین	سرپایین	۱۰۰	۲۶	۱	۳/۲	۲	۱۱۷	۸۳۲۰	۱۸۸/۰۱۲	۳۶۰
	سرپایین				۱/۲۵			۳۲۵۰		

(ب) روش نروژی:

در این روش برای محاسبه مقدار دوده تولید شده از رابطه زیر استفاده می شود [۲۷]:

$$Q_{DS} = q_o (M_T + 0.08 M_L) f_h \cdot f_i . \quad (۳-۱۳)$$

که در آن:

Q_{DS} = مقدار دوده تولید شده بر حسب میلی گرم بر ساعت (mg/h)؛

q_0 = مقدار مبنایی دوده تولید شده به میلی گرم توسط هر وسیله نقلیه در ساعت که به طور متوسط

۷۵۰ mg/h.veh در نظر گرفته می شود؛

M_T = تعداد وسیله نقلیه سنگین در ساعت؛

M_L = تعداد وسیله نقلیه سبک در ساعت؛

f_h = ضریب تصحیح ارتفاع از سطح دریا که در اینجا به دلیل ارتفاع کم برابر با ۱ در نظر گرفته شده است؛

f_i = ضریب تصحیح شیب که از جدول ۳-۱۳ بدست می آید و

L = طول تونل (km) است.

جدول ۳-۱۷- ضریب تصحیح شیب در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی [۲۷]

سرپایینی				سربالایی				شیب تونل	
-۸	-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	۸	
۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۸	۱	۱/۸	۲/۷	۳/۶	۴/۵	ضریب تصحیح (f_i)

پس از محاسبه میزان دوده تولید شده، با استفاده از رابطه زیر، شدت جریان لازم برای تهویه دوده محاسبه می شود:

$$Q = Q_{DS} / ۳۶۰۰ \cdot D_0 \quad (۳-۱۴)$$

که در آن:

Q = شدت جریان لازم برای تهویه دوده بر حسب متر مکعب بر ساعت (m^3/h)؛

Q_{DS} = مقدار دوده تولید شده بر حسب میلی گرم بر ساعت (mg/h) و

D_0 = حد مجاز دوده از نظر کاهش دید بر حسب میلی گرم بر متر مکعب است. در جدول ۳-۱۸، مقادیر یاد شده محاسبه شده اند.

جدول ۳-۱۸- محاسبه مقدار هوای لازم برای تهویه دوده به روش نروژی

شرایط ترافیکی	شیب	q_0 (mg/h.veh)	M_T	M_L	f_i	f_h	L (km)	Q_{DS} (mg/h)	D_0 (mg/m ³)	Q (m ³ /s)
برای تمامی شرایط ترافیکی	سر بالا	۷۵۰	۱۱۷	۲۰۰	۱/۶۸	۱	۱/۹۱۴	۳۲۰۷۴۸/۱۲۰	۱/۴	۹۵
	سرپایین		۱۱۷	۲۰۰	۰/۸۳			۱۵۸۴۶۴/۸۴۵		

ج) روش فرانسوی:

در این روش، از رابطه زیر برای محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه دوده استفاده می شود:

$$Q_0 = \frac{K_0}{3600 \cdot K} f_h \cdot f_i \cdot f_v \cdot q \cdot M \quad (3-15)$$

که در آن:

Q = شدت جریان لازم برای تهویه دوده بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر $(m^3/s.km)$ ؛

k_0 = ضریب جذب دوده بر حسب m^{-1} که مقدار متوسط آن $0.3 m^{-1}$ است؛

k = ضریب جذب قابل قبول در تونل که به فاصله دید مربوط می شود و در این تونل برابر با $10^{-3} \times 3/2$ در نظر گرفته می شود؛

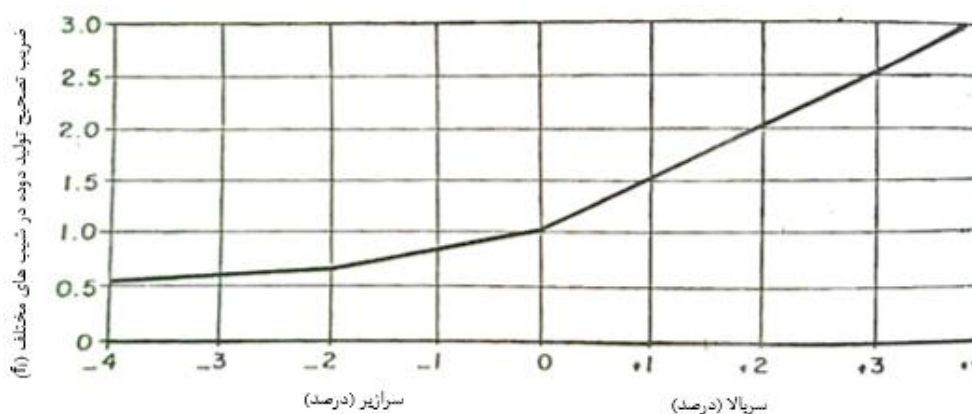
f_h = ضریب تصحیح ارتفاع که از شکل ۳-۵ بدست می آید؛

f_i = ضریب تصحیح شیب که از شکل ۳-۷ بدست می آید؛

f_v = ضریب تصحیح سرعت که از جدول ۳-۱۵ بدست می آید؛

q = حجم گاز خارج شده از وسایل نقلیه دیزلی در هر کیلومتر $(m^3/km.ton)$ که در اینجا $14 m^3/km.ton$ منظور شده است و

M تعداد وسایل نقلیه دیزلی عبوری از تونل در هر ساعت است [۲۳].



شکل ۳-۷- ضریب تاثیر شیب در تولید دوده وسایل نقلیه دیزلی [۲۴]

جدول ۳-۱۹- ضریب تصحیح سرعت در تولید دوده برای اتومبیل های دیزلی [۲۴]

سرعت (km/h)	ضریب تصحیح f_v
۸۰	۱
۴۰	۱/۵
۲۰	۲

در جدول ۳-۲۰، شدت جریان لازم برای تهویه دوده به روش فرانسوی محاسبه شده است.

جدول ۳-۲۰- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه دوده به روش فرانسوی در شیب سربالا

ترافیک	K_0 (m^{-1})	K	f_h	f_i	f_v	q ($m^3/km.ton$)	M	Q_0 ($m^3/s.km$)
روان	۰/۳	$3/2 \times 10^{-3}$	۱	۱/۸	۱/۲۵	۱۴	۱۱۷	۹۵/۹۷۶
نیمه سنگین					۱/۵			۱۱۵/۱۷۱
سنگین					۲/۲۵			۱۷۲/۷۵۷

جدول ۳-۲۱- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه دوده به روش فرانسوی در شیب سربالین

ترافیک	K_0 (m^{-1})	K	f_h	f_i	f_v	q ($m^3/km.ton$)	M	Q_0 ($m^3/s.km$)
روان	۰/۳	$3/2 \times 10^{-3}$	۱	۰/۷۵	۱/۲۵	۱۴	۱۱۷	۳۹/۹۹۰
نیمه سنگین					۱/۵			۴۷/۹۸۸
سنگین					۲/۲۵			۷۱/۹۸۲

جدول ۳-۲۲- شدت جریان کلی مورد نیاز برای تهویه دوده به روش فرانسوی در تونل علوی

ترافیک	Q (m^3/km)
روان	۲۶۰
نیمه سنگین	۳۱۲
سنگین	۴۶۸

۳-۴-۳- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت (NO_x)

همانطور که قبلاً گفته شد، معمولاً شدت جریان محاسبه شده برای تهویه مونوکسید برای تهویه کل تونل کافی است. اما با این حال شدت جریان لازم برای تهویه دوده و اکسیدهای ازت نیز می بایست محاسبه شوند [۲۳].

میزان اکسید ازت تولید شده در تونل از رابطه زیر محاسبه می شود [۲۸]:

$$Q_{NOx} = q_0 (M_L + 10 M_T) f_i \cdot L \quad (3-16)$$

که در آن:

Q_{NOx} = حجم اکسید ازت تولید شده در تونل بر حسب متر مکعب بر ساعت (m^3/h);

q_0 = حجم گاز تولید شده به ازای هر اتومبیل در کیلومتر که معمولاً برابر با $10^{-3} \times 0.5$ در نظر گرفته می شود؛

M_L = تعداد اتومبیل های سبک عبوری از تونل در هر ساعت؛

M_T = تعداد اتومبیل های سنگین عبوری از تونل در هر ساعت؛

f_i = ضریب تصحیح شیب که از جدول ۳-۱۷ بدست می آید و

L = طول تونل (km) است.

پس از محاسبه مقدار اکسید ازت تولید شده، با استفاده از رابطه ۳-۱۷ شدت جریان مورد نیاز محاسبه می شود:

$$Q = \frac{Q_{NOx} \cdot 10^6}{C_0 \cdot 3600} \quad (3-17)$$

که در آن:

Q = شدت جریان هوا برای تهویه اکسید ازت بر حسب متر مکعب بر ثانیه (m^3/s) و

C_0 = حد مجاز اکسیدهای ازت است که ۵ ppm در نظر گرفته می شود.

جدول ۳-۲۳- ضریب تصحیح میزان اکسیدهای ازت در شیب های مختلف [۲۸]

سرپایین				سربالا			شیب تونل (%)
۶	۴	۲	۰	۲	۴	۶	
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۱/۷	۲/۲	۲/۸	ضریب تصحیح (f_i)

از آنجایی که حد مجاز اکسیدهای ازت برای هر سه حالت ترافیکی روان، نیمه سنگین و سنگین به یک اندازه است، لذا با توجه به روابط یاد شده، مقدار هوای لازم برای تهویه این گاز به صورت زیر خواهد بود:

$$Q_{NOx} = 0.5 \times 10^{-3} [200 + 10(117)] \cdot 1/6 \times 1/914 = 2/0.98 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{برای شیب سربالا}$$

$$Q_{NOx} = 0.5 \times 10^{-3} [200 + 10(117)] \cdot 0.57 \times 1/914 = 0.747 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{برای شیب سرپایین}$$

$$Q = (4/195 \times 10^6) / (5 \times 3600) = 158 \text{ m}^3/\text{s}$$

۳-۴-۴- نتایج بدست آمده از روش کلاسیک

نتایج بدست آمده برای شدت جریان لازم جهت تهویه تونل علوی به روش کلاسیک، به تفکیک آلاینده، شرایط ترافیکی و روش محاسبه در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳-۲۴- شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی با استفاده از روش های کلاسیک

شرایط ترافیکی			روش	عامل آلاینده
سنگین (۱۰ km/h)	نیمه سنگین (۴۰ km/h)	روان (۶۰ km/h)		
۱۴۸	۷۳	۵۱	انگلیسی	CO
۱۱۱	۳۸	۳۱	نروژی	
۲۷۱	۶۸	۵۱	فرانسوی	
۳۶۰	۱۸۶	۲۸۳	انگلیسی	دوده
۹۵	۹۵	۹۵	نروژی	
۴۶۸	۳۱۲	۲۶۰	فرانسوی	
۱۵۸	۱۵۸	۱۵۸	کلاسیک	NO _x

۳-۵- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه تونل به روش پیارک^۱

۳-۵-۱- مقدمه

انجمن جهانی راه (پیارک)، سازمانی غیرانتفاعی بوده که در سال ۱۹۰۹ با هدف بهبود همکاری های بین المللی و پیشرفت در زمینه راه و حمل و نقل جاده ای تاسیس شده است. روش ارائه شده در این بخش در طرح استراتژیک پیارک در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۸ تعریف شده که به تایید شورای انجمن جهانی راه که اعضای آن، نمایندگان دولت های کشورهای مختلف هستند، رسیده است [۲۹].

در این روش، سعی شده است تا با مطالعه و بروزرسانی اطلاعات خودروهای موجود در جاده ها که هرکدام مقدار مشخصی آلاینده تولید می کنند، حداقل هوای لازم در تونل محاسبه گردد. قبل از استفاده از جداول تهیه شده توسط پیارک در تعیین میزان تولید آلاینده ها، می بایست قوانین حاکم به منطقه شامل زمان استفاده و سابقه مقرراتی آن در نظر گرفته شود. از آن جایی که همواره مدل های جدید وسایل نقلیه وارد ناوگان حمل و نقل جاده ای می شوند، مقررات مربوط به آلاینده ها و همچنین اطلاعات مربوط به آلاینده های خودروهایی با سیستم پیشران متفاوت (مانند خودروهای هیبریدی، برقی و ...) می بایست پیوسته بروز رسانی شوند [۲۹].

در روش پیارک، اتوموبیل ها به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

سواری شخصی (PC)^۲

^۱ - PIARC

^۲ - Passenger Cars

ماشین های سواری (کاری) سبک مانند وانت، خاور و ... (LDV)^۱

ماشین های سنگین مانند تریلی، اتوبوس و ... (HGV)^۲

ماشین های با سوخت جایگزین مانند CNG و ...

اگر مورد یک و دو تحت یک عنوان داده شوند، ۱۵٪ سواری را LDV در نظر می گیریم [۲۹].

در روش پیارک نیز مانند روش های کلاسیک، شدت جریان هوای تازه برای تهویه گازهای کربن مونوکسید، اکسیدهای ازت، دوده و ذرات معلق در هوا محاسبه می شود.

یکی از پارامترهای مورد نیاز در محاسبات به روش پیارک، تعداد وسایل نقلیه در تونل (n_{veh}) است. جدول ۳-۲۵، مقدار متوسط اوج ترافیک را بسته به شهری یا جاده ای بودن تونل ها در سرعت های مختلف نشان می دهد.

جدول ۳-۲۵- داده های متوسط اوج ترافیکی [۲۹]

چگالی متوسط اوج ترافیک (pcu/km) در هر لاین					
جریان ترافیک (pcu/h) در هر لاین					
تونل های جاده ای					
ترافیک در هر دو جهت			ترافیک در یک جهت		
تعداد وسیله نقلیه در هر ساعت	تعداد وسیله نقلیه در هر کیلومتر	تعداد وسیله نقلیه در هر ساعت	تعداد وسیله نقلیه در هر کیلومتر	سرعت (km/h)	جریان ترافیک
۱۴۰۰	۲۳	۱۸۰۰	۳۰	۶۰	ترافیک روان
۶۰۰	۶۰	۷۰۰-۸۵۰	۷۰	۱۰	ترافیک متراکم
-	۱۵۰	-	۱۵۰	۰	توقف کامل
تونل شهری					
ترافیک در هر دو جهت			ترافیک در یک جهت		
تعداد وسیله نقلیه در هر ساعت	تعداد وسیله نقلیه در هر کیلومتر	تعداد وسیله نقلیه در هر ساعت	تعداد وسیله نقلیه در هر کیلومتر	سرعت (km/h)	جریان ترافیک
۱۵۰۰	۲۵	۲۰۰۰	۳۳	۶۰	ترافیک روان

^۱ - Light Duty Vehicles

^۲ - Heavy Good Vehicles

ادامه جدول ۳-۲۵- داده های متوسط اوج ترافیکی [۲۹]

ترافیک متراکم	۱۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۸۵	۸۵۰
توقف کامل	۰	۱۶۵	-	۱۶۵	-

با توجه به داده های ترافیکی تونل علوی [۲۲]، متوسط ترافیک ساعتی تونل شامل ۶۳۴ دستگاه خودرو می باشد که از این تعداد، ۲۳۴ دستگاه ماشین سنگین و ۴۰۰ دستگاه به طور کل وسایل نقلیه سبک و کامیونت هستند. طبق توصیه انجمن پیارک ۱۵٪ این مقدار، به عنوان کامیونت (LDV) در نظر گرفته می شود. که به این ترتیب ۶۰ دستگاه LDV و ۳۴۰ دستگاه سواری خواهیم داشت.

بنابراین به طور متوسط از کل اتومبیل های داخل تونل، ۳۷٪ ماشین های سنگین (HGV)، ۹٪ ماشین های سبک باری (LDV) و ۵۴٪ ماشین های سبک (PC) هستند.

با توجه به این آمار و همچنین جدول ۳-۲۵، تعداد وسایل نقلیه در داخل تونل در هر ساعت، در شرایط ترافیکی مختلف مطابق با جدول ۳-۲۵ خواهد بود.

جدول ۳-۲۶- تعداد وسایل نقلیه در تونل علوی در شرایط ترافیکی مختلف

شرایط ترافیکی	نوع وسیله نقلیه	pcu/km	طول تونل (km)	تعداد کل وسایل نقلیه در دو لاین	تعداد هر نوع وسيله نقلیه	
روان	PC	۲۳	۱/۹۱۴	۹۰	۴۸	
	LDV				۸	
	HGV				۳۴	
متراکم	PC	۶۰		۲۳۰	۱۲۴	
	LDV					۲۱
	HGV					۸۵
توقف کامل	PC	۱۵۰		۵۷۴	۳۱۰	
	LDV					۵۲
	HGV					۲۱۲

هوای تازه مورد نیاز با توجه به حجم هوای مورد نیاز برای تهویه هر آلاینده بدست می آید. نرخ شدت جریان هوا با استفاده از رابطه زیر بدست می آید که برای هر وسیله نقلیه حساب شده و با یکدیگر طبق رابطه جمع می شوند [۲۹].

$$Q = \sum (n_{veh} \cdot Q_o) \cdot \frac{1}{c_{adm} - c_{amb}} \quad (3-18)$$

که در این رابطه:

$$Q = \text{شدت جریان هوا بر حسب متر مکعب (m}^3/\text{h)};$$

$$n_{veh} = \text{تعداد وسایل نقلیه در داخل تونل};$$

$$Q_o = \text{میزان انتشار گاز کربن مونوکسید و اکسید ازت بر حسب گرم بر ساعت بر تعداد وسایل نقلیه (g/h.veh)}$$

$$\text{و دوده بر حسب متر مربع بر ساعت بر تعداد وسایل نقلیه (m}^2/\text{h.veh)};$$

$$C_{adm} = \text{حد مجاز آلاینده بر حسب گرم بر متر مکعب (g/m}^3\text{)};$$

$$C_{amb} = \text{مقدار آلاینده موجود در هوای تونل بر حسب گرم بر متر مکعب (g/m}^3\text{) و}$$

$$K_{adm} = \text{ضریب اطفای مجاز (m}^{-1}\text{) است.}$$

میزان انتشار گازهای آلاینده (Q) از رابطه زیر محاسبه می شود:

برای ماشین های سواری و کاری سبک:

$$Q_o = q_{ex}(v, i) \cdot f_h \cdot f_t \cdot f_e + q_{ne}(v) \quad (3-19)$$

برای ماشین های سنگین:

$$Q_o = q_{ex}(v, i) \cdot f_h \cdot f_t \cdot f_e \cdot f_m + q_{ne}(v) \quad (3-20)$$

که در آن ها:

$$q_{ex}(v, i) = \text{فاکتور انتشار پایه آلاینده که بسته به سرعت حرکت و شیب جاده بدست می آید (بر حسب}$$

$$\text{g/h.veh برای کربن مونوکسید و اکسیدهای ازت و یا m}^2/\text{h.veh برای دوده)};$$

$$f_h = \text{ضریب ارتفاع};$$

$$f_t = \text{ضریب زمان};$$

$$f_e = \text{ضریب تاثیر مربوط به استانداردهای مختلف};$$

$$q_{ne} = \text{فاکتور انتشار مربوط به ذرات معلق در هوا (m}^2/\text{h.veh) و}$$

$$f_m = \text{ضریب جرمی برای ماشین های سنگین هستند.}$$

از آن جایی که فاکتور انتشار پایه برای سال مبنای ۲۰۱۰ داده شده است، لذا فاکتور انتشار با پیشرفت تکنولوژی

وسایل نقلیه در سال های بعد تغییر کرده و با ضریب زمانی f_t پیش بینی می شود. همچنین فاکتور انتشارهای

داده شده برای استاندارد تکنولوژیکی خاصی در نظر گرفته شده اند؛ این در حالی ست که استانداردهای متفاوتی

وجود دارد، به همین منظور در محاسبات ضریب f_e نیز برای این منظور در نظر گرفته می شود.

۳-۵-۲- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید (CO) به روش پیارک

با توجه به روابط یاد شده، ابتدا میزان انتشار کربن مونوکسید محاسبه شده و سپس با استفاده از رابطه ۳-۱۵، میزان شدت جریان لازم برای تهویه آن در تونل بدست می آید. برای محاسبه میزان انتشار کربن مونوکسید، پارامترهای موجود در روابط ۳-۱۹ و ۳-۲۰ با توجه به جداول موجود در پیوست ۱ بدست می آید.

شدت جریان هوای لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی در شرایط ترافیکی مختلف به روش پیارک در جداول ۳-۲۷، ۳-۲۸ و ۳-۲۹ محاسبه شده است. در این محاسبات، ضریب ارتفاع (f_h) برابر با ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳-۲۷- میزان انتشار مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپالا

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{co} (g/h.veh)
۶۰	PC	۴۵۵/۲۵۰	۰/۴	۲/۹	-	۱/۶۸	۵۲۹/۷۷
	LDV	۶۱/۶۵۲	۰/۳۵	۳/۵	-	۱/۶۸	۷۷/۲۰۴
	HGV	۲۰۲/۷۵۷	۰/۲۱	۲/۳	۱/۹	۶/۲۴	۱۹۲/۳۱
۱۰	PC	۱۸۷/۹۱۴	۰/۴	۲/۹	-	۰/۲۸	۲۱۸/۲۶۰
	LDV	۶۷/۷۸۲	۰/۳۵	۳/۵	-	۰/۲۸	۸۳/۳۱۳
	HGV	۱۰۲/۸۹۰	۰/۲۱	۲/۳	۱/۹	۱/۰۴	۹۵/۴۶۲
۰	PC	۱۳۰/۸۳	۰/۴	۲/۹	-	۰	۱۵۱/۷۶۳
	LDV	۹/۰۷	۰/۳۵	۳/۵	-	۰	۱۱/۱۱۱
	HGV	۷۸/۶۲	۰/۲۱	۲/۳	۱/۹	۰	۷۲/۱۴۹

جدول ۳-۲۸- میزان انتشار مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپایین

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{co} (g/h.veh)
۶۰	PC	۲۷۲/۰۳۳	۰/۴	۲/۹	-	۱/۶۸	۳۱۷/۲۳۸
	LDV	۷۲/۵۹	۰/۳۵	۳/۵	-	۱/۶۸	۹۰/۶۰۳
	HGV	۹۱/۸۱۶	۰/۲۱	۲/۳	۱/۹	۶/۲۴	۹۰/۴۹۹
۱۰	PC	۱۷۰/۱۱۵	۰/۴	۲/۹	-	۰/۲۸	۱۹۷/۶۱۳
	LDV	۴۹/۲۷	۰/۳۵	۳/۵	-	۰/۲۸	۶۰/۶۳۶
	HGV	۸۰/۷۳۱	۰/۲۱	۲/۳	۱/۹	۱/۰۴	۷۵/۱۲۷
۰	PC	۱۳۰/۸۳	۰/۴	۲/۹	-	۰	۱۵۱/۷۶۳

ادامه جدول ۳-۲۸- میزان انتشار مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک در شیب سرپایین

۱۱/۱۱۱	۰	-	۳/۵	۰/۳۵	۹/۰۷	LDV
۷۲/۱۴۹	۰	۱/۹	۲/۳	۰/۲۱	۷۸/۶۲	HGV

جدول ۳-۲۹- شدت جریان لازم برای تهویه کربن مونوکسید در تونل علوی به روش پیارک

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	شیب	Q _{CO} (g/h.veh)	N	C _{adm} -C _{amb} (ppm)	Q (m ³ /s)
۶۰	PC	سربالا	۵۲۹/۷۷	۲۴	۷۰	۸۵
		سرپایین	۳۱۷/۲۳۸	۲۴		
	LDV	سربالا	۷۷/۲۰۴	۴		
		سرپایین	۹۰/۶۰۳	۴		
	HGV	سربالا	۱۹۲/۳۱	۱۷		
		سرپایین	۹۰/۴۹۹	۱۷		
۱۰	PC	سربالا	۲۱۸/۲۶۰	۶۲		۱۱۴
		سرپایین	۱۹۷/۶۱۳	۶۲		
	LDV	سربالا	۸۳/۳۱۳	۱۱		
		سرپایین	۶۰/۶۳۶	۱۰		
	HGV	سربالا	۹۵/۴۶۲	۴۳		
		سرپایین	۷۵/۱۲۷	۴۲		
۰	PC	سربالا	۱۵۱/۷۶۳	۱۵۵		۲۰۸
		سرپایین	۱۵۱/۷۶۳	۱۵۵		
	LDV	سربالا	۱۱/۱۱۱	۲۶		
		سرپایین	۱۱/۱۱۱	۲۶		
	HGV	سربالا	۷۲/۱۴۹	۱۰۶		
		سرپایین	۷۲/۱۴۹	۱۰۶		

۳-۵-۳- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای ترقیق دوده به روش پیارک

مانند آنچه برای کربن مونوکسید گفته شد، در مورد دوده نیز، ابتداء حجم دوده تولید شده توسط وسایل نقلیه با استفاده از روابط ۳-۱۹ و ۳-۲۰ برای هر نوع وسیله نقلیه محاسبه شده و سپس با استفاده از رابطه ۳-۱۸، میزان شدت جریان مورد نیاز جهت تهویه دوده محاسبه می شود.

برای بدست آوردن فاکتور انتشار تولید دوده توسط هر نوع وسیله نقلیه، از جداول پیوست ۱ استفاده شده است. همچنین تعداد وسایل نقلیه نیز از جداول ۳-۲۵ و ۳-۲۶ بدست آمده است.

با توجه به اینکه ضریب ارتفاع (f_h) برابر با ۱ در نظر گرفته شده است، نتایج مربوط به محاسبه شدت جریان لازم برای ترقيق دوده در تونل علوی در جدول های ۳-۳۰ تا ۳-۳۲ آورده شده است.

جدول ۳-۳۰- میزان انتشار دوده در تونل علوی به روش پیارک در شیب سربالا

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	Q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{NOx} ($m^2/h.veh$)	n	K (m^{-1})	Q (m^3/s)
۶۰	PC	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۷	۸۷/۳۴۵
	LDV	۱۰/۲۲۳	۰/۱۵	۲/۶	-	۷/۹	۱۱/۸۸۷	۸		
	HGV	۳۸/۳۴۷	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۲۹/۳	۶۱/۹۴۱	۳۴		
۱۰	PC	-	-	-	-	-	-	-		۷۲/۶۹۱
	LDV	۲/۴۳۴	۰/۱۵	۲/۶	-	۱/۳	۲/۲۴۹	۲۱		
	HGV	۱۸/۹۰۹	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۴/۹	۲۰/۹۹۵	۸۵		
۰	PC	-	-	-	-	-	-	-		۱۰۷/۳۴۴
	LDV	۲/۵۸	۰/۱۵	۲/۶	-	۰	۱/۰۰۶	۵۲		
	HGV	۱۴/۷	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۰	۱۲/۵۱۳	۲۱۲		

جدول ۳-۳۱- میزان انتشار دوده در تونل علوی به روش پیارک در شیب سربایین

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	Q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{NOx} ($m^2/h.veh$)	n	K (m^{-1})	Q (m^3/s)
۶۰	PC	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۷	۸۷/۳۴۵
	LDV	۳/۶۲۸	۰/۱۵	۲/۶	-	۷/۹	۹/۳۱۵	۸		
	HGV	۱۶/۵۴۴	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۲۹/۳	۴۳/۳۸۲	۳۴		
۱۰	PC	-	-	-	-	-	-	-		۷۲/۶۹۱
	LDV	۰/۸۷۰	۰/۱۵	۲/۶	-	۱/۳	۱/۶۳۹	۲۱		
	HGV	۱۳/۶۲۳	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۴/۹	۱۶/۴۹۶	۸۵		
۰	PC	-	-	-	-	-	-	-		۱۰۷/۳۴۴
	LDV	۲/۵۸۰	۰/۱۵	۲/۶	-	۰	۱/۰۰۶	۵۲		
	HGV	۱۴/۷۰۰	۰/۱۶	۲/۸	۱/۹	۰	۱۲/۵۱۳	۲۱۲		

جدول ۳-۳۲- شدت جریان لازم برای تهویه دوده در تونل علوی به روش پیارک

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	شیب	Q_{co} ($m^2/h.veh$)	N	K (m^{-1})	Q (m^3/s)
۶۰	LDV	سربالا	۱۱/۸۸۷	۴	۰/۰۰۷	۷۴
		سربایین	۹/۳۱۵	۴		
	HGV	سربالا	۶۱/۹۴۱	۱۷		

ادامه جدول ۳-۳۲- شدت جریان لازم برای تهویه دوده در تونل علوی به روش پیارک

		۱۷	۴۳/۳۸۲	سرپایین		
۶۵		۱۱	۲/۲۴۹	سربالا	LDV	۱۰
		۱۰	۱/۶۳۹	سرپایین		
		۴۳	۲۰/۹۹۵	سربالا	HGV	
		۴۲	۱۶/۴۹۶	سرپایین		
۱۰۷		۲۶	۱/۰۰۶	سربالا	LDV	.
		۲۶	۱/۰۰۶	سرپایین		
		۱۰۶	۱۲/۵۱۳	سربالا	HGV	
		۱۰۶	۱۲/۵۱۳	سرپایین		

۳-۵-۴- محاسبه شدت جریان هوای لازم برای ترقیق اکسیدهای ازت (NO_x) به روش پیارک

محاسبات برای تعیین شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت در تونل همانند دو قسمت پیشین انجام می شود. در جداول پیوست ۱، فاکتورهای انتشار پایه اکسیدهای ازت را برای انواع وسایل نقلیه آورده شده است.

مانند دو قسمت پیشین ضریب ارتفاع برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده از محاسبات مربوط به شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت در تونل علوی در جدول های ۳-۳۳ تا ۳-۳۵ آمده است.

جدول ۳-۳۳- میزان انتشار اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک در شیب سر بالا

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	Q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{NOx} (g/h.veh)	n	$C_{adm}-C_{amb}$ (ppm)	Q (m^3/s)
۶۰	PC	۷۰/۴۲۷	۰/۲۲	۲/۸	-	۱/۶۸	۴۵/۰۶۳	۴۸	۸	۴۴۰/۶۲۳
	LDV	۶۰/۷۴۴	۰/۳۰	۱/۵	-	۱/۶۸	۲۹/۰۱۵	۸		
	HGV	۱۰۲۶/۰۰۹	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	۶/۲۴	۶۳۷/۸۵۱	۳۴		
۱۰	PC	۲۳/۵۲۴	۰/۲۲	۲/۸	-	۰/۲۸	۱۴/۴۹۱	۱۲۴		۳۳۸/۴۶۸
	LDV	۲۸/۹۰۱	۰/۳۰	۱/۵	-	۰/۲۸	۱۳/۲۸۵	۲۱		
	HGV	۳۱۲/۵۹۳	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	۱/۰۴	۱۹۳/۴۷۲	۸۵		
.	PC	۶/۹۷	۰/۲۲	۲/۸	-	.	۴/۲۹۳	۳۱۰		۳۱۵/۳۹۶
	LDV	۱۳/۶۳	۰/۳۰	۱/۵	-	.	۶/۱۳۳	۵۲		
	HGV	۱۱۹/۶	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	.	۷۳/۶۲۶	۲۱۲		

جدول ۳-۳۴- میزان انتشار اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک در شیب سر پایین

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	q_{ex}	f_t	f_e	f_m	q_{ne}	Q_{NOx} (g/h.veh)	n	$C_{adm-Camb}$ (ppm)	Q (m^3/s)
۶۰	PC	۲۶/۷۷۱	۰/۲۲	۲/۸	-	۱/۶۸	۱۶/۶۷۲	۴۸	۸	۴۴۰/۶۲۳
	LDV	۳۳/۵۹۵	۰/۳۰	۱/۵	-	۱/۶۸	۱۶/۷۹۸	۸		
	HGV	۲۵۳/۱۴۷	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	۶/۲۴	۱۶۲/۰۷۷	۳۴		
۱۰	PC	۱۵/۵۵۱	۰/۲۲	۲/۸	-	۰/۲۸	۹/۸۵۹	۱۲۴		۳۳۸/۴۶۸
	LDV	۱۸/۸۱۲	۰/۳۰	۱/۵	-	۰/۲۸	۸/۷۴۵	۲۱		
	HGV	۱۸۱/۶۰۸	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	۱/۰۴	۱۱۲/۸۳۸	۸۵		
۰	PC	۶/۹۷	۰/۲۲	۲/۸	-	۰	۴/۲۹۳	۳۱۰		۳۱۵/۳۹۶
	LDV	۱۳/۶۳	۰/۳۰	۱/۵	-	۰	۶/۱۳۳	۵۲		
	HGV	۱۱۹/۶	۰/۱۸	۱/۸	۱/۹	۰	۷۳/۶۲۶	۲۱۲		

جدول ۳-۳۵- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک

سرعت (km/h)	نوع وسیله نقلیه	شیب	Q_{CO} (g/h.veh)	N	$C_{adm-Camb}$ (ppm)	Q (m^3/s)
۶۰	PC	سربالا	۴۵/۰۶۳	۲۴	۸	۲۷۹
		سرپایین	۱۶/۶۷۲	۲۴		
	LDV	سربالا	۲۹/۰۱۵	۴		
		سرپایین	۱۶/۷۹۸	۴		
	HGV	سربالا	۶۳۷/۸۵۱	۱۷		
		سرپایین	۱۶۲/۰۷۷	۱۷		
۱۰	PC	سربالا	۱۴/۴۹۱	۶۲		۲۷۰
		سرپایین	۹/۸۵۹	۶۲		
	LDV	سربالا	۱۳/۲۸۵	۱۱		
		سرپایین	۸/۷۴۵	۱۰		
	HGV	سربالا	۱۹۳/۴۷۲	۴۳		
		سرپایین	۱۱۲/۸۳۸	۴۲		
۰	PC	سربالا	۴/۲۹۳	۱۵۵		۳۱۵
		سرپایین	۴/۲۹۳	۱۵۵		
	LDV	سربالا	۶/۱۳۳	۲۶		
		سرپایین	۶/۱۳۳	۲۶		
	HGV	سربالا	۷۳/۶۲۶	۱۰۶		

ادامه جدول ۳-۳۵- محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه اکسیدهای ازت در تونل علوی به روش پیارک

	سرپایین	۷۳/۶۲۶	۱۰۶		
--	---------	--------	-----	--	--

۳-۵-۵- نتایج بدست آمده از روش پیارک

در جدول زیر نتایج بدست آمده از روش پیارک برای محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه تونل علوی به تفکیک شرایط ترافیکی و آلاینده ها آورده شده است.

جدول ۳-۳۶- نتایج بدست آمده برای شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی از روش پیارک

عامل آلاینده	شرایط ترافیکی		
	روان	نیمه سنگین	سنگین
CO	۸۵	۱۱۴	۲۰۸
دوده	۷۴	۶۵	۱۰۷
NO _x	۲۷۹	۲۷۰	۳۱۵

۳-۶- محاسبه شدت جریان در مواقع آتش سوزی

در این حالت، ابتدا فرض می شود که دو تانکر حامل سوخت در تونل با یکدیگر برخورد کرده اند و آهنگ رهایش گرما برابر با ۲۰۰ MW در دمای ۲۰۰ C است. با توجه به مشخصات عمومی تونل علوی، ابتدا با استفاده از رابطه ۳-۲۱ که به عنوان مدل بدون بعد^۱ [۳۶]، سرعت بحرانی محاسبه شده و سپس شدت جریان مورد نیاز در داخل تونل بدست می آید.

$$u_c^* = \begin{cases} 0.181 Q^{*\frac{1}{3}}, & Q^* \leq 0.115 \\ 0.43, & Q^* > 0.115 \end{cases} \quad (3-21)$$

که در آن:

 $u_c^* =$ سرعت بحرانی بدون بعد (m/s) $Q^* =$ آهنگ رهایش گرما بدون بعد (kW)مقادیر Q^* و u_c^* به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_o \cdot C_p \cdot T_o \cdot g^{\frac{1}{3}} \cdot H^{\frac{5}{3}}} \quad (3-22)$$

¹ Non-dimensional Model

$$u_c^* = \frac{u_c}{\sqrt{gH}} \quad (۳-۲۳)$$

که در این روابط:

$\dot{Q}$ = آهنگ رهائش گرما (kW)،

ρ_o = جرم مخصوص هوا (kg/m^3)،

C_p = ظرفیت گرمایی (J/kg.K)،

T_o = دمای محیط آتش سوزی (K)،

g = شتاب گرانش زمین (m/s^2)،

H = ارتفاع تونل (m) و

u_c = سرعت بحرانی (m/s)

با توجه به اینکه ارتفاع تونل برابر با ۷/۶۳ m است، Q^* برابر با ۱/۱۳۰ می شود و از آن جایی که این رقم بیشتر از ۰/۱۵ است، بنابر ضابطه دوم رابطه ۱۷، u_c^* برابر با ۰/۴۳ در نظر گرفته می شود. سپس، بر اساس رابطه ۳-۲۳، سرعت بحرانی برابر با ۳/۷۱۸ m/s بدست می آید.

با در نظر گرفتن سطح مقطع تونل با مقدار ۶۵/۶ m^2 ، شدت جریان لازم با سرعت بحرانی ۳/۷۱۸ m/s برابر با ۲۴۴ m^3/s خواهد بود.

۳-۷- انتخاب شدت جریان نهایی

جهت مقایسه بهتر، نتایج بدست آمده از محاسبات شدت جریان به روش های مختلف در جدول ۳-۳۷ برای کربن مونوکسید، دوده و اکسید ازت گردآوری شده است.

جدول ۳-۳۷- شدت جریان هوای لازم به روش های کلاسیک، پیارک و در مواقع آتش سوزی (m^3/s)

شرایط ترافیکی			روش	عامل آلاینده
سنگین	نیمه سنگین	روان		
۱۴۸	۷۳	۵۱	انگلیسی	CO
۱۱۱	۳۸	۳۱	نروژی	
۲۷۱	۶۸	۵۱	فرانسوی	
۲۰۸	۱۱۴	۸۵	پیارک	
۳۶۰	۱۸۶	۲۸۳	انگلیسی	دوده
۹۵	۹۵	۹۵	نروژی	

ادامه جدول ۳-۳۷- شدت جریان هوای لازم به روش های کلاسیک، پیارک و در مواقع آتش سوزی (m³/s)

۴۶۸	۳۱۲	۲۶۰	فرانسوی	
۱۰۷	۶۵	۷۴	پیارک	
۱۵۸	۱۵۸	۱۵۸	کلاسیک	NO _x
۳۱۵	۲۷۰	۲۷۹	پیارک	
۲۴۴			در مواقع آتش سوزی	

با توجه به اینکه داده ها بسیار پراکنده هستند، از تحلیل آماری برای بدست آوردن میانگین این مقادیر استفاده می شود. بنابراین، شدت جریان نهایی با میانگین گیری از اعدادی به دست می آید که در محدوده زیر قرار گیرند:

$$m - \delta < Q_{final} < m + \delta \quad (۳-۲۴)$$

که در آن:

δ = انحراف معیار و

m = میانگین داده ها است.

مقادیر یاد شده در جدول ۳-۳۸ آورده شده است.

جدول ۳-۳۶- میانگین، واریانس و انحراف معیار شدت جریان های محاسبه شده به روش های گوناگون (m³/s)

شرایط ترافیکی	روان	نیمه سنگین	سنگین
میانگین	۱۴۶	۱۴۷	۲۲۶
واریانس	۱۰۱۹۸	۸۷۵۲	۱۴۲۳۷
انحراف معیار	۱۰۱	۹۴	۱۱۹

حال با توجه به رابطه ۳-۲۴، در هر حالت ترافیکی، مقادیری که به اندازه انحراف معیار از میانگین فاصله دارند را در نظر گرفته و با میانگین گیری از آن ها، شدت جریان نهایی بدست می آید. این میانگین گیری، برای بدترین حالت، یعنی شرایط ترافیکی سنگین انجام می شود.

برای تونل علوی، رابطه ۳-۲۴ به شکل زیر خواهد بود:

$$۱۰۷ < A < ۳۴۵$$

در این حالت، مجموعه A به شکل زیر خواهد بود:

$$A = \{۱۴۸, ۱۱۱, ۲۷۱, ۲۰۸, ۱۰۷, ۱۵۸, ۳۱۵, ۲۴۴\}$$

با میانگین گیری از اعداد مجموعه A، شدت جریان نهایی برابر با مقدار $155 \text{ m}^3/\text{s}$ می شود.

۳-۸- جمع بندی

برای محاسبه شدت جریان لازم به منظور تهویه هوای تونل علوی، از روش های کلاسیک و روش پیشنهادی انجمن جهانی راه (پیارک) استفاده شده است. از آنجایی که هرکدام از این روش ها مقدار متفاوتی را به عنوان شدت جریان هوای بدست داده اند، از یک تحلیل آماری برای بدست آوردن شدت جریان نهایی استفاده شده است و در نهایت مقدار $155 \text{ m}^3/\text{s}$ به عنوان شدت جریان هوای لازم در تونل علوی در نظر گرفته شده است.

فصل چهارم

محاسبه افت فشار و انتخاب جت فن

۴-۱- آشنایی

پس از محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه آلاینده های منتشر شده از وسایل نقلیه، نوبت به محاسبه افت فشار هوای تونل می رسد.

در تونل علوی با توجه به عوامل مختلف و محدودیت های محیطی از جمله توپوگرافی منطقه و اقتصادی بودن روش تهویه، سیستم تهویه طولی برای تهویه تونل در نظر گرفته شده است که با توجه به طول زیاد تونل و ابعاد آن، تهویه طولی با استفاده از بادبرن های سقفی (جت فن) انتخاب شده است. علاوه بر عوامل یاد شده، در هنگام آتش سوزی، این نوع سیستم تهویه، جریان دود را از بالادست منبع آتش سوزی خارج کرده که باعث می شود این امکان برای مسافران داخل تونل فراهم شود تا از مسیر پایین دست منبع آتش سوزی از تونل خارج شوند.

با توجه به لزوم استفاده از تهویه طولی در تونل علوی، در این بخش ابتدا افت فشار به وجود آمده در طول تونل محاسبه شده و سپس با در نظر گرفتن پارامترهای فنی، اجرایی و اقتصادی، جت فن مناسب برای تهویه انتخاب خواهد شد.

۴-۲- محاسبه افت فشار تونل

به طور کلی، افت فشار تونل شامل افت فشار مربوط به دهانه ورودی، افت فشار مربوط به دهانه خروجی، افت فشار حاصل از اثر پیستونی وسایل نقلیه، افت فشار استاتیکی، افت فشار دینامیکی و افت فشار مربوط به باد محلی است. در رابطه ۳-۱ افت فشار کلی نشان داده شده است [۲۳]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{en,ex} + \Delta P_P + \Delta P_S + \Delta P_D \pm \Delta P_W \quad (۱-۴)$$

که در آن:

$$\Delta P_T = \text{افت فشار کلی؛}$$

$$\Delta P_{en,ex} = \text{افت فشار مربوط به دهانه های ورودی و خروجی؛}$$

$$\Delta P_P = \text{افت فشار مربوط به اثر پیستونی ناشی از حرکت خودروها در داخل تونل؛}$$

$$\Delta P_S = \text{افت فشار استاتیکی؛}$$

$$\Delta P_D = \text{افت فشار دینامیکی؛}$$

$$\Delta P_W = \text{افت فشار مربوط به باد محلی است که همگی بر حسب پاسکال هستند.}$$

۴-۲-۱- محاسبه افت فشار مربوط به دهانه های ورودی و خروجی

افت فشار مربوط به دهانه ورودی و خروجی با استفاده از روابط ۴-۲ و ۴-۳ بدست می آیند:

$$\Delta P_{en} = \xi \rho v^2 \quad (۲-۴)$$

$$\Delta P_{ex} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3-4)$$

که در این روابط:

ξ = ضریب افت فشار مربوط به شکل دهانه که برای تونل علوی ۰/۱ در نظر گرفته شده است؛

ρ = وزن مخصوص هوا که برابر با ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب است؛

v = سرعت متوسط هوا در داخل تونل بر حسب متر بر ثانیه که در مورد تونل علوی برابر با ۲/۴ متر بر ثانیه است.

بدین ترتیب افت فشار دهانه ورودی و خروجی به شکل زیر محاسبه می شود:

$$\Delta P_{en} = 0.1 \times 1/2 \times (2/4)^2 = 0.0625 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{ex} = \frac{1}{2} \times 1/2 \times (2/4)^2 = 0.0625 \text{ Pa}$$

۴-۲-۲- محاسبه افت فشار استاتیکی و دینامیکی

مهمترین عامل افت فشار استاتیکی، افت فشار حاصل از اصطکاک هوا با جداره تونل است. این بخش حدود ۹۰ درصد کل افت فشار استاتیکی را تشکیل می دهد. به همین دلیل، در بسیاری از موارد، ۱۰ درصد به این مقدار افزوده و برابر با کل افت فشار استاتیکی در نظر می گیرند. افت های موضعی که در اثر وجود انحنای در مسیر، بزرگ یا کوچک شدن سطح مقطع و یا تغییر شکل آن به وجود می آید نیز بخش دیگری از افت فشار استاتیکی را تشکیل می دهد [۲۳].

افت فشار دینامیکی نیز، ناشی از خروج هوای تونل به جو و یا وجود اتومبیل ها در مسیر حرکت است [۲۳].

از آن جایی که سیستم تهویه طولی برای تونل انتخاب شده است، لذا شدت جریان هوا در طول تونل ثابت است. بنابراین افت فشار استاتیکی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta P_f = RQ^2 \quad (4-1)$$

که در آن:

ΔP_f = افت فشار استاتیکی بر حسب میلی متر آب (کیلوگرم نیرو بر متر مربع)؛

Q = شدت جریان هوا بر حسب متر مکعب بر ثانیه و

R = مقاومت آیرودینامیکی (مجموع مقاومت های اصطکاکی و موضعی) تونل بر حسب کیلومتر است [۳۰].

برای محاسبه مقاومت اصطکاکی تونل از رابطه زیر استفاده می شود:

$$R = \frac{\alpha l p}{A^r} \quad (۲-۴)$$

که در آن:

α = ضریب اصطکاک تونل؛

l = طول تونل بر حسب متر؛

p = محیط تونل بر حسب متر؛

A = سطح مقطع تونل بر حسب متر مربع [۳۰].

برای محاسبه ضریب اصطکاک جداره تونل علوی که دارای مقطع غیر دایره ای بوده و دیواره ها پوشش بتنی صافی دارند، از فرمول زیر استفاده می شود:

$$\alpha = \frac{0.015}{\left[1/74 + 1/63 \log \left(\frac{4/8 \sqrt{A}}{d_0} \right) \right]^2} \quad (۳-۴)$$

که در آن:

A = سطح مقطع تونل بر حسب متر مربع؛

d_0 = میزان ناهمواری های سطح دیواره تونل بر حسب متر است که از جدول ۴-۱ بدست می آید.

جدول ۴-۱- میزان ناهمواری دیواره تونل برای پوشش های مختلف [۳۱]

اندازه d_0 (m)	نوع پوشش تونل
۰/۰۰۰۲۵	بتن صاف
۰/۰۰۰۷۰	بتن خشن
۰/۰۰۱۳۰	آجرکاری
۰/۰۰۸۰۰	پوشش سنگی
۰/۰۲۰۰۰	پوشش سنگی خشن

سطح مقطع تیپ تونل برابر با ۶۵/۶ متر مربع است، در نتیجه ضریب α برای آن به شکل زیر محاسبه می شود:

$$\alpha_1 = \frac{0.015}{\left[1/74 + 1/63 \log \left(\frac{4/8 \sqrt{65.6}}{0.00025} \right) \right]^2} = 1/44 \times 10^{-3}$$

مقدار مقاومت استاتیکی برای تونل علوی به شکل زیر خواهد بود:

$$\Delta P_s = R Q^2 \quad (4-4)$$

$$R = \frac{1/44 \times 10^{-3} \times 1914 \times 31}{(65/6)^2} = 0.3 \times 10^{-3}$$

بدین ترتیب مقدار افت فشار استاتیکی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta P_s = 0.3 \times 10^{-3} \times (155)^2 = 7.207 \text{ kg/m}^2 = 70.705 \text{ Pa}$$

افت فشار دینامیکی هوا نیز از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta P_D = \gamma \frac{V^2}{2g} \quad (5-3)$$

که در آن:

ΔP_D = افت فشار دینامیکی هوا بر حسب کیلوگرم نیرو بر متر مربع (kg/m^2)؛

γ = وزن مخصوص هوا که برابر با $1/2 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته شده است؛

V = سرعت هوا بر حسب متر بر ثانیه؛

g = شتاب گرانش بر حسب متر بر مجذور ثانیه است.

به همین ترتیب، افت فشار دینامیکی در تونل علوی به شکل زیر محاسبه می شود:

$$\Delta P_D = 1/2 \times \frac{(2/4)^2}{2(9/8)} = 0.353 \text{ kg/m}^2 = 3.456 \text{ Pa}$$

۴-۲-۳- محاسبه افت فشار ناشی از باد محلی

برای محاسبه افت فشار ناشی از باد محلی، از رابطه زیر استفاده می شود:

$$\Delta P_w = \frac{1}{2} \gamma V_w^2 \quad (6-4)$$

که در آن:

ΔP_w = افت فشار ناشی از باد محلی بر حسب پاسکال؛

γ = وزن مخصوص هوا که برابر با $1/2$ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود؛

$V =$ سرعت باد محلی بر حسب متر بر ثانیه است که برای تونل علوی برابر با $4/9$ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

افت فشار مربوط به باد محلی برای تونل علوی از قرار زیر است:

$$\Delta P_w = \frac{1}{2} \times 1/2 \times (4/9)^2 = 14/41 \text{ Pa}$$

۴-۲-۴- محاسبه افت فشار کلی

از آن جایی که تونل علوی دو طرفه است، اثر پیستونی ناشی از حرکت اتومبیل ها در داخل تونل برابر با صفر در نظر گرفته می شود.

مقدار افت فشارهای مختلف در داخل تونل در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۲-۴- افت فشارهای مختلف موثر در تونل علوی

نوع افت فشار	مقدار افت فشار (Pa)
افت فشار در دهانه ورودی تونل	۰/۶۹۱
افت فشار در دهانه خروجی تونل	۳/۴۵۶
افت فشار استاتیکی	۷۰/۷۰۵
افت فشار دینامیکی	۳/۴۵۶
افت فشار ناشی از باد محلی	۱۴/۴۱

از آن جایی که سیستم تهویه طولی برای تهویه تونل انتخاب شده است، افت فشار کلی برابر با مجموع افت فشارهای جزئی خواهد بود. بنابراین افت فشار کلی در تونل علوی به صورت زیر است:

$$\Delta P_t = 0/691 + 3/456 + 70/705 + 3/456 + 14/410 = 93 \text{ Pa}$$

۴-۳- انتخاب جت فن

پس از بدست آمدن افت فشار هوا در داخل تونل، نوبت به انتخاب جت فن می رسد. به این منظور، در ادامه مشخصات فنی تعدادی جت فن از دو شرکت مطرح در زمینه تهویه آورده شده است تا از میان آن ها مناسب ترین نوع جت فن برای تونل انتخاب شود.

جدول ۴-۳- مشخصات فنی جت فن های شرکت Korf nann سری AL [۳۷]

مدل	توان (kW)	سرعت دوران (m/s)	فشار خروجی (Pa)	شدت جریان (m^3/s)	قطر بدنه (mm)	قطر لوله شیپوری (mm)	ارتفاع (mm)	وزن (kg)
AL 12-450	۴۵/۰	۲۹/۲	۵۲۰	۳۳/۰	۱۲۰۰	۱۲۶۰	۱۵۷۵	۱۰۰۰
AL 12-550	۵۵/۰	۳۳/۶	۷۰۰	۳۸/۰	۱۲۰۰	۱۲۶۰	۱۵۷۰	۱۱۰۰
AL 12-750	۷۵/۰	۳۸/۵	۹۰۰	۴۳/۵	۱۲۰۰	۱۲۶۰	۱۶۱۰	۱۳۶۰

جدول ۴-۴- مشخصات فنی جت فن های شرکت Novenco سری AUR [۳۸]

مدل	توان (kW)	سرعت دوران (RPM)	سرعت هوا (m/s)	شدت جریان (m^3/s)	قطر (mm)	ارتفاع (mm)	وزن (kg)
Novenco 900/403-6	۱۵	۱۴۷۰	۲۷/۴۲	۱۷/۴۴	۱۱۱۵	۱۱۱۸	۴۶۰
Novenco 1000/403-6	۲۲	۱۴۷۰	۳۰/۳۲	۲۳/۸۱	۱۲۱۵	۱۲۱۸	۵۱۰
Novenco 1120/403-6	۳۰	۱۴۷۰	۳۲/۲۶	۳۱/۷۹	۱۳۳۸	۱۳۳۹	۵۶۰
Novenco 1250/403-6	۳۷	۱۴۷۰	۳۲/۱۸	۳۹/۴۹	۱۶۵۰	۱۵۶۰	۶۱۰

جدول ۴-۵- مشخصات فنی جت فن های شرکت ابزار تونل جهان (ATJ) مدل ۱۲ J AR [۳۹]

مدل	بیشینه نیرو (N)	شدت جریان (m^3/s)	سرعت (m/s)	توان موتور (kW)	سرعت دوران (rpm)
JAR 12-22/4	۹۴۶	۳۰/۶	۲۷/۱	۲۲	۱۵۰۰
JAR 12-30/4	۱۰۹۲	۳۳/۳	۲۹/۴	۳۰	۱۵۰۰
JAR 12-37/4	۱۲۵۰	۳۵/۶	۳۱/۵	۳۷	۱۵۰۰
JAR 12-45/4	۱۴۴۰	۳۸/۲	۳۳/۷	۴۵	۱۵۰۰

جدول ۴-۶- مشخصات فنی جت فن های شرکت تجهیز تونل جوان [۴۰]

مدل	توان (N/kW)	سرعت دوران rpm	قطر (cm)	شدت جریان (m^3/s)	فشار (Pa)
JF60	۱۵ (۱۸/۵)	۳۰۰۰	۶۰	۸/۹	۳۲۰۰
JF70	۳۷	۳۰۰۰	۷۰	۱۲/۸	۴۰۰۰
JF90	۵۵ (۷۵)	۳۰۰۰	۹۰	۱۸/۵-۲۲	۴۸۰۰-۵۲۰۰

برای انتخاب جت فن، از دو روش استفاده شده است.

الف) انتخاب جت فن در شرایطی که منحنی مشخصه آن موجود است [۲۳]:

ابتدا به طور پیش فرض، تعدادی جت فن با مدل های مختلف در نظر گرفته شده است. سپس برای هر مدل، طول قسمتی از تونل که مربوط به هر جت فن است، از تقسیم طول تونل بر تعداد بادبزن های فرضی بدست آمده است. در مرحله بعد، شدت جریان هوایی که حاصل از نصب این مجموعه از جت فن ها بوده از رابطه گومنیوک^۱ [۳۱] بدست آمده است:

$$Q_t = Q_f \sqrt{\frac{A}{a (\lambda/2 R A^2 + 1)}} \quad (۷-۴)$$

که در آن:

Q_t = شدت جریان هوای به وجود آمده در تونل با تعداد جت فن انتخاب شده (m^3/s);

Q_f = شدت جریان هوایی که از هر جت فن خارج می شود (m^3/s);

A = سطح مقطع تونل (m^2);

a = سطح مقطع خروجی بادبزن یا لوله کوتاه متصل به آن (m^2);

R = مقاومت قسمتی از تونل که تهویه آن بر عهده یک بادبزن است (k morgue) است.

همچنین گومنیوک، شرایطی را که طی آن می توان از جت فن برای تهویه استفاده کرد شرح داده است به این شکل که هرگاه مقاومت قسمتی از تونل که جت فن برای آن کار می کند، از مقاومت حد که از رابطه ۳-۸ به دست می آید، کمتر باشد، می توان از جت فن برای تهویه استفاده کرد. اگر مقاومت محاسبه شده از مقاومت حد بیشتر باشد، می بایست از روش های دیگری برای تهویه تونل بهره برد.

$$R_c = \frac{0.122}{A} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{A} \right) \quad (۸-۴)$$

که در آن:

R_c = مقاومت حد (k morgue);

A = سطح مقطع تونل (m^2);

a = سطح مقطع خروجی جت فن (m^2) است.

برای بدست آوردن Q_f (شدت جریان هوایی که از بادبزن خارج می شود) می منحنی مشخصه کلی جت فن که تغییرات مجموع فشارهای استاتیکی و دینامیکی هوای خروجی بادبزن نسبت به شدت جریان است، رسم شده

¹- Gumenyuk

است. برای این کار، پس از رسم منحنی مشخصه خود بادبزن، تعدادی خطوط قائم رسم شده و مختصات آن ها خوانده شده است. سپس برای هر نقطه از طریق رابطه زیر فشار دینامیکی هوا محاسبه شده است.

$$P_{vi} = \gamma \frac{\left(\frac{Q_i}{a}\right)^2}{2g} \quad (9-4)$$

که در آن:

P_{vi} = فشار دینامیکی (Pa)؛

γ = وزن مخصوص هوا که برابر با $1/2 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته شده است؛

Q_i = شدت جریان قرائت شده از روی منحنی مشخصه جت فن (m^3/s)؛

a = سطح مقطع جت فن (m^2) و

g = شتاب گرانش که برابر با $9/81 \text{ m/s}^2$ در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبه فشار دینامیکی در هر نقطه، مقدار بدست آمده با فشار خوانده شده از منحنی مشخصه جت فن جمع شده است. با رسم نقاط جدید بدست آمده در دستگاه مختصات فشار کلی بر حسب شدت جریان، منحنی مشخصه کلی جت فن بدست آمده است.

پس از رسم منحنی مشخصه کلی جت فن، منحنی مشخصه لوله کوتاه متصل به بادبزن ها در همان دستگاه مختصات رسم شده است که به صورت سهمی هایی با معادله $\Delta P = R_1 Q^2$ هستند و از مبدا مختصات می گذرند. مقدار R_1 از رابطه زیر بدست می آید [۳۱]:

$$R_1 = \frac{0.0612 \xi}{a^5} \quad (10-4)$$

که در آن ξ ضریب افت موضعی در اثر گشاد شدن ناگهانی مقطع بوده و از رابطه زیر معروف به رابطه خاروف^۱ بدست می آید [۳۱]:

$$\xi = k \left(1 + \frac{\alpha}{0.01} \right) \quad (11-4)$$

که در آن:

k = ضریبی که مقدار آن از جدول ۷-۴ بدست می آید و

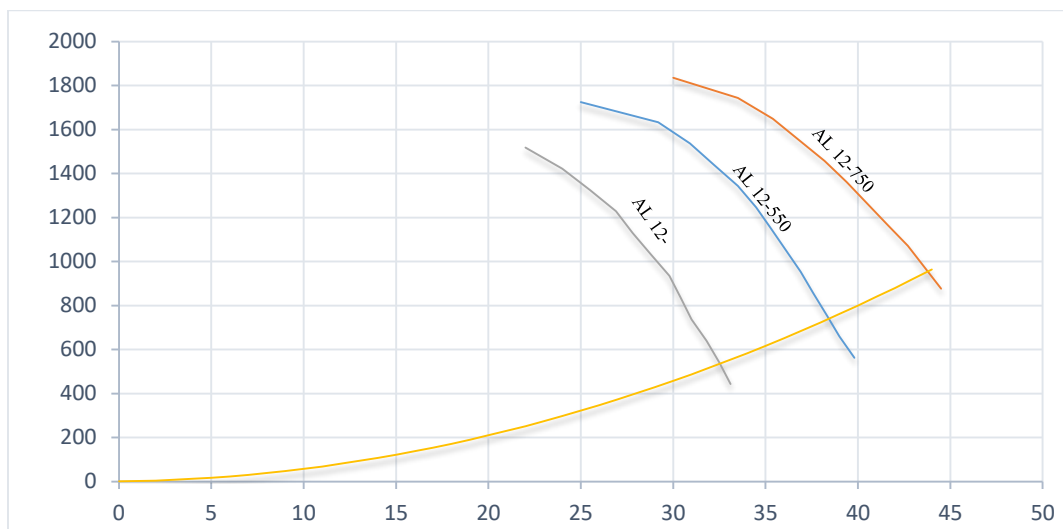
α = ضریب اصطکاک تونل است.

جدول ۷-۴- مقادیر ضریب k برای استفاده در رابطه خاروف [۳۱]

نسبت a/A	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳
k	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۶۸	۰/۵۲

با استفاده از اطلاعات یاد شده منحنی $\Delta P = R_1 Q^2$ رسم می شود. طول محل برخورد این منحنی با منحنی مشخصه کلی جت فن، مقدار Q_f را در رابطه ۷-۴ نشان می دهد. در این حالت، اگر مقدار شدت جریان بدست آمده از رابطه ۷-۴ کمتر از مقدار مورد نظر باشد، باید از جت فن بزرگتر استفاده شده و یا فاصله جت فن ها کمتر در نظر گرفته شود.

در شکل ۱-۴ منحنی مشخصه کلی جت فن ها و منحنی مشخصه لوله کوتاه متصل به سه مدل از جت فن های شرکت کورفمان^۱ آورده شده است:



شکل ۱-۴- منحنی های مشخصه کلی جت فن های شرکت Korfmann و منحنی مشخصه لوله کوتاه متصل به آن ها

در جدول زیر مقادیر Q_f و Q_t برای هر سه مدل جت فن انتخابی شرکت کورفمان آورده شده است:

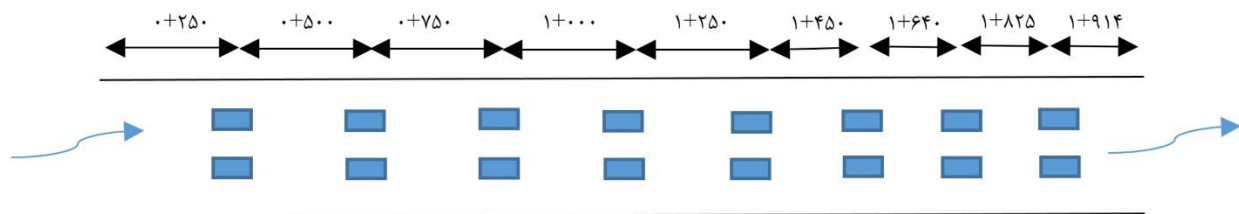
جدول ۸-۴- مقدار شدت جریان محاسبه شده طبق رابطه گومنیوک برای جت فن های شرکت Korfmann

مدل	$(m^3/s) Q_f$	$(m^3/s) Q_t$
AL 12-750	۴۳/۵	۲۵۵/۵۶
AL 12-550	۳۸/۳	۲۲۵/۰۱
AL 12-450	۳۲/۴	۱۹۰/۳۵

^۱ - Korfmann

از آن جایی که شدت جریان مورد نیاز برای تهویه تونل علوی در فصل قبل برابر با $155 \text{ m}^3/\text{s}$ محاسبه شد، در نتیجه از بین سه جت کورفمان، مدل AL 12-450 نزدیک ترین مقدار را به این عدد داراست. با انتخاب این جت فن، می بایست تعداد ۱۶ جت فن در ۸ ردیف دو تایی به فواصل تقریبی ۲۵۰ متر در تونل نصب شود چرا که در این مدل از آرایش تونل، با استفاده از جت فن های با قطر بیشتر می توان فاصله بین جت فن ها را زیاد در نظر گرفت اما برای جبران آن از آرایش دوقلو که ترجیح بیشتری دارد استفاده کرد. تعداد جت فن های در نظر گرفته شده نیز از تقسیم افت فشار کلی مورد نیاز در تونل بر فشار محوری جت فن ها که از کاتالوگ جت فن بدست آمده محاسبه شده است.

شکل ۴-۲ شمایی از نصب این نوع جت فن در تونل را نشان می دهد.



شکل ۴-۲- شمایی از نصب جت فن های شرکت Korfmann در تونل علوی

لازم به ذکر است که این مدل از جت فن انتخابی، پیشنهاد مشاور پروژه نیز بود است، اما برای اطمینان از انتخاب بهترین جت فن برای تونل، تعدادی جت فن از شرکت های دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

(ب) انتخاب جت فن در شرایطی که منحنی مشخصه آن موجود نباشد:

انتخاب جت فن مناسب از بین محصولات شرکت های Novenco، تجهیز تونل جوان و ابزار تونل جوان، به علت موجود نبودن منحنی مشخصه این جت فن ها در کاتالوگ ارائه شده از سوی شرکت، از روش دوم استفاده شده است.

در این روش، ابتدا با استفاده از رابطه ۴-۱۲ فشار محوری مربوط به هر جت فن محاسبه شده است.

$$P_{jetfan} = \rho Q (V_{jetfan} - V) \left(\frac{1}{A} \right) (\eta_1 \eta_2 \eta_3) \quad (4-12)$$

که در آن:

P_{jetfan} = فشار محوری جت فن (Pa)؛

ρ = وزن مخصوص هوا که $1/2 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته شده است؛

V_{jetfan} = سرعت هوای خروجی از هر جت فن (m/s)؛

V = سرعت هوای داخل تونل (m/s)

$$A = \text{سطح مقطع تونل (m}^2\text{)};$$

η_1 = ضریب کارکرد جت فن که برابر با ۰/۹ در نظر گرفته شده است؛

η_2 = ضریب نصب جت فن که از جدول ۹-۴ بدست می آید و

η_3 = ضریب فاصله طولی بین جت فن ها که برابر با ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۹-۴- مقدار ضریب نصب جت فن (η_2)

وضعیت فن نصب شده در تونل	ضریب نصب (η_2)
یک فن چسبیده به سقف و دیواره تونل	۰/۷
یک فن که بدنه آن تا سقف و دیواره تونل به اندازه نصف قطر دهانه خروجی فن فاصله دارد	۰/۸
یک فن که بدنه آن تا سقف و دیواره تونل به اندازه قطر دهانه خروجی فن فاصله دارد	۰/۹
یک فن در تو رفتگی دیواره یا سقف تونل	۰/۸
چندین فن در تو رفتگی دیواره یا سقف تونل	۰/۷

اگر فاصله بین جت فن ها، برای جت فن های بدون تیغه منحرف کننده هوا، حداقل ۱۰ برابر قطر هیدرولیکی و برای جت فن های مجهز به تیغه منحرف کننده هوا، ۶ تا ۸ برابر قطر هیدرولیکی تونل باشد، ضریب فاصله طولی برابر با ۱ در نظر گرفته می شود.

پس از محاسبه فشار محوری جت فن ها، برای محاسبه تعداد فن ها برای نصب در طول تونل، طبق رابطه ۴-۱۳، افت فشاری که باید در طول تونل ایجاد شود بر فشار محوری جت فن مورد نظر تقسیم شده است. فاصله بین ردیف های هر جت فن ۸ تا ۱۰ برابر قطر هیدرولیکی تونل در نظر گرفته شده است.

$$n = \left[\frac{\Delta P}{P_{jetfan}} \right] + 1 \quad (4-13)$$

در جدول های ۴-۱۰ تا ۴-۱۲، فشار محوری جت فن های انتخاب شده از شرکت های مختلف همراه با تعداد مورد نیاز از هر جت فن آورده شده است.

جدول ۴-۱۰- فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت Novenco

مدل	P_{jetfan} (Pa)	تعداد جت فن برای نصب در تونل
Novenco 900/403-6	۵/۶۷	۱۷
Novenco 1000/403-6	۸/۶۴	۱۱
Novenco 1120/403-6	۱۲/۳۴	۸
Novenco 1250/403-6	۱۵/۲۵	۷

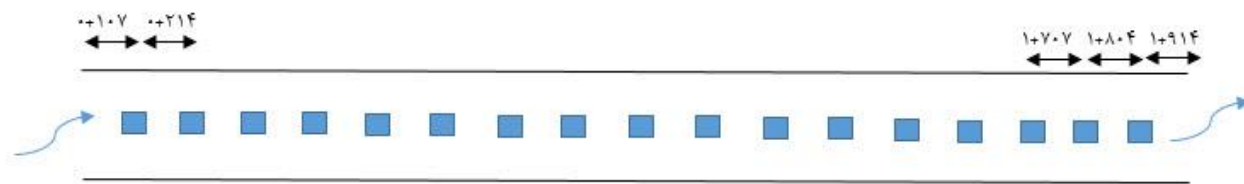
جدول ۴-۱۱- فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت ابزار تونل جهان

مدل	P_{jetfan} (Pa)	تعداد جت فن برای نصب در تونل
JAR 12-22/4	۹/۸۳	۱۰
JAR 12-30/4	۱۱/۶۹	۸
JAR 12-37/4	۱۳/۴۷	۷
JAR 12-45/4	۱۵/۵۴	۶

جدول ۴-۱۲- فشار محوری جت فن ها و تعداد آن ها برای جت فن های شرکت تجهیز تونل جوان

مدل	P_{jetfan} (Pa)	تعداد جت فن برای نصب در تونل
JF60	۳/۳۷	۲۸
JF70	۵/۱۴	۱۹
JF90	۹/۲۰	۱۱

با توجه به فاصله بین جت فن ها، جت فن مدل 900/403-6 از شرکت Novenco انتخاب شده است. در شکل ۴-۳ شمایی از نصب این مدل جت فن در تونل علوی نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- شمایی از نصب جت فن های شرکت Novenco در تونل علوی

۴-۵- مقایسه اقتصادی جت فن های انتخاب شده برای تهویه تونل علوی

همانطور که گفته شد، برای تهویه تونل علوی، دو مدل جت فن، یکی از شرکت Novenco ساخت کشور هلند و دیگری از شرکت Korfmann ساخت کشور آلمان انتخاب شد.

جت فن شرکت korfmann با آرایش دوقلوی ۱۶ جت فن در ۸ ردیف، پیشنهاد مشاور پروژه نیز بوده است که مدل AL 12-450 آن قطری برابر با ۱۲۰۰ میلی متر دارد. قیمت حدودی هر تک جت فن از این مدل همراه با لوله های شیپوری، تجهیزات نصب و دیگر قطعات چیزی در حدود ۱۵۰۰۰ دلار در سال انجام این پژوهش تعیین شده است. برای جت فن شرکت Novenco که از آرایش تکی با استفاده از ۱۷ جت فن از مدل 900/403-6 سری AUR استفاده شده است، قیمت حدودی هر جت فن حدود ۹۵۰۰ دلار در سال انجام این پروژه تعیین شده است.

در جدول ۴-۱۳ برخی قابلیت ها و همینطور قیمت جت فن های هر دو مدل برای مقایسه بهتر آورده شده است.

جدول ۴-۱۳- قیمت و قابلیت جت فن های انتخاب شده برای تهویه تونل علوی

مدل	Korfmann (AL12-450)	Novenco (900/403-6)
قیمت حدودی هر جت فن (دلار)	۱۵۰۰۰	۹۵۰۰
قیمت کلی جت فن های طرح (دلار)	۲۴۰۰۰۰	۱۶۱۵۰۰
جنس بدنه	فولاد	فولاد
جنس پره ها	سیلومین	آلیاژ آلومنیوم
معکوس پذیر	خیر	بله
ضد شعله و حریق	خیر	خیر
توضیحات	دارای موتور با قابلیت تغییر قطب، قابلیت تنظیم جداگانه هر پره	دارای سنسور لرزش، دارای زنجیر ایمنی و محافظ

برند مورد استفاده در آرایش دوقلو، سرمایه اولیه بیشتری نیاز داشته و همینطور فاقد قابلیت معکوس پذیری است. در مقابل، برند مورد استفاده در آرایش تکی، در مواقع مورد نیاز می تواند به صورت معکوس کار کند و از هزینه سرمایه ای پایین تری برخوردار است. البته با توجه به مشخصات هر دو جت فن در قسمت قبل، جت فن برند Korfmann دارای قطر بزرگتر، توان بالاتر و قابلیت تولید شدت جریان بیشتری در تونل است.

۴-۶- جمع بندی

با توجه به مقدار شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل علوی که در فصل قبل محاسبه شد، در این فصل با در نظر گرفتن مولفه های مختلف فشار، افت فشار کلی در تونل علوی محاسبه شد. پس از آن مشخصات چندین جت فن بررسی شد که در نهایت دو جت فن از شرکت های Korfmann و Novenco انتخاب شد. در فصل بعد با استفاده از شبیه سازی بر پایه دینامیک سیالات محاسباتی عملکرد هر دوی این جت فن ها در تونل علوی هنگام بروز آتش و توانایی آن ها در جلوگیری از عقبزدگی لایه دود بررسی خواهد شد.

۵

فصل پنجم

مدلسازی آتش در تونل علوی

۵-۱- مقدمه

همانطور در فصل اول گفته شد، نرم افزارهای مختلفی برای شبیه سازی عددی مساله های مبنی بر دینامیک سیالات محاسباتی وجود دارد. با این حال، به علت سهولت دسترسی، در این پژوهش از بسته نرم افزاری انسیس فلوئنت^۱ استفاده شده است.

فلوئنت قابلیت مدل سازی منسجم محدوده وسیعی از مسائل جریان های سیال تراکم ناپذیر و تراکم پذیر، آرام و مغشوش را دارد. به وسیله این نرم افزار می توان مدل های وابسته به زمان^۲ و حالت پایدار^۳ را تحلیل کرد، همچنین فلوئنت می تواند محدوده گسترده ای از مدل های ریاضی پدیده های انتقال (مانند انتقال حرارت^۴ و واکنش های شیمیایی^۵) را با یکدیگر ترکیب کرده و هندسه های پیچیده را مدل کند.

در دو فصل گذشته، محاسبات به منظور طراحی سیستم تهویه در حالت عادی انجام شده و نتایج ارائه شد. در این فصل با در نظر گرفتن یک سناریو آتش در تونل، شرایط ایجاد شده در تونل توسط نرم افزار شبیه سازی شده است و مراحل آن در ادامه ارائه شده است.

پس از آن که آتش سوزی در تونل رخ می دهد، تونل یک طرفه شده و وسایل نقلیه از تونل خارج می شوند به طوری که در پایین دست آتش، هیچ وسیله نقلیه ای وجود نداشته باشد. در این وضعیت، جت فن ها برای تامین سرعت بحرانی و جلوگیری از پدیده عقب زدگی در بالا دست آتش به فعالیت خود ادامه می دهند.

مدل سازی در تونل علوی در دو فاز حالت تهویه عادی و حالت آتش سوزی در تونل انجام شده است. در ادامه ابتدا معادلات حاکم بر مساله معرفی شده و سپس مراحل مدل سازی ابتدا برای حالت نرمال و سپس برای حالت آتش توضیح داده خواهد شد.

۵-۲- معادلات و قوانین حاکم بر مدل سازی

محاسبات در مدل سازی تونل علوی توسط بسته نرم افزاری فلوئنت انجام گرفته است که در آن از روش حجم محدود^۶ برای حل معادلات سه بعدی ناویر-استوکس^۷ استفاده می شود. در این بخش معادلات حل شده در مدل سازی جریان سیال معرفی خواهند شد.

1- Ansys Fluent CFD Package

2- Transient

3- Steady state

4- Heat transfer

5- Chemical reaction

6- Finit volume method

7- Navier-Stokes

۵-۲-۱- معادله پیوستگی^۱

قانون بقای جرم در سیالات را با در نظر گرفتن یک حجم کنترل جزئی، می توان به فرم معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی به شکل خلاصه به صورت زیر بیان کرد [۳۲]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (۱-۵)$$

که به این رابطه، معادله پیوستگی گفته می شود [۳۲].

این معادله به شکل جبری زیر نیز قابل بیان است [۳۳]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (۲-۵)$$

این معادله نیازمند فرض خاصی نیست جز اینکه چگالی و سرعت توابع پیوسته هستند. یعنی جریان می تواند پایدار یا ناپایدار، لزج یا بدون اصطکاک، تراکم پذیر یا تراکم ناپذیر باشد [۳۳].

۵-۲-۲- معادله ناویر - استوکس

قانون بقای اندازه حرکت در سیالات را، با در نظر گرفتن یک حجم کنترل جزئی، در یک دستگاه مختصات بدون شتاب، می توان به فرم معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی به شکل خلاصه و برداری، به صورت زیر بیان کرد [۳۴]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{U}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{U} \vec{U}) = -\vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}_B \quad (۳-۵)$$

که در آن:

$$\vec{\tau} = \text{تانسور تنش سیال؛}$$

$$\vec{g} = \text{بردار شتاب گرانش و}$$

$$\vec{F}_B = \text{بردار نیروهای حجمی خارجی است [منبع شماره ۶ ورد].}$$

تانسور تنش برای سیال نیوتنی تراکم پذیر، به صورت زیر قابل بیان است:

$$\vec{\tau} = \mu \left[(\vec{\nabla} \vec{U} + \vec{\nabla} \vec{U}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{U} \vec{I} \right] \quad (۴-۵)$$

که I ماتریس همانی است [۳۲].

معادله بقای اندازه حرکت^۲، بیانگر ۳ رابطه اسکالر مستقل در راستای X، Y و Z است. برای مثال فرم بسط یافته این معادله، برای راستای X به شکل رابطه زیر است [۳۲]:

1- Continuity equation

2- Momentum conservation equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vu) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wu) = & -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} (\vec{\nabla} \cdot \vec{U}) \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \rho g_x + F_{Bx} \end{aligned} \quad (5-5)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} \rho g_x &= \text{نیروی حجمی ناشی از گرانش در راستای } X \text{ و} \\ F_{Bx} &= \text{سایر نیروهای حجمی در راستای } X \text{ است و همچنین [32]:} \end{aligned}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{U} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (5-6)$$

گرچه معادلات ناویر استوکس تنها تعداد محدودی جواب تحلیلی دارد، ولی برای مدلسازی با شبکه‌های کوچک مناسب هستند. حوزه دینامیک سیالات محاسباتی به سرعت در حال گسترش است و نرم افزارهای تجاری بسیاری در دسترس هستند. اکنون امکان بدست آوردن تقریب‌های منطقی وجود دارد و با نگاهی واقع‌بینانه، می‌توان گفت نتایج دینامیک سیالات محاسباتی برای انواع متعددی از جریان‌های لزج دو و سه بعدی پیچیده قابل حصول هستند [33].

۵-۲-۳- قانون گاز ایده آل تراکم پذیر

برای جریان تراکم پذیر، قانون گاز ایده آل به صورت رابطه ۵-۷ تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{P_{op} + P_{lr}}{\frac{R}{M_w} T} \quad (5-7)$$

که در آن:

$$P_{op} = \text{فشار کاری؛}$$

$$P_{lr} = \text{فشار استاتیک محلی نسبی (نسبت به فشار کاری)؛}$$

$$R = \text{ثابت جهانی گازها؛}$$

$$M_w = \text{جرم مولی و}$$

$$T = \text{دماست که از معادله انرژی بدست می‌آید [32].}$$

۵-۲-۴- جریان آشفته^۱

به حرکت سه بعدی، ناپایا و اتفاقی^۲ سیال که در رینولدزهای متوسط و بالا قابل مشاهده است، جریان آشفته گفته می شود [۳۲].

وقتی جریان آشفته، به کمک معادلات ناویر استوکس، مورد بررسی قرار گیرد، در بسیاری از موارد، حل محدوده وسیعی از شرایط از نظر زمانی و فضا توسط شبیه سازی عددی مستقیم^۳، به علت عدم دسترسی به قدرت پردازشی کافی، امکان پذیر نیست. به این دلیل، چاره ای جز اعمال روند میانگین گیری به معادلات ناویر-استوکس وجود ندارد؛ تا به این روش، همه یا بخشی از طیف آشفتگی، جدا گردد. عمده ترین روش میانگین گیری این معادلات، میانگین گیری رینولدز^۴ (در اکثر اهداف عملی، میانگین زمانی) است که به این روش معادلات رینولدز میانگین ناویر استوکس بدست می آید. با انجام این روش، تمام ساختارهای آشفته از جریان حذف می شود و تغییراتی آرام از میدان سرعت و فشار میانگین، قابل دستیابی است. هرچند که روند میانگین گیری، ترم^۵های ناشناخته جدیدی به معادلات انتقال (تنش ها و شارهای رینولدز) می افزاید که نیاز است تا با مدل های آشفتگی مناسب تعیین شوند. کیفیت شبیه سازی به انتخاب درست مدل آشفتگی و به نحو مشابه، مناسب بودن شبکه محاسباتی به مدل انتخاب شده وابسته است. یک جایگزین برای معادلات رینولدز میانگین ناویر استوکس، مدل های آشفتگی شبیه سازی حل مقیاسی^۶ است. با روش های یاد شده، حداقل بخشی از آشفتگی قسمتی از دامنه جریان حل می شود. شناخته شده ترین این روش ها، شبیه سازی ادی های بزرگ^۷ است؛ اما مدل های ترکیبی جدیدی نیز مشاهده شده است. تمامی روش های شبیه سازی حل مقیاسی نیازمند حل زمانی شبیه سازی با گام های زمانی نسبتاً کوچک هستند؛ لذا این روش ها، اساساً هزینه محاسباتی بیشتری نسبت به شبیه سازی با رینولدز میانگین ناویر استوکس دارند [۳۲].

در میانگین گیری رینولدزی، متغیرهای لحظه ای معادلات ناویر استوکس، به دو متغیر میانگین و نوسانی تفکیک می شوند. مؤلفه های سرعت به شکل رابطه زیر تفکیک می شوند:

$$u_i = \bar{u}_i + u_i' \quad (i = 1, 2, 3) \quad (۸-۵)$$

که $\bar{u}_i$ و u_i' به ترتیب قسمت میانگین و نوسانی مؤلفه های سرعت هستند.

برای سایر متغیرهای اسکالر نظیر فشار، انرژی و غلظت گونه ها نیز می توان از رابطه ۵-۹ استفاده کرد.

1- Turbulent flow
 2- random
 3- Direct Numerical Simulation (DNS)
 4- Reynolds-averaging
 5- Term
 6- Scale-Resolving Simulation (SRS)
 7- Large Eddy Simulation (LES)

$$\phi = \bar{\phi} + \phi' \quad (۹-۵)$$

با جایگزین کردن دو رابطه اخیر، در معادله پیوستگی و بقای اندازه حرکت لحظه‌ای و میانگین گیری زمانی (و حذف عبارت‌های میانگین بعثت قرار گیری در مشتقات جزئی)، دو معادله به فرم تانسوری زیر برای پیوستگی و اندازه حرکت حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (۱۰-۵)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \end{aligned} \quad (۱۱-۵)$$

که معادلات ناویر استوکس رینولدز میانگین نامیده می‌شوند که از نظر فرم کلی مشابه معادلات ناویر استوکس لحظه‌ای به همراه مؤلفه‌های سرعت و سایر متغیرهای حل است. متغیرهای اضافه‌ای که مشاهده می‌شود، $(-\rho \overline{u'_i u'_j})$ به اثر آشفتگی جریان اشاره دارند، که تنش‌های رینولدز نامیده می‌شوند و برای حل معادله فوق باید مدل شوند [۳۲].

۵-۲-۵- مدل آشفتگی $k-\varepsilon$

یک حقیقت ناخوشایند این است که یک مدل آشفتگی عمومی برای حل همه نوع مسائل وجود ندارد. انتخاب مدل آشفتگی به ملاحظات نظیر ماهیت فیزیکی جریان، قواعد خاص هر نوع مسئله، دقت محاسباتی مورد نیاز، منابع پردازشی موجود و زمان شبیه‌سازی در دسترس وابسته است. برای انتخاب مدل آشفتگی متناسب با کاربرد دلخواه، به شناخت قابلیت‌ها و محدودیت‌های گزینه‌های مختلف نیاز است [۳۲].

مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای (نظیر مدل آشفتگی $k-\varepsilon$) قدیمی ترین مدل‌های آشفتگی هستند که در کاربردهای صنعتی دینامیک سیالات محاسباتی بیشترین استفاده را دارند [۳۲].

در مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ ، معادلات انتقال بر مبنای انرژی جنبشی آشفتگی k و نرخ اضمحلال ε مدل شده است. معادله انتقال k با حل دقیق استخراج شده، در حالی که معادله انتقال ε با استفاده از استدلال‌های

1- Turbulence kinetic energy
2- Turbulence dissipation rate

فیزیکی و تکیه بر برخی تشابهات در قراین حل دقیق بدست آمده است [۳۲].

• $k - \varepsilon$ استاندارد

مدل آشفتگی $k - \varepsilon$ استاندارد، از زمان ارائه توسط لاندنر^۱ و اسپالدینگ^۲، به پرکاربردترین مدل برای محاسبات جریان در کاربردهای مهندسی تبدیل شده است. قدرت حل بالا، مقرون به صرفه بودن و دقت منطقی برای محدوده وسیعی از جریانهای آشفته، علت محبوبیت آن در شبیه سازیهای صنعتی جریان و انتقال حرارت است. این مدل آشفتگی، یک مدل نیمه تجربی است و استخراج معادلات این مدل بر مبنای ملاحظات پدیده شناسی و تجربی صورت گرفته است.

در مدل آشفتگی $k - \varepsilon$ ، جریان کاملاً آشفته فرض شده و اثر لزجت مولکولی^۳، ناچیز در نظر گرفته شده است. بنابراین مدل آشفتگی $k - \varepsilon$ استاندارد، فقط برای جریانهای کاملاً آشفته معتبر است [۳۲].

۵-۲-۶- معادله انرژی^۴

فرم آشفته معادله انرژی در مدل آشفتگی $k - \varepsilon$ قابل درک به صورت رابطه (۲-۳۳) است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S_h \quad (۱۲-۵)$$

که E انرژی کل و k_{eff} ضریب رسانش گرمایی مؤثر است و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$k_{eff} = k_{tc} + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \quad (۱۳-۵)$$

که k_{tc} ضریب رسانش گرمایی و c_p ظرفیت گرمایی فشار ثابت است. مقدار پیش فرض عدد پرانتل آشفته ۰/۸۵ است [۳۲].

1- Launder
2- Spalding
3- Molecular viscosity
4- Energy equation

۵-۳- مدل سازی تهویه در حالت عادی

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، مدل سازی تونل حاضر در دو بخش تهویه طبیعی و تهویه آتش انجام گرفته است. در این بخش، ابتدا هندسه تونل، سپس شبکه بندی، نحوه مدل سازی و شرایط مرزی و در نهایت نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه خواهد شد.

۵-۳-۱- هندسه تونل

محدوده مورد مطالعه در حالت تهویه نرمال، شامل سازه اصلی تونل و جت فن ها است همانطور که در بخش معرفی تونل علوی گفته شد، طول این تونل برابر با ۱۹۱۴ m متر و سطح مقطع آن $۶۵/۶ \text{ m}^2$ است. دو مدل جت فن برای تونل از شرکت های Novenco و Korfmann در نظر گرفته است که ابعاد و نحوه قرارگیری هر کدام در فصل چهارم توضیح داده شده است.

۵-۳-۲- مش بندی تونل

شبکه بندی مدل در نرم افزار شبکه بندی انسیس^۱ انجام شده است. از آنجایی که طول تونل زیاد است، انتخاب نوع مش تاثیر به سزایی در زمان اجرای مدل و آهنگ همگرایی آن دارد. به علاوه می بایست نوعی از المان مش بندی انتخاب شود که دقت کافی در حل مساله را ایجاد کند. به همین علت، برای مش بندی تونل و جت فن ها، از نوع مش سازمان یافته و المان شش وجهی استفاده شده است.

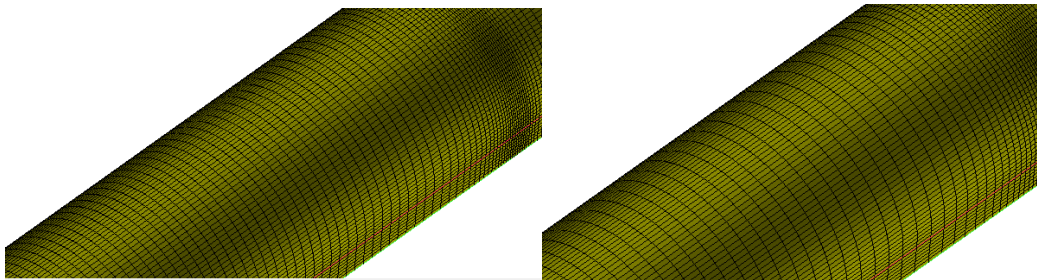
با بالا رفتن تعداد مش در مدل، دقت حل مساله بالا می رود، اما پس از مقدار معینی، میزان بالا رفتن دقت حل به میزان ناچیزی افزایش می یابد. بنابراین، به دلیل آن که تعداد زیاد مش، زمان اجرای مدل را بسیار بالا می رود، برای جلوگیری از این اتلاف وقت، بهتر است تا تعداد مش بهینه شود.

یکی از قسمت های مهم در شبیه سازی عددی عدم وابستگی نتایج آن به تعداد شبکه محاسباتی می باشد. در این بخش با تغییر تعداد شبکه در راستای طول تونل و استخراج داده های سرعت برای هر یک از شبکه های استفاده شده، عدم وابستگی نتایج به تعداد سلول های محاسباتی بررسی شده است. در جدول ۵-۱ تعداد شبکه در هر گام آورده شده است.

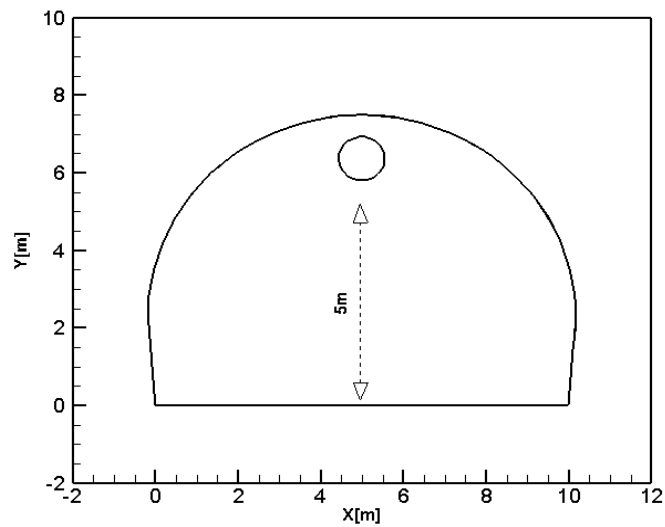
با توجه به شکل ۵-۱، شبکه در راستای طولی در هر گام به نسبت ۱/۴۴ رشد کرده و داده های سرعت مطابق شکل ۵-۲ در ارتفاع ۵ متری از کف تونل برای طولی معادل ۸۰ متر در راستای طولی تونل استخراج و با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۵-۱- تعداد شبکه محاسباتی در هر گام

تعداد شبکه			
گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم
۹۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۹۰۰۰۰۰	۲۶۰۰۰۰۰

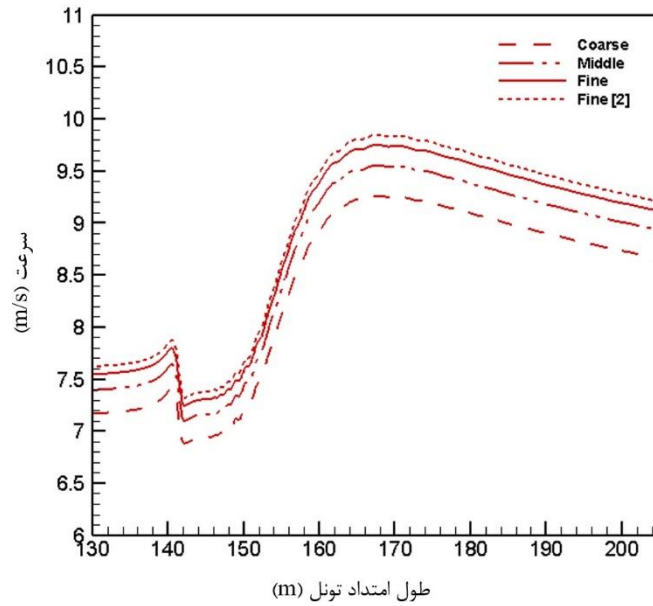


شکل ۵-۱- نحوه تغییر شبکه در راستای طولی (گام سوم-چهارم)



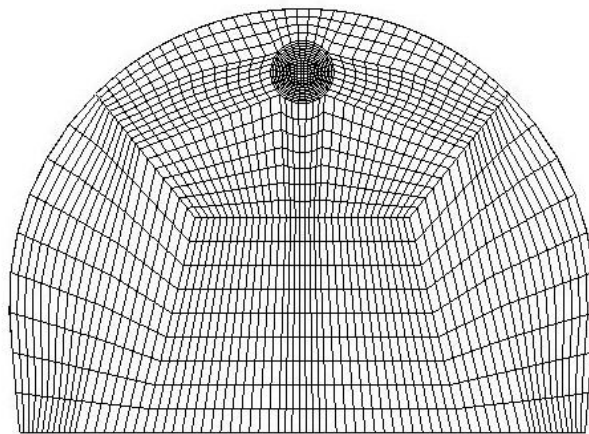
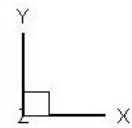
شکل ۵-۲- محل داده برداری سرعت در بررسی استقلال از شبکه

نمودار شکل ۵-۳ داده های سرعت در هر گام شبکه را نشان می دهد. با توجه به اختلاف کم تعداد شبکه در گام سوم و چهارم، تعداد شبکه در سومین گام برای تمام سناریوهای بعدی مورد استفاده قرار گرفته است.

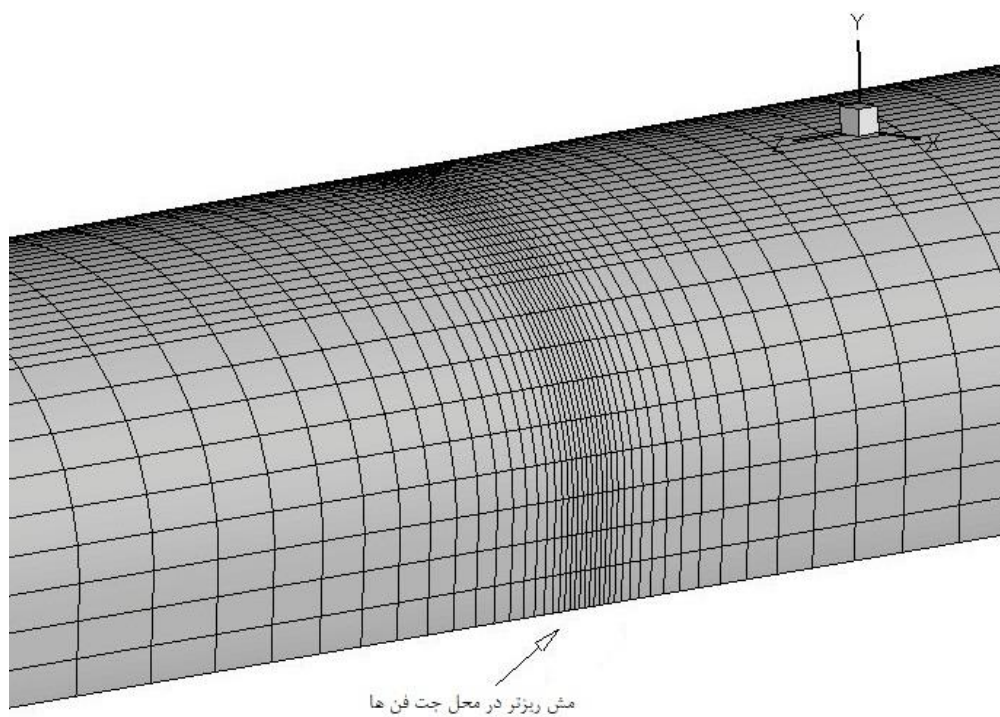


شکل ۳-۵- نمودار استقلال از شبکه

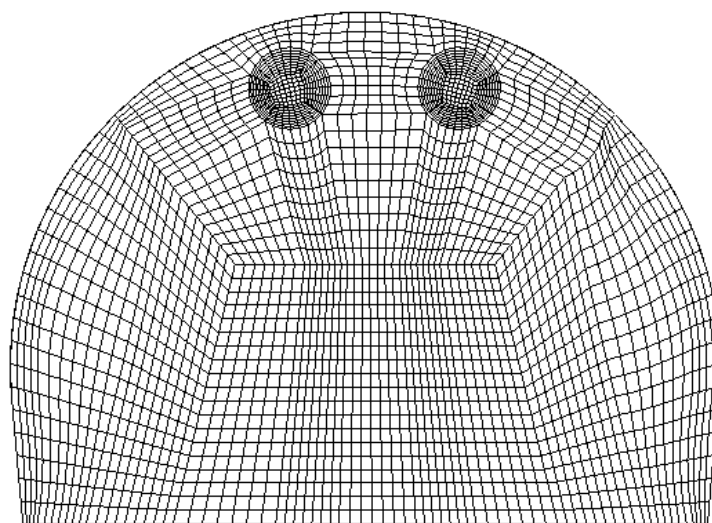
با توجه به مقدار بهینه شده مش، شبکه بندی تونل و جت فن ها انجام شد. شکل های ۴-۵ تا ۷-۵ نمایان گر مش بندی تونل و جت فن ها از زوایای مختلف هستند.



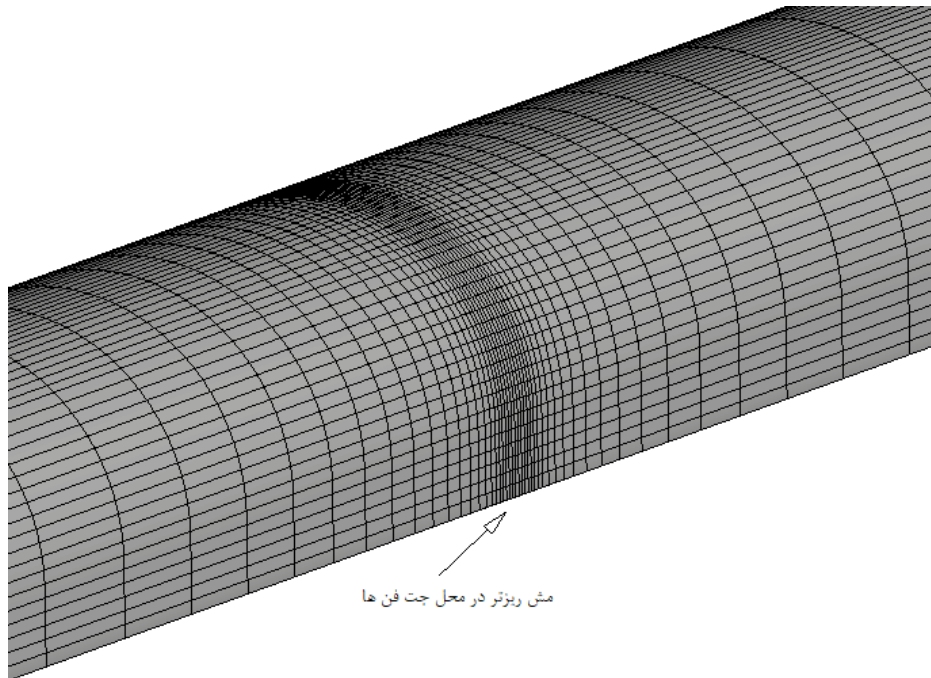
شکل ۴-۵- نمای روبه رو مش تولید شده در تونل علوی مجهز به جت فن شرکت Novenco



شکل ۵-۵- نمای سه بعدی مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت Novenco



شکل ۵-۶- نمای رو به رو مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت Korfmann



شکل ۵-۷- نمای سه بعدی مش تولید شده در تونل مجهز به جت فن شرکت Korfmann

از آن جایی که از آلمان شش وجهی در مش بندی مدل استفاده شده است، به وسیله بلوک بندی قسمت های مختلف، سعی شده تا زاویه مش های تولید شده تا حد امکان نزدیک به نود درجه باشند تا اجرای مدل همگرا شود.

۵-۳-۳- تعیین فیزیک جریان در بسته نرم افزاری فلوئنت

پس از طراحی هندسه و مش بندی آن، مدل آماده ورود به نرم افزار فلوئنت شده است. بعد از تایید مش بندی توسط نرم افزار، با توجه به شرایط مساله، فیزیک جریان می بایست تعیین شود. از آنجایی که سرعت جریان سیال در این مدل کمتر از سرعت صوت بوده و در نتیجه عدد ماخ کمتر از 0.3 بدست می آید، سیال از نوع تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده و مساله بر پایه فشار^۱ حل می شود. معادلات فشار در این شرایط به کمک معادلات پیوستگی و اندازه حرکت حاصل می شود. نیروی جاذبه نیز در معادله اندازه حرکت به صورت m/s^2 9.81 - در جهت y فعال شده است. در حالت تهویه نرمال، به دلیل آن که مساله وابسته به زمان نیست، حل در حالت پایدار^۲ انجام شده است. به دلیل آن که جریان سیال در مدل آشفته است، از مدل استاندارد $k - \epsilon$ برای شبیه سازی آن استفاده شده است. جنس سیال نیز هوا انتخاب شده و ویژگی های آن، همانند گاز ایده آل در نظر گرفته شده است.

1- Pressure based

2- Steady State

در این پژوهش، در حل دامنه مورد مطالعه، به دلیل سادگی و نیاز به زمان کمتر، الگوریتم سیمپل^۱ به کار گرفته شده است. در نهایت مقدار همگرایی و تکرار^۲ حل مساله تعیین شده است.

۵-۳-۴- شرایط مرزی^۳

پس از تعیین معادلات حاکم بر مساله، در مرحله بعد شرایط مرزی تعیین شده است. به این وسیله، رفتار مساله برای حل آن جهت گیری می شود.

در حالت تهویه نرمال، شرایط مرزی به صورت زیر اعمال شده است:

- برای اعمال شرایط مرزی در مرز دهانه تونل، از آن جایی که ابتدا و انتهای تونل به فضای آزاد راه دارد و فشار نسبی هوا برابر با صفر در نظر گرفته شده است، از شرایط مرزی فشار^۴ استفاده شده است.
- برای اعمال شرایط مرزی در مرز دیواره ها و کف تونل و همچنین دیواره های جت فن، از شرایط مرزی دیواره^۵ استفاده شده است.
- برای آن که نشان داده شود که ورودی و خروجی جت فن ها باز بوده و سیال در آن جریان دارد، دهانه های جت فن ها به عنوان اینتریور^۶ به فلوئنت معرفی شده اند. سپس برای شبیه سازی جریان هوای داخل جت فن ها، از قرار دادن منبع مومنتوم روی سیال با استفاده از تراست گزارش شده جت فن در کاتالوگ مربوطه استفاده شده است.

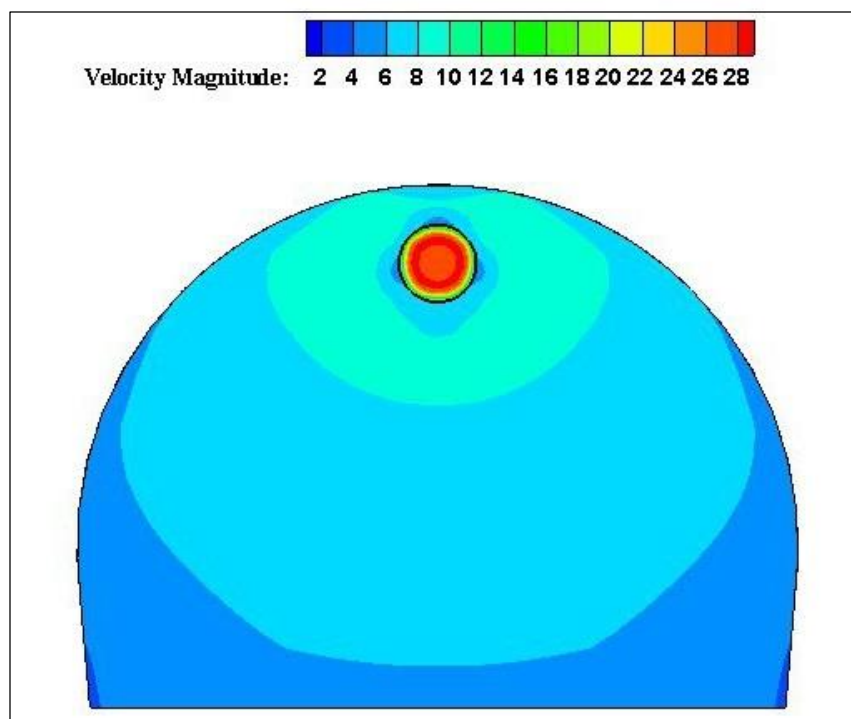
۵-۳-۵- اجرای مدل و نتایج مدل سازی

با توجه به آن چه در قسمت های قبل گفته شد، یک بار تونل با جت فن مدل 900/403-6 از شرکت Novenco و بار دیگر با جت فن های مدل AL 12-450 از شرکت Korfmann مدل سازی شده و به اجرا در آمده است.

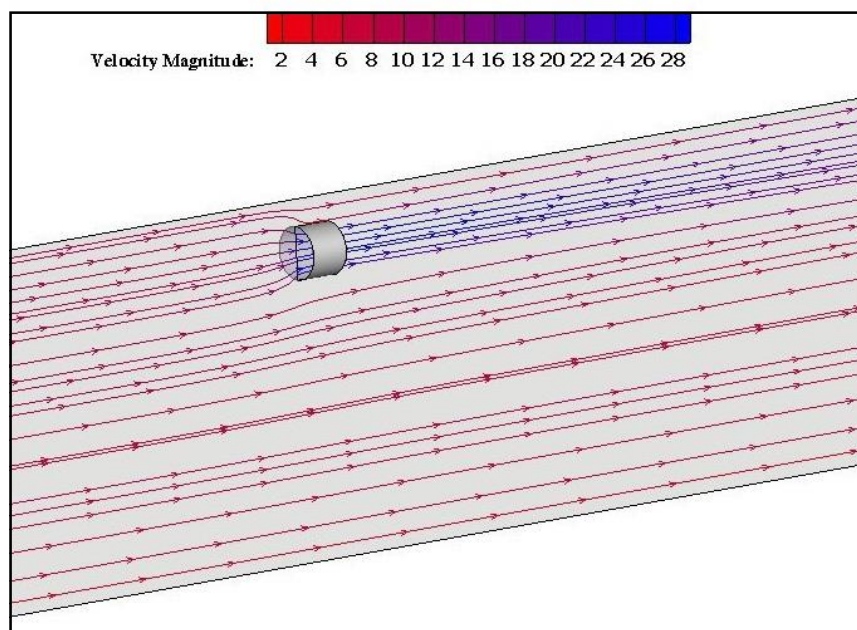
در حالت تهویه نرمال، مدل سازی به زمان وابسته نبوده و تونل بدون وجود آتش فعال شده و با کار کردن جت فن های طراحی شده به حالت تعادل رسیدند.

در شکل های ۵-۸ تا ۵-۱۳ نتایج مدل سازی در حالت تهویه نرمال در غالب کنترهای سرعت و بردار سرعت برای هر دو نوع جت فن آورده شده است.

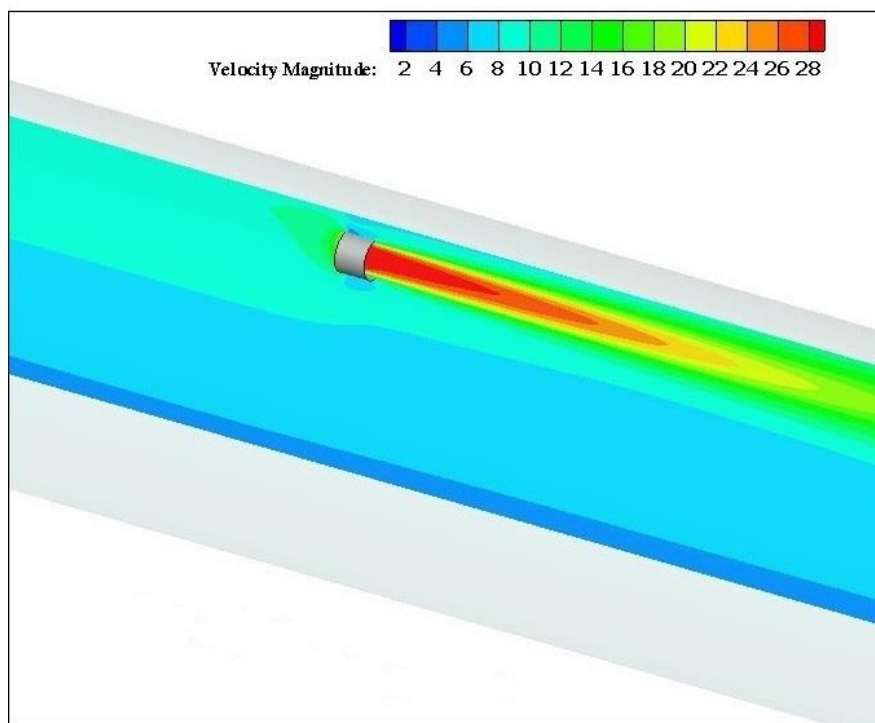
1- Simple
2- Iteration
3- Boundary condition
4- Pressure inlet and outlet boundary condition
5- Wall
6- Interior



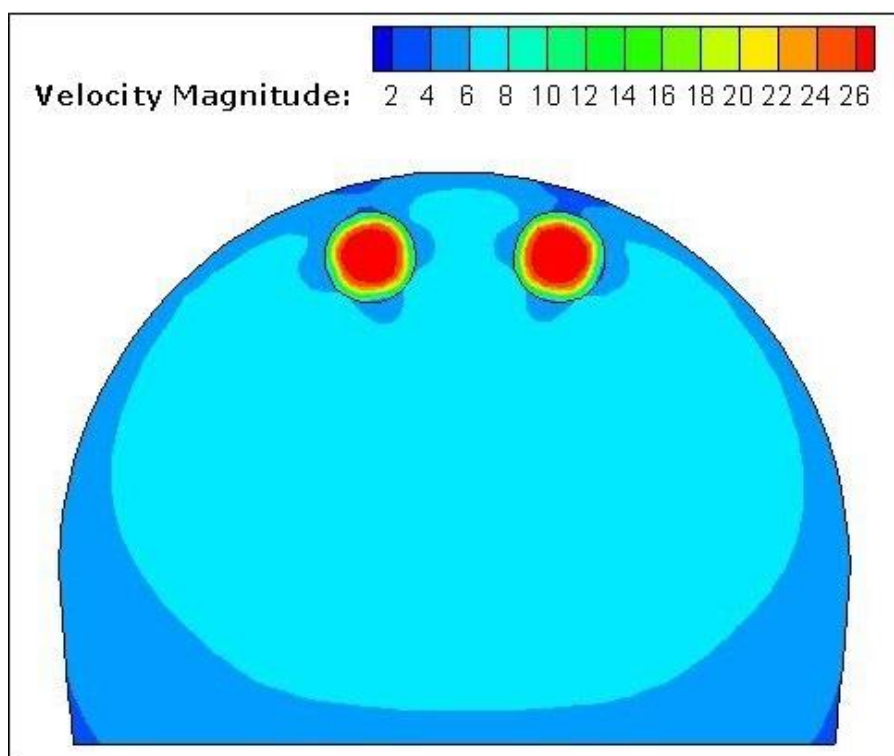
شکل ۵-۸- نمایشی از سرعت جریان هوا در جت فن های شرکت Novenco در حالت تهویه نرمال



شکل ۵-۹- بردارهای سرعت در تونل مجهز به جت فن های شرکت Novenco در حالت تهویه نرمال



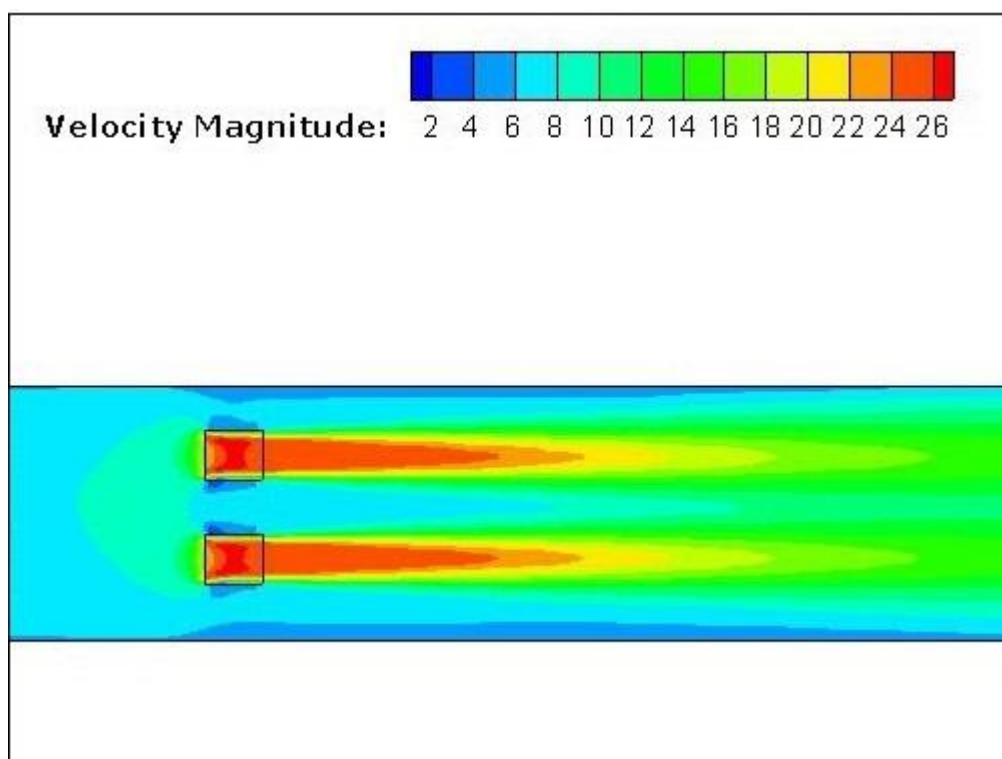
شکل ۵-۱۰- نمایش سه بعدی از سرعت جریان هوا در تونل مجهز به جت فن های شرکت Novenco در حالت تهویه نرمال



شکل ۵-۱۱- نمایشی از سرعت جریان هوا در جت فن های شرکت Korfmann در حالت تهویه نرمال



شکل ۵-۱۲- بردارهای سرعت در تونل مجهز به جت فن های شرکت Korfmann در حالت تهویه نرمال



شکل ۵-۱۳- نمای سه بعدی از سرعت جریان هوا در تونل مجهز به جت فن های شرکت Korfmann در حالت تهویه نرمال

کنتورهای سرعت استخراج شده از نرم افزار که سرعت جریان هوای موجود در تونل را در یک طیف رنگی آبی تا قرمز نشان می دهند. نواحی با رنگ آبی پررنگ تر نشان دهنده قسمت هایی از تونل است که سرعت هوای به وجود آمده در آن به وسیله جت فن کمتر است و هر چه رنگ نواحی به قرمز نزدیک تر می شود، سرعت سیال در آنجا بیشتر است. با توجه به نتایج بدست آمده، از آن جایی که جت فن ها توانسته اند سرعت سیال داخل تونل را به سرعت بحرانی که در فصل قبل محاسبه شد برسانند، عملکرد جت فن ها در حالت عادی قابل قبول است.

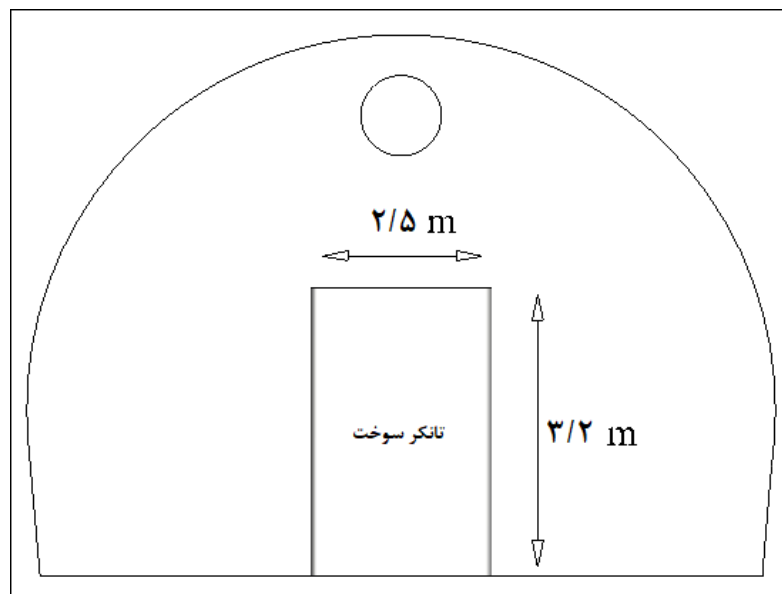
در شکل های بردارهای سرعت، جهت جریان در تونل به وسیله بردارهای سرعت نشان داده شده است.

۵-۴- مدل سازی آتش

در این بخش مراحل مدل سازی در هنگام آتش سوزی در تونل شامل هندسه، شبکه بندی، نحوه مدل سازی، شرایط مرزی و نتایج حاصل از مدل سازی ارائه خواهد شد.

۵-۴-۱- هندسه تونل

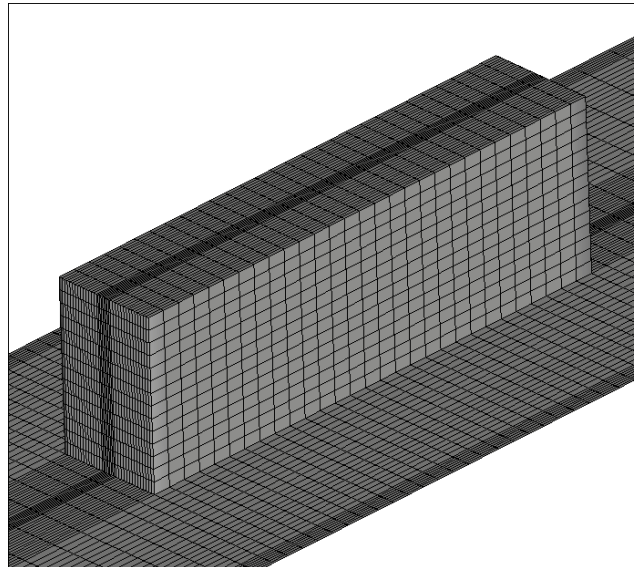
محدوده مورد مطالعه، شامل تونل، جت فن ها (از دو شرکت Novenco و Korfmann) و تریلی حامل تانکر سوخت است. تانکر حاوی سوخت فسیلی برای سهولت در مدل سازی به شکل یک مکعب مستطیل در نظر گرفته شده است. در شکل ۵-۱۴ نمایی از نحوه قرارگیری تانکر در تونل مجهز به جت فن شرکت Novenco نشان داده شده است.



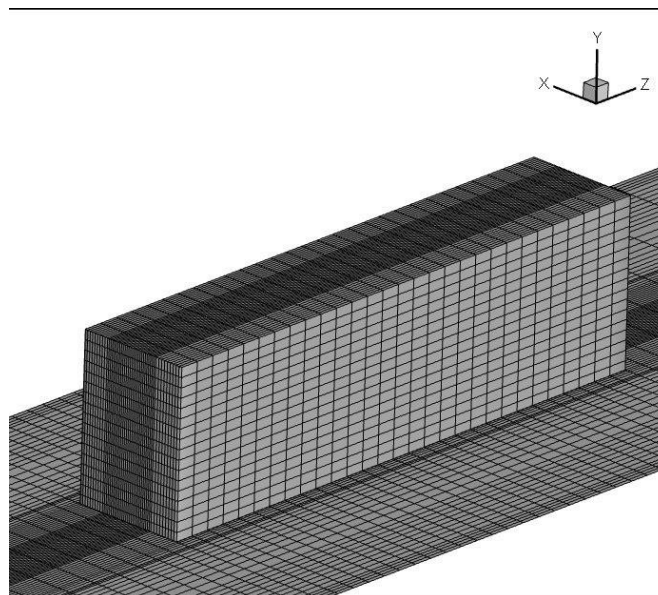
شکل ۵-۱۴- نمای رو به رو از نحوه قرارگیری تانکر سوخت در تونل

۵-۴-۲- مش بندی تونل

تمامی مراحل مش بندی در حالت آتش، مانند حالت تهویه نرمال است با این تفاوت که در این حالت، تانکر سوخت نیز اضافه شده است که تعداد مش را بالا می برد. برای حالتی که از ۱۷ جت فن شرکت Novenco با آرایش تکی استفاده شده است، تونل به ۳،۸۲۴،۸۱۸ المان و برای حالتی که از جت فن شرکت Korfmann با آرایش دو قلو استفاده شده است، تونل به ۴،۱۳۱،۶۸۱ المان تقسیم شده است. در شکل ۵-۱۵ مش بندی تانکر سوخت در تونل نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۵- مش بندی تانکر حاوی سوخت در تونل مجهز به جت فن شرکت Novenco



شکل ۵-۱۶- مش بندی تانکر حاوی سوخت در تونل مجهز به جت فن شرکت Korfmann

۵-۴-۳- تعیین فیزیک جریان در بسته نرم افزاری فلوئنت

مانند حالت تهویه نرمال، مساله بر پایه فشار حل شده، هوا به عنوان گاز ایده آل در نظر گرفته شده و با توجه به تاثیر نیروی جاذبه بر انتشار دود در مدل، نیروی جاذبه در معادله اندازه حرکت به مقدار $9/81 \text{ m/s}^2$ در جهت y فعال شده است. همچنین به دلیل آن که جریان سیال در مدل مغشوش است، از مدل استاندارد $k - \epsilon$ برای شبیه سازی آن استفاده شده است. اما بر خلاف تهویه نرمال، از آن جایی که در مدل سازی آتش، زمان در تغییرات رفتار دود تاثیر گذار است، مساله وابسته به زمان^۱ حل می شود. برای بررسی تغییرات دمایی، معادله انرژی نیز فعال شده است و برای شبیه سازی آتش سوزی از مدل چند فاز^۲ استفاده شده و محاسبات حجم سیال^۳ انجام شده است. به دلیل آن که بیشتر حجم دود از گاز کربن دی اکسید تشکیل شده است، این گاز به عنوان نماینده دود حاصل از آتش در نظر گرفته شده و از پیش فرض نرم افزار برای شبیه سازی انتخاب شده است. چگالی گاز در دمای متوسط آتش که در این پژوهش 400°C فرض شده، محاسبه و مقدار کیلوگرم گاز (دود) خروجی در هر ثانیه از سقف تانکر محاسبه و وارد نرم افزار شده است. در نهایت مانند حالت نرمال، از الگوریتم سیمپل جهت محاسبه استفاده شده است و مساله برای حل آماده شده است.

۵-۴-۴- شرایط مرزی

شرایط مرزی به غیر از تانکر سوخت، مانند آن چه در حالت نرمال گفته شد، در نظر گرفته شده است. دیواره های تانکر به عنوان دیوار به نرم افزار معرفی شده و برای نشان دادن دود خروجی از سقف تانکر از شرایط مرزی ورود آهنگ جرمی^۴ استفاده شده است و درجه و آهنگ تولید حرارت به سایر سطوح مکعب مستطیل اعمال شده است. آهنگ رهائش گرما^۵ در حدود 200 MW در نظر گرفته شده است [۳۵].

۵-۴-۵- اجرای مدل و نتایج مدل سازی

با توجه به وابسته بودن حل به زمان، کل زمان حل به سه مرحله تقسیم شده است:

- در ابتدای زمان، فرض بر این بوده که آتش سوزی شروع نشده و تا رسیدن جت فن ها به شرایط پایدار به مدت ۱۸۵ ثانیه شبیه سازی تونل بدون در نظر گرفتن آتش انجام شده است.

1- Transient
2- Multiphase
3- Volume of Fluid (VOF)
4- Mass flow inlet
5- Heat Release Rate (HRR)

• پس از تعادل جت فن ها با سیال داخل تونل و پایداری سرعت سیال داخل تونل آتش سوزی شروع شده و گاز کربن دی اکسید با نرخ ۹/۹ کیلوگرم بر ثانیه وارد تونل می شود؛ در این مرحله با گذر زمان نرخ آتش سوزی تا زمان ۲۳۵ ثابت است.

• در مرحله بعد نرخ آتش سوزی افزایش پیدا کرده و آتش به اوج خود می رسد. در این بخش مقدار بیشینه نرخ ورودی کربن دی اکسید به داخل تونل ۱۶/۴ کیلوگرم بر ثانیه است. در این بخش آتش سوزی به مدت ۶۵ ثانیه طول کشیده و پس از آن حل متوقف شده است.

در مجموع کل زمان شبیه سازی ۳۰۰ ثانیه بوده که با استفاده از تابع تعریف شده کاربر^۱ پروفیل جرم ورودی به داخل تونل نوشته شده و وارد نرم افزار فلوئنت شده است (پیوست شماره ۲). همچنین در ابتدای حل فرض بر این بوده که حجم سیال^۲ فاز دوم داخل تونل صفر بوده است.

در این پژوهش با توجه به گذرا بودن حل، گام زمانی^۳ ۰/۵ برای شبیه سازی انتخاب شده است. همچنین دمای دود همانطور که قبلاً گفته شد، 400°C انتخاب شده است تا اثرات همرفتی آتش سوزی شبیه سازی شود.

پس از طراحی مدل و اجرای آن در نرم افزار فلوئنت، نحوه انتشار دود، بردارهای سرعت، میزان غلظت گاز دی اکسید کربن به عنوان نماینده دود ناشی از آتش در تونل در قالب نمایش کنتروری آورده شده است.

الف) مرحله اول

۱۸۵ ثانیه از اجرای مدل سپری شده و جریان هوا توسط جت فن ها، بدون حضور آتش در تونل ایجاد شده است. نتایج حاصل شده در این قسمت مانند حالت تهویه نرمال است و کنترورها و بردارهای سرعت مربوط به این مرحله در بخش مدل سازی حالت نرمال آورده شده است.

ب) مرحله دوم

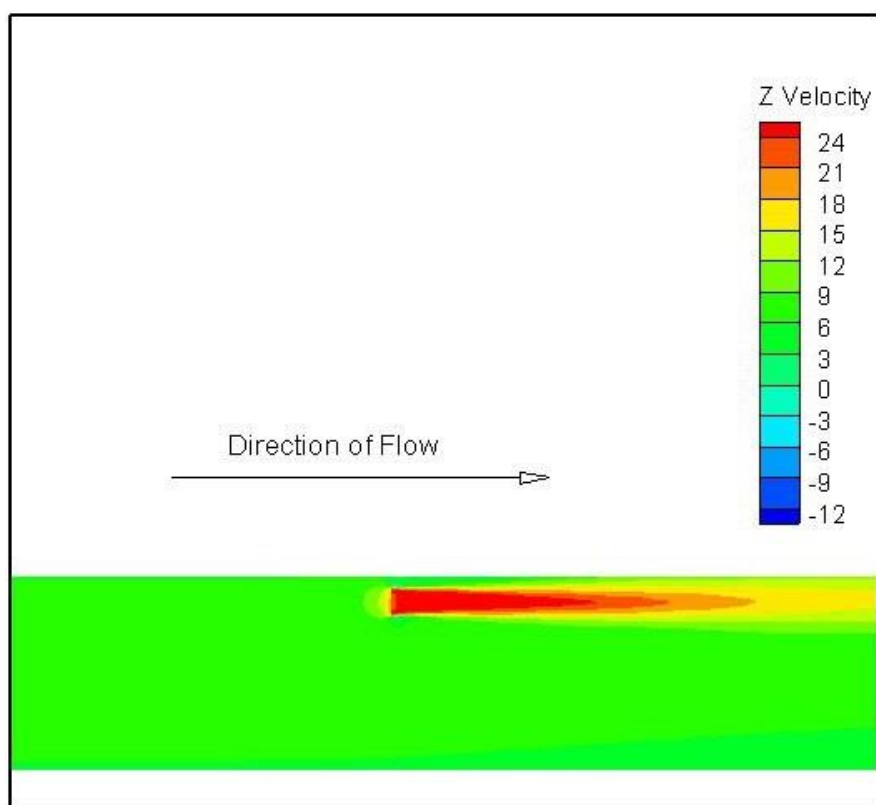
در این مرحله آتش سوزی رخ می دهد و ۲۳۵ ثانیه از اجرای مدل و ۵۰ ثانیه از شروع آتش سوزی سپری شده است. در این مرحله دود با نرخ ۹/۹ کیلوگرم بر ثانیه از منبع سوخت وارد تونل می شود. آتش توسط اوپراتور تشخیص داده می شود و با ادامه فعالیت تجهیزات تهویه تا تثبیت سرعت طولی، سرعت هوا در تونل در حال افزایش است. شکل های ۵-۱۷ الی ۵-۲۶ کنترورهای کسر حجمی^۴ و همچنین نمودار تغییرات دما در طول تونل را در این زمان برای هر دو مدل نشان می دهند.

1- User-Defined Function (UDF)

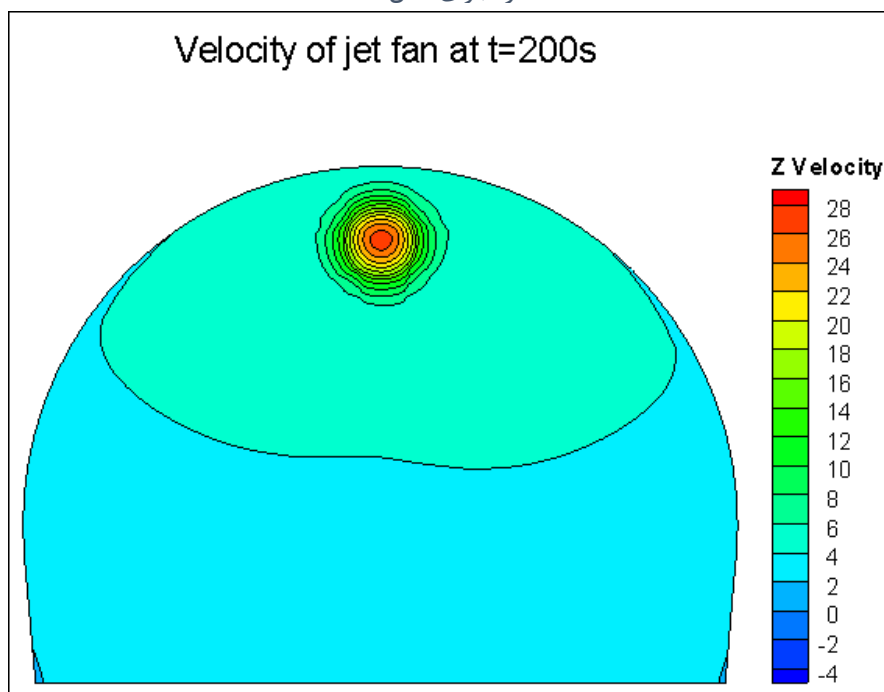
2- Volume of Fluid (VOF)

3- Time Step

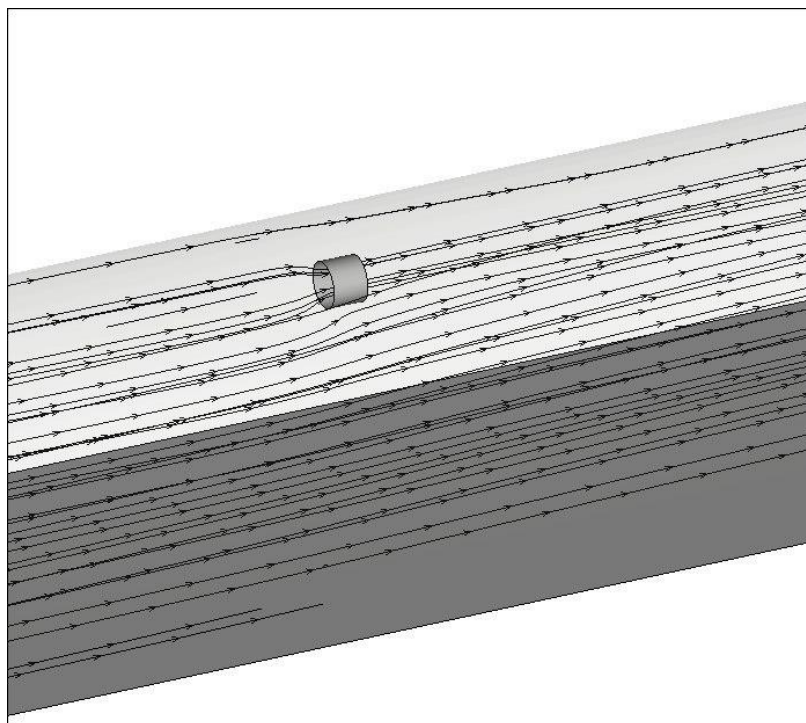
4- Volume fraction



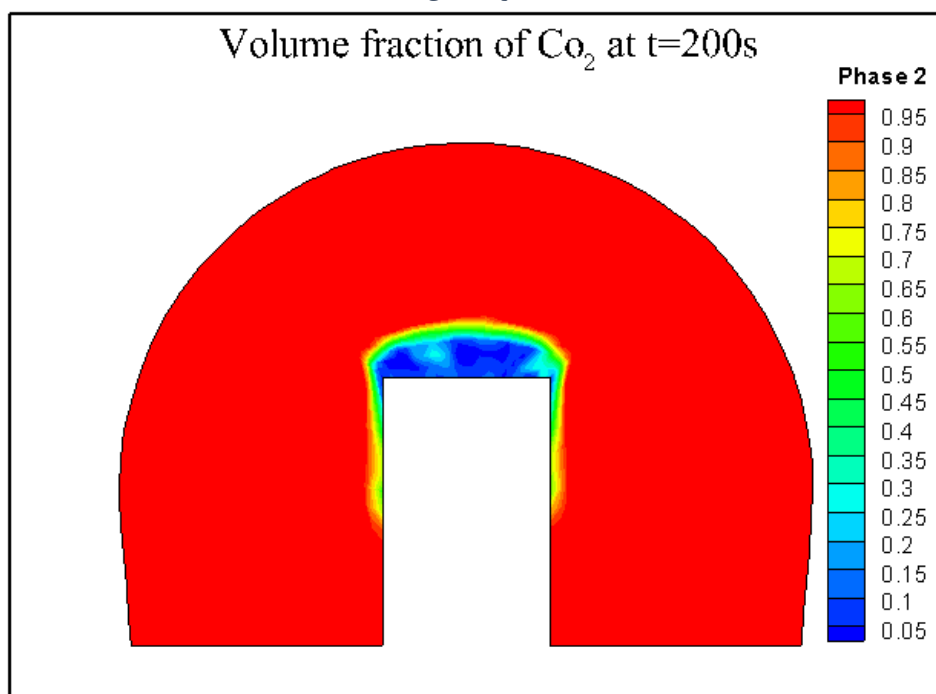
شکل ۵-۱۷- کنتور سرعت جریان هوای به وجود آمده توسط جت فن های Novenco در داخل تونل پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل



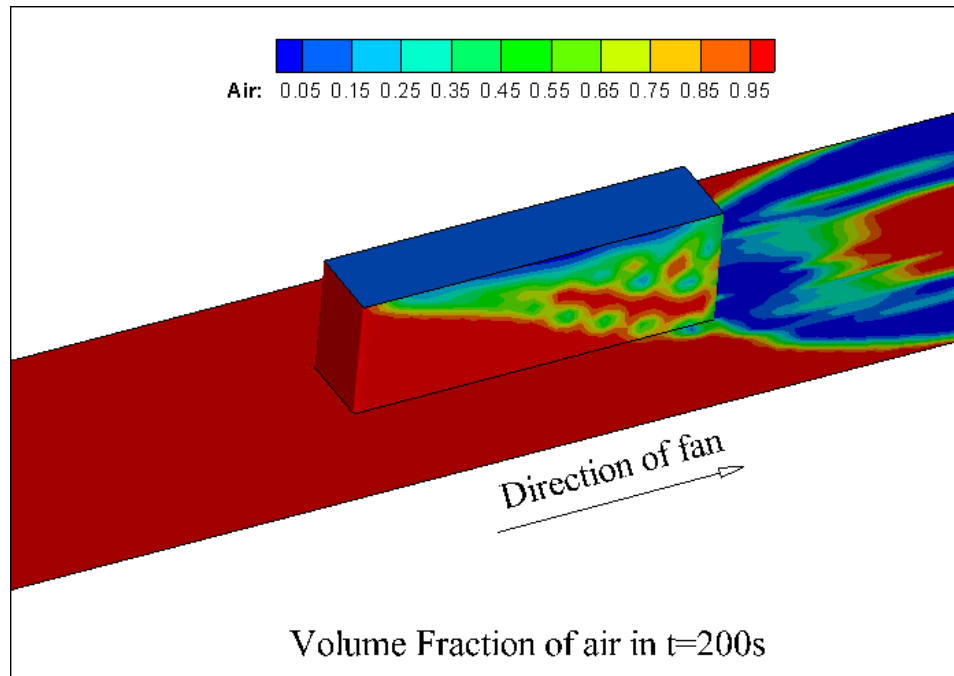
شکل ۵-۱۸- کنتور سرعت جت فن شرکت Novenco پس از رسیدن به تعادل



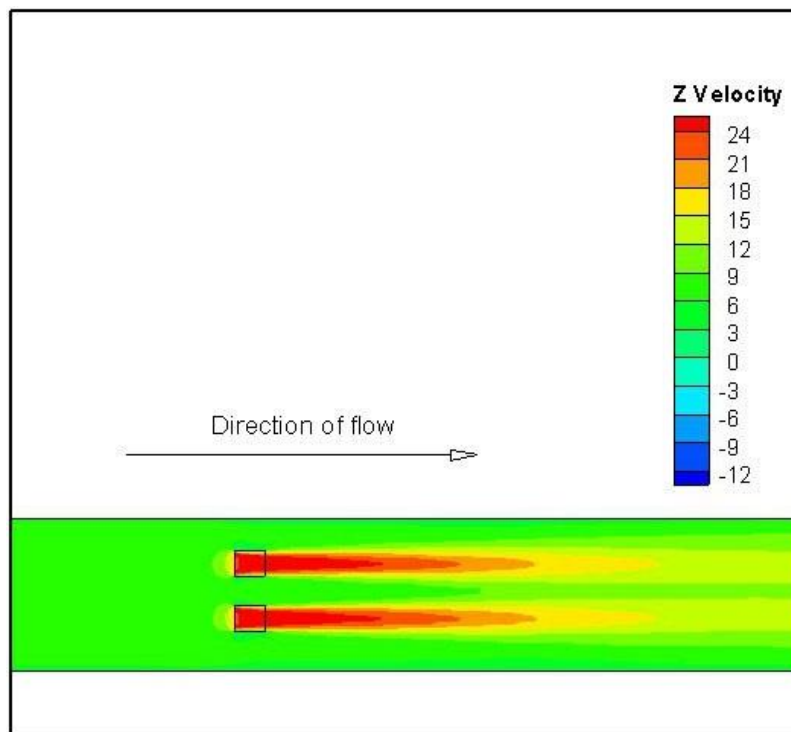
شکل ۵-۱۹- بردارهای سرعت پس از به تعادل رسیدن جت فن های شرکت Novenco به تعادل بعد از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل



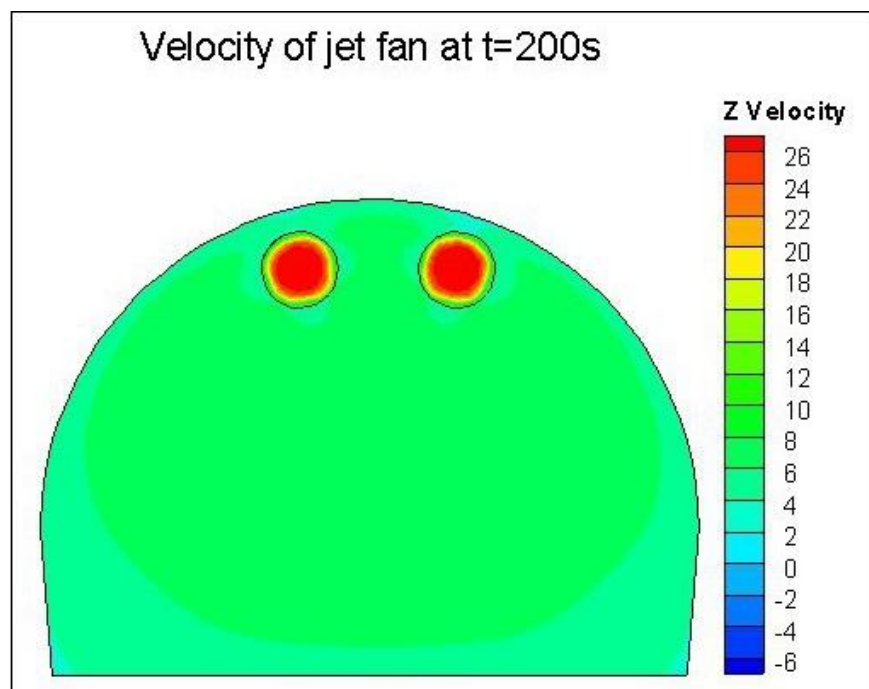
شکل ۵-۲۰- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی در مدل استفاده شده از جت فن های شرکت Novenco بر حسب درصد وجود سیال



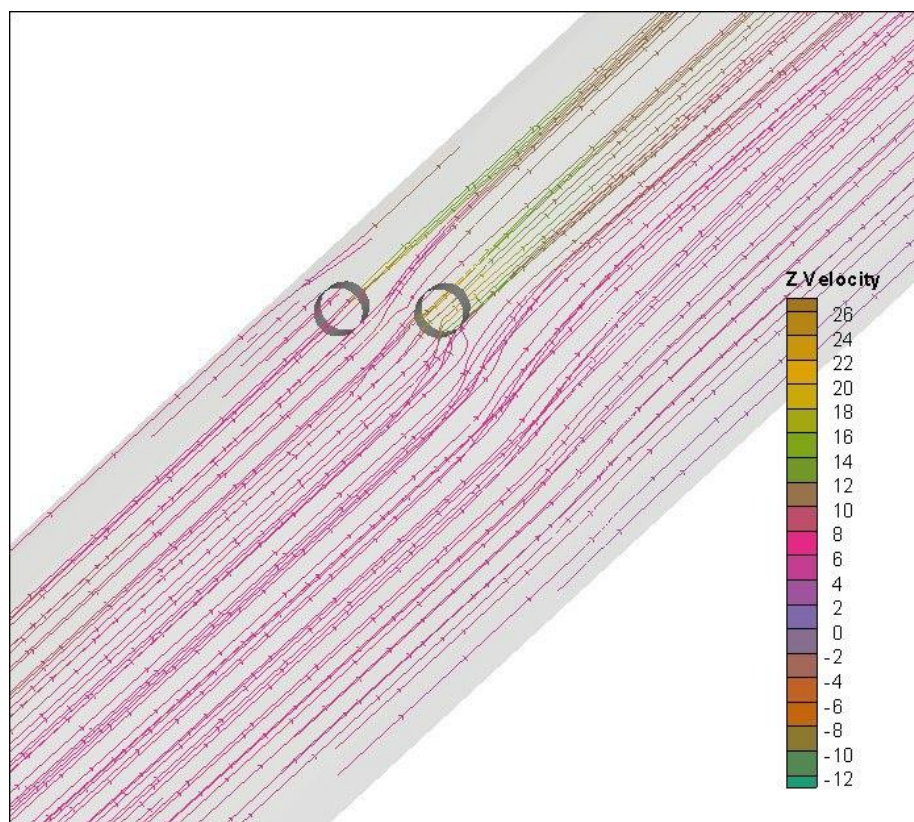
شکل ۵-۲۱- کنتور کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل در مدل مجهز به جت فن شرکت Novenco بر حسب درصد وجود سیال



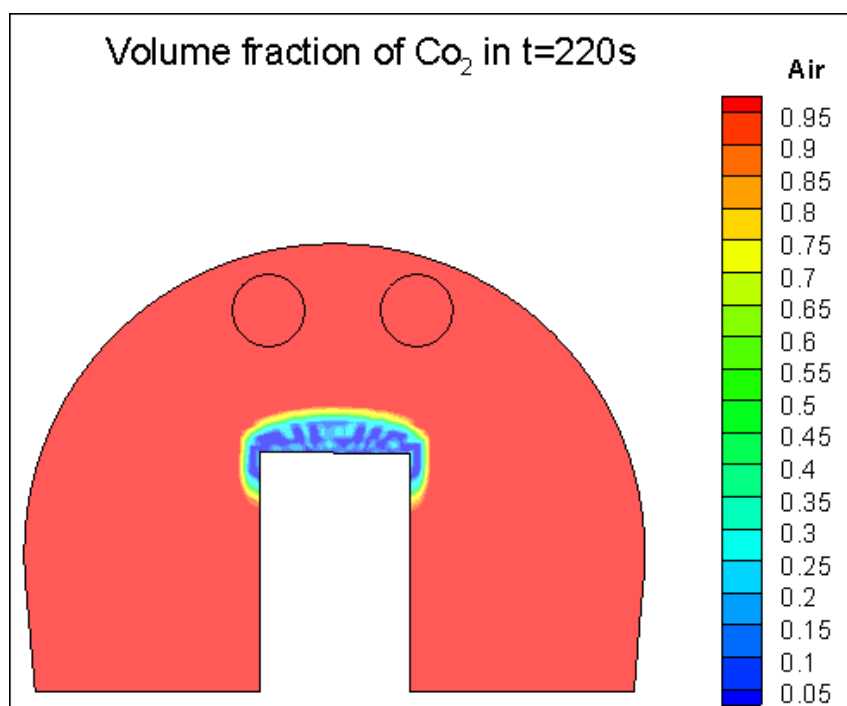
شکل ۵-۲۲- کنتور سرعت جریان هوای به وجود آمده توسط جت فن های Korfmann در داخل تونل پس از گذشت ۲۰۰ S از اجرای مدل



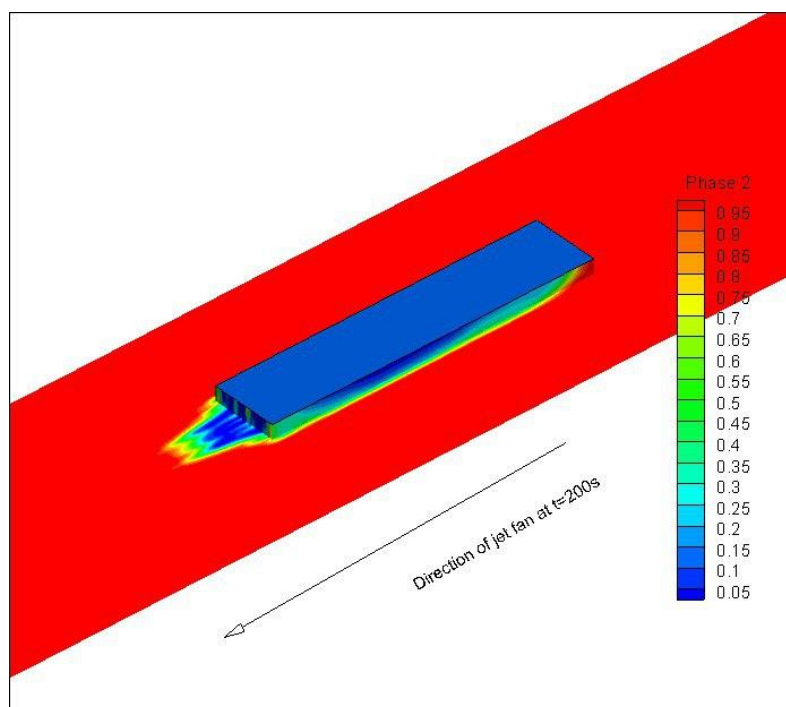
شکل ۵-۲۳- کنتور سرعت جت فن شرکت Korfmann پس از رسیدن به تعادل



شکل ۵-۲۴- بردارهای سرعت پس از به تعادل رسیدن جت فن های شرکت Korfmann به تعادل بعد از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل



شکل ۵-۲۵- کنترل کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی در مدل استفاده شده از جت فن های شرکت Korfmann بر حسب درصد وجود سیال

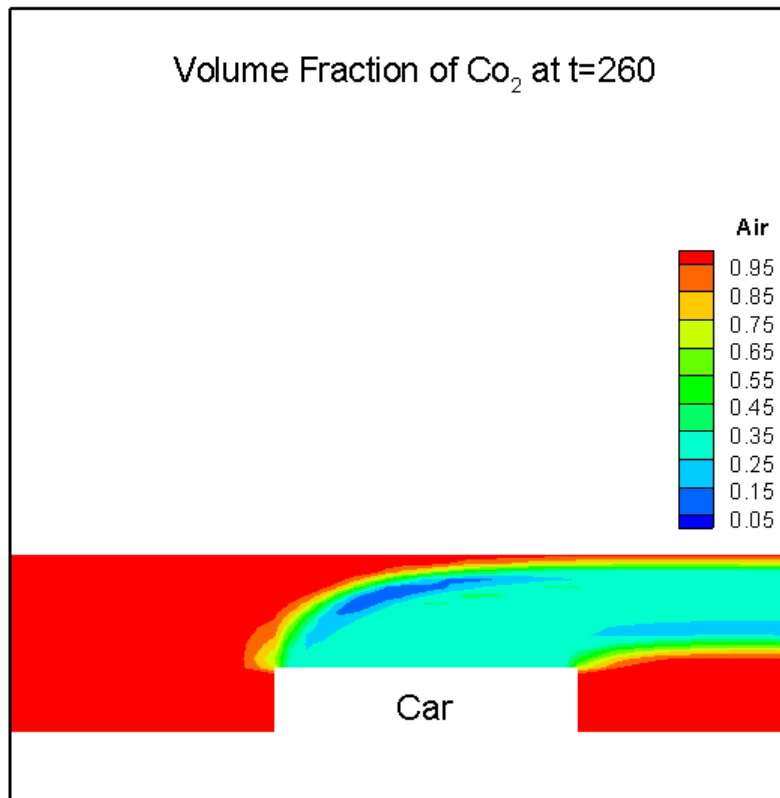


شکل ۵-۲۶- کنترل کسر حجمی هوا در زمان شروع آتش سوزی پس از گذشت ۲۰۰ ثانیه از اجرای مدل در مدل مجهز به جت فن شرکت Korfmann بر حسب درصد وجود سیال

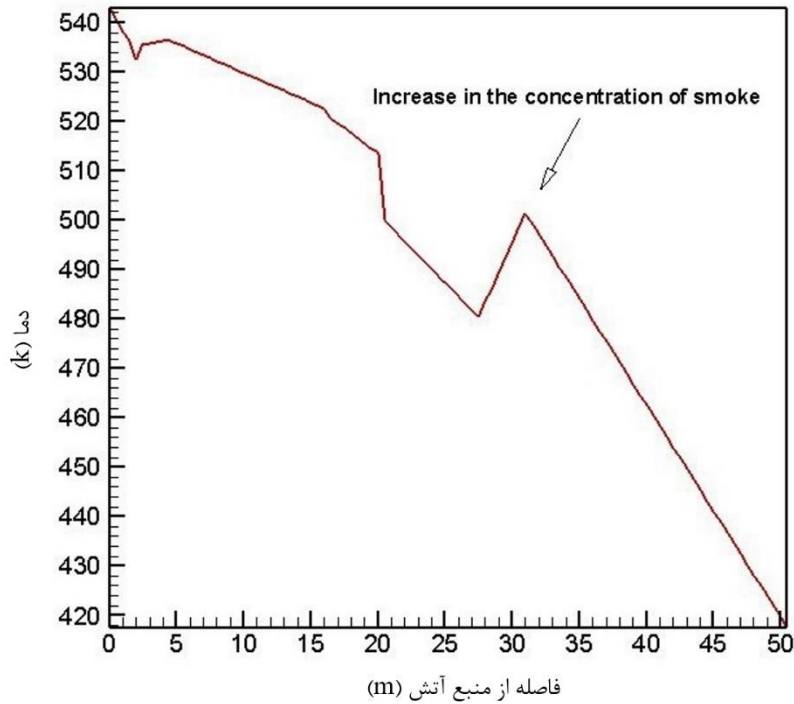
در نتایج استخراج شده در این قسمت و شکل‌های مربوط به بردارهای سرعت و مقدار سرعت مانند حالت تهویه عادی، نواحی با رنگ قرمزتر دارای سرعت سیال بالاتری هستند که این امر در نزدیکی جت فن‌ها و در امتداد آن‌ها به وضوح دیده می‌شود، چرا که جت فن‌ها موجب سرعت بخشیدن به سیال اطراف خود می‌شوند. در کنتورهای کسر حجمی برای هر دو مدل، نواحی قرمزتر نشان دهنده درصد بالاتری از هوا بوده و نواحی آبی رنگ، نشان دهنده میزان پایین‌تر هوا است که در واقع به علت بروز آتش و بالاتر رفتن درصد کربن‌دی‌اکسید به این شکل درآمده است. از آنجایی که هنوز ابتدای آتش‌سوزی است، پدیده عقب زدگی و رفتار خاصی در دود مشاهده نمی‌شود. سرعت منفی نشان دهنده پدیده عقب زدگی است.

ج) مرحله سوم

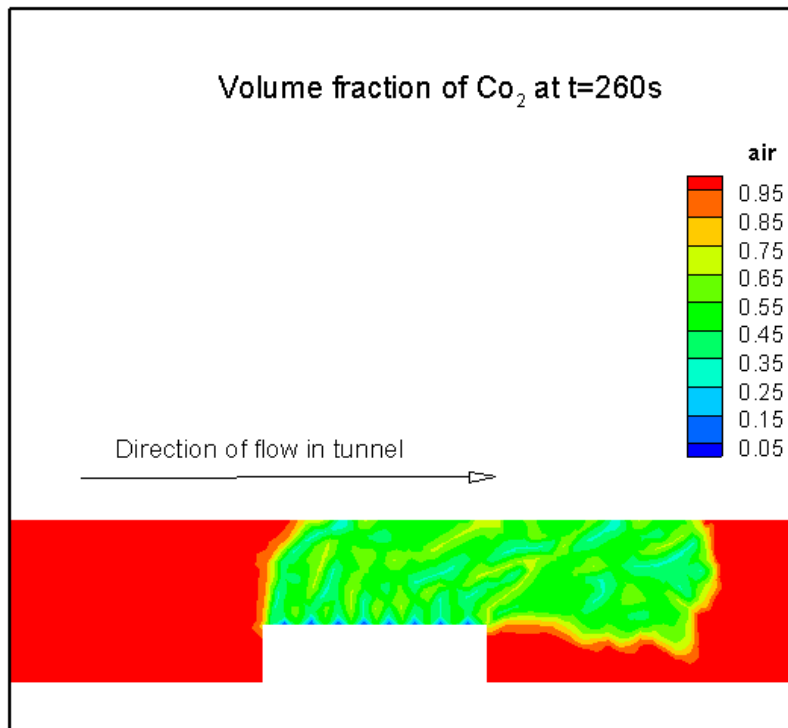
۳۰۰ ثانیه از اجرای مدل و ۱۰۰ ثانیه از شروع آتش‌سوزی در تونل گذشته است و نرخ آزادسازی دود به مقدار اوج خود یعنی ۱۶/۴ کیلوگرم بر ثانیه رسیده است. هر دو مدل جت فن در این زمان به سرعت بحرانی رسیده و توانسته‌اند تا از بروز پدیده عقب زدگی در تونل جلوگیری کنند. مقدار بشینه دما در تونل نیز در این زمان برابر با ۴۷۳ k شده است. در ادامه کنتورها و نمودارهای مرتبط با این مرحله از اجرای مدل ارائه شده است.



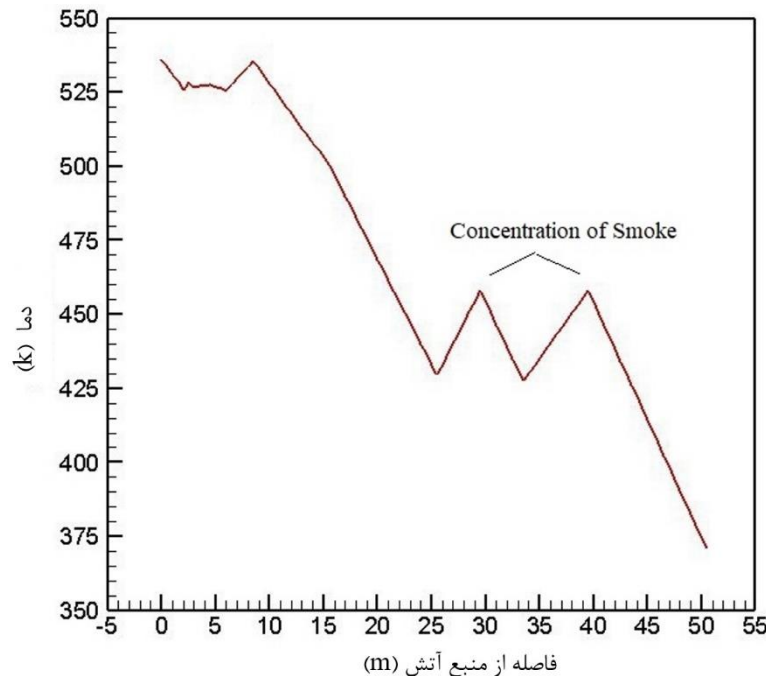
شکل ۵-۲۷- کنتور کسر حجمی هوا در مدل مجهز به جت فن شرکت Novenco پس از گذشت ۲۶۰ ثانیه از اجرای مدل بر حسب درصد وجود سیال



شکل ۵-۲۸- نمودار تغییرات دما در فاصله ۵۰ متری از منبع آتش در تونل مجهز به جت فن شرکت Novenco



شکل ۵-۲۹- کنتور کسر حجمی هوا در مدل مجهز به جت فن شرکت Korfmann پس از گذشت ۲۶۰ ثانیه از اجرای مدل بر حسب درصد وجود سیال



شکل ۵-۳۰- نمودار تغییرات دما در فاصله ۵۰ متری از منبع آتش در تونل مجهز به جت فن شرکت Korfmann

در این مرحله، کنتورهای کسر حجمی نشان می‌دهند که در هر دو مدل جت فن‌ها توانسته‌اند از بروز پدیده عقب‌زدگی جلوگیری کنند. اما در مدل شرکت Novenco جت فن‌ها عملکرد بهتری داشته و لایه دود را به خوبی در جهت جریان هدایت کرده است.

نمودارهای دما بر حسب طول تونل در مدل شرکت Korfmann نسبت به مدل شرکت Novenco دارای شیب کلی بیشتری است و دما در مدل Korfmann در فاصله ۵۰ متر از منبع آتش در حدود ۱۸۰ درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که این امر برای مدل شرکت Novenco حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد بوده است.

۵-۵- جمع بندی

مدل سازی جریان هوا در دو حالت با استفاده از جت فن های شرکت های Novenco و Korfmann با استفاده از بسته نرم افزاری فلوئنت انجام شده است و برای شبیه سازی حالت آشفته سیال و بررسی تغییرات دما در طول تونل معادلات لازم فعال شد. در نهایت برای بررسی عملکرد جت فن ها در تونل، نمودارهای دما و همینطور کنتورهای مختلف کسر حجمی، سرعت و بردار سرعت در دو حالت تهویه عادی و آتش استخراج شده است.

۶

فصل ششم

جمع بندی و نتیجه گیری

۶-۱- جمع بندی و نتیجه گیری

تهویه در تونل ها، به عنوان یکی از ملزومات ایمنی، نقش بسیار مهمی در ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت و رفت و آمد وسایل نقلیه و افراد دارد. در صورت عدم وجود سیستم تهویه مناسب در تونل، نتنها وجود آلاینده ها موجب کاهش دید رانندگان می شود، بلکه هوای کافی برای تنفس افراد نیز وجود نخواهد داشت و امکان بروز تصادفات به شدت افزایش می یابد.

در این پژوهش، تونل علوی واقع در شهرک شهید رجایی در استان هرمزگان از نظر طراحی سیستم تهویه مورد بررسی قرار گرفت. طول تونل ۱۹۱۴ متر بوده و یک خط برای رفت و یک خط نیز برای برگشت تعبیه شده است. با توجه به شرایط تونل از نظر طول، ارتفاع، باد منطقه و ... و با استفاده از استانداردهای کشورهای فرانسه، ژاپن، نروژ، آلمان، انگلیس و آمریکا مشخص شد استفاده از تهویه مکانیکی برای تهویه این تونل ضرورت دارد. با توجه به مزیت های تهویه طولی در تونل های زیر ۳۰۰ متر، این روش تهویه برای تونل علوی انتخاب شد. برای طراحی سیستم تهویه طولی، از دو روش کلاسیک و روش پیشنهادی انجمن جهانی راه، پیارک، استفاده شد. از آن جایی که ناوگان حمل و نقل در ایران هنوز در پایین ترین سطح استانداردهای جهانی قرار دارد، در روابط پیشنهادی انجمن پیارک، ضریب استاندارد ناوگان حمل نقل در پایین ترین حد ممکن نظر گرفته شده است. در میان روش های کلاسیک نیز، روش فرانسوی با وسواس بیشتری شدت جریان را محاسبه کرد و مقدار آن را به شکل بدبینانه ای بدست می دهد. به همین دلیل، برای انتخاب شدت جریان مناسب تهویه، یک تحلیل آماری بر روی داده های بدست آمده از روابط مختلف انجام شده و میانگینی از این داده ها به عنوان شدت جریان انتخاب شد.

در مرحله بعد، افت فشار با در نظر گرفتن مولفه های باد محلی، اثر پیستونی وسایل نقلیه، افت فشار استاتیکی، دینامیکی و دهانه های ورودی و خروجی برای تونل علوی محاسبه شد و با توجه به کاتالوگ جت فن های شرکت های مختلف، تعدادی جت فن که توانایی تامین این مقدار افت فشار را داشته اند، انتخاب شده و با یکدیگر مقایسه شدند. در نهایت دو جت فن از شرکت های Novenco و Korfmann جهت تهویه تونل علوی انتخاب شد. جت فن های شرکت Novenco با آرایش تکی در ۱۷ ردیف و به فاصله حدودی ۱۰۰ متر از یکدیگر طراحی شدند و جت فن های شرکت Korfmann با آرایش دو قلو در هشت ردیف به فاصله تقریبی ۲۵۰ متر از یکدیگر طراحی شدند. برای هر دو مدل پیشنهادی، فاصله جت فن ها از یکدیگر، با نزدیک شدن به انتهای تونل، کم شده است؛ چرا که هوای آلوده در سیستم تهویه طولی در انتهای تونل تمرکز بیشتری دارد.

آن چه که تا کنون انجام شد برای تهویه در حالت نرمال و بدون بروز آتش سوزی بود. در مرحله بعد با فرض بروز آتش سوزی در اثر انفجار یک تریلی حاوی سوخت، عملکرد جت فن های طراحی شده مورد بررسی قرار گرفت.

برای شبیه سازی آتش از بسته نرم افزاری فلوئنت استفاده شده و شبیه سازی در دو حالت نرمال و آتش انجام شد. نتایج در قالب کانتور و نمودار برای هر دو مدل با جت فن های شرکت Novenco و Korfmann استخراج شد. مدل ساخته شده با جت فن Novenco در مدت زمان کمتری نسبت به مدل ساخته شده با جت فن Korfmann به همگرایی رسید. در هر دو مدل، جت فن ها قادر به از بین بردن پدیده عقب زدگی بوده و سرعت جریان سیال در تونل را به سرعت بحرانی رساندند. اما جت فن Novenco تاثیر بیشتری در از بین بردن عقب زدگی لایه دود داشته است. از طرفی کاهش دمای ناشی از آتش در تونل مجهز به جت فن شرکت Korfmann سریع تر از تونل مجهز به جت فن شرکت Novenco بود. در آخر نظر نگارنده بر آن است تا از آن جایی که جت فن های شرکت Novenco قابلیت معکوس شدن^۱ داشته و دارای نمایندگی در ایران هستند، استفاده از این نوع جت فن برای تهویه تونل علوی مناسب تر است.

۶-۲- پیشنهادات

برای پژوهش های آتی پیشنهاد می شود تا مدل سازی با آب فشان برای کاستن دمای آتش و بررسی تاثیر عملکرد آب فشان در شبیه سازی انجام شود. از آن جایی که تعداد شبکه در این پژوهش بسیار بالا بوده و نرم افزار FDS که مختص شبیه سازی آتش است دارای محدودیت شبکه بندی می باشد، امکان استفاده از این نرم افزار در این پژوهش وجود نداشته است. اما در پژوهش های دیگر که طول مدل کمتر است، پیشنهاد می شود تا مدل سازی به کمک نرم افزار FDS انجام شود. برای بررسی تاثیر زاویه جت فن ها در تهویه تونل نیز پیشنهاد می شود تا از جت فن های بنانا با قابلیت تنظیم زاویه جت فن نسبت به زمین استفاده شود.

منابع

- [1] Casale, E., Charvier, J. M., & Lemaire, G. (1996). Tunnel ventilation system modeling. *Tunnel Engineering Handbook*. Chapman & Hall, New York, 69-81.
- [2] Colella, F., Rein, G., Borchiellini, R., Carvel, R., Torero, J. L., & Verda, V. (2009). Calculation and design of tunnel ventilation systems using a two-scale modelling approach. *Building and Environment*, 44(12), 2357-2367.
- [3] Du, T., Yang, D., Peng, S., Liu, Y., & Xiao, Y. (2016). Performance evaluation of longitudinal and transverse ventilation for thermal and smoke control in a looped urban traffic link tunnel. *Applied Thermal Engineering*, 96, 490-500.
- [4] Shao, S., Yang, X. G., & Zhou, J. W. (2016). Numerical analysis of different ventilation schemes during the construction process of inclined tunnel groups at the Changheba Hydropower Station, China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 59, 157-169.
- [5] Goossens, M., Mittelbach, F., & Samarin, A. (1994). *The LATEX companion*(Vol. 2). Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- [6] Ferro, V., Borchiellini, R., & Giaretto, V. (1991). Description and application of tunnel simulation model. In *Proceedings of Aerodynamics and Ventilation of vehicle tunnels conference* (pp. 487-512)..
- [7] McCormick, S. (1994). Multilevel Projection Methodology. *Computational Techniques and Applications: CTAC93*, 54-57.
- [8] Heskestad G (1975) Physical Modeling of Fire. *Journal of Fire & Flammability* 6:253–273
- [9] Quintiere JG (1989) Scaling Applications in Fire Research. *Fire Safety Journal* 15:3–29
- [10] Leitner, A., 2001. The fire catastrophe in the Tauern tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines. *Tunnelling and Underground Space Technology* 16, 217–223.
- [11] Leitner, A., 2001. The fire catastrophe in the Tauern tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines. *Tunnelling and Underground Space Technology* 16, 217–223.
- [12] Maeviski IY. NCHRP Synthesis 415: Design Fires in Road Tunnels – A Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board: Washington, D.C., 2011.
- [13] Lorenzo, B., Furio, C., Marilena, M., Giuseppe, R., 2014. Fire safety investigation for road tunnel ventilation systems—an overview. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 43, 253–265.
- [14] Modic, J., 2003. Fire simulation in road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 18, 525–530.
- [15] Haack, A., 1998. Fire protection in traffic tunnels: general aspects and results of the EUREKA project. *Tunnelling and Underground Space Technology* 13, 377–381

[16] Du, T., Yang, D., & Ding, Y. (2018). Driving force for preventing smoke backlayering in downhill tunnel fires using forced longitudinal ventilation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 79, 76-82.

[17] Colella, F., Rein, G., Verda, V., & Borchellini, R. (2011). Multiscale modeling of transient flows from fire and ventilation in long tunnels. *Computers & Fluids*, 51(1), 16-29.

[18] Wang, F., Wang, M., Carvel, R., & Wang, Y. (2017). Numerical study on fire smoke movement and control in curved road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 67, 1-7.

[19] Betta, V., Cascetta, F., Musto, M., & Rotondo, G. (2010). Fluid dynamic performances of traditional and alternative jet fans in tunnel longitudinal ventilation systems. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25(4), 415-422.

[۲۰] مهندسین مشاور اتحاد راه (۱۳۹۴)، گزارش مطالعات زمین شناسی و طراحی تونل علوی، شرکت مادر تخصصی ساخت و توسعه شهرهای جدید شرکت شهر جدید علوی

[۲۱] پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور، <http://www.irimo.ir/far/index.php>

[۲۲] مهندسین مشاور اتحاد راه (۱۳۹۴)، گزارش ترافیکی تونل علوی، شرکت مادر تخصصی ساخت و توسعه شهرهای جدید شرکت شهر جدید علوی

[۲۳] مدنی، حسن (۱۳۷۷) تونلسازی، جلد دوم: خدمات فنی، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، X-۵۳-۰۴۶۳-۹۶۴.

[۲۴] شقاقی، پیمان؛ محرر، محمدرضا (۱۳۶۷)، بررسی وضعیت تهویه تونل کندوان، پروژه کارشناسی، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

[25] Haerter, A. (1973, April). Fresh air requirements for road tunnels. In *Proceedings of the 1st International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRA Fluid Engineering, Canterbury, England, Paper B* (Vol. 1, pp. B1-1).

[26] Kuesel, T. R., King, E. H., & Bickel, J. O. (2012). *Tunnel engineering handbook*. Springer Science & Business Media.

[27] Erik Henning, Jan (1984), Longitudinal Ventilation of Road Tunnels, Proceedings of Low Cost Road Tunnels Symposium.

[28] Baba, T., Ohashi, H., Nakamichi, F., & Akashi, N. (1979). A new longitudinal ventilation system using electrostatic precipitator for long vehicular traffic tunnel. In *3rd International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, UK (March 1979)* p201-226.

[29] Sturm, P. J., Brandt, R., Hervé, F., Zumsteg, F., Borchellini, R., Norris, H., ... & Henn, M. (2012). Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation.

[۳۰] مدنی، حسن (۱۳۶۶) تهویه در معادن، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۰-۹۷۸-۹۶۴-۰۱-۰۲۶۴

[31] Skoshinski, A; Komarov, V (1969), Mine Ventilation, Moscow, Mir Publishers.

[32] Fluent, A. (2009). 12.0 Theory Guide. *Ansys Inc*, 5(5).

[33] F. M. White (2008) FLUID MECHANICS, 6 ed. New York: McGraw-Hill.

[34] Railway applications—Aerodynamics—part 1 (2003): symbols and units.

[35] Vega, M. G., Díaz, K. M. A., Oro, J. M. F., Tajadura, R. B., & Morros, C. S. (2008). Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system: memorial tunnel case. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(5), 539-551.

[36] Heskestad G (2002) Scaling the interaction of water sprays and flames. *Fire Safety Journal* 37:535–548

[37] Korfmann Lufttechnik GmbH website, <http://www.korfmann.com/>

[38] Novenco Marine & Offshore website, <http://www.novencogroup.com/>

[۳۹] وب سایت شرکت ابزار تونل جهان، <http://www.abzartunnel.com/>

[۴۰] وب سایت شرکت تجهیز تونل جوان، <http://tajhiztunnel.com/fa>

پیوست

پیوست ۱

جداول مربوط به محاسبات شدت جریان به روش پیارک

جدول پ-۱- فاکتور انتشار پایه برای کربن مونوکسید (CO) در خودروهای سواری بنزینی [۲۹]

فاکتور انتشار CO (g/h)							
شیب (°)							سرعت
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	(km/h)
۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۱۳۰/۸۳	۰
۱۴۸/۰۰	۱۵۷/۷۸	۱۶۸/۶۶	۱۷۸/۳۶	۱۸۹/۶۰	۱۹۸/۶۲	۲۳۹/۲۴	۱۰
۱۶۵/۱۸	۱۸۴/۷۲	۲۰۶/۴۸	۲۲۵/۸۸	۲۴۸/۳۷	۲۶۶/۴۱	۳۴۷/۶۵	۲۰
۱۶۴/۰.۲	۱۹۲/۱۴	۲۲۴/۳۴	۲۶۱/۳۳	۲۹۸/۵۲	۳۳۵/۹۰	۴۳۷/۹۸	۳۰
۱۶۱/۴۷	۱۳۰/۸۳	۲۴۲/۰.۶	۳۰۱/۵۱	۳۶۸/۵۹	۴۵۴/۲۳	۵۳۱/۹۱	۴۰
۱۵۶/۵۱	۱۹۹/۱۸	۲۴۲/۰.۶	۳۳۲/۰.۴	۴۲۵/۵۶	۵۴۹/۸۲	۶۸۳/۹۳	۵۰
۱۴۹/۸۸	۱۹۷/۶۵	۲۵۷/۲۷	۳۵۵/۶۹	۴۷۲/۸۲	۶۲۵/۸۵	۹۰۷/۵۰	۶۰
۱۴۳/۲۸	۱۹۳/۹۲	۲۶۷/۷۹	۳۸۰/۸۳	۵۲۹/۴۴	۷۲۶/۹۰	۱۱۸۹/۵۰	۷۰
۱۳۸/۶۲	۱۹۰/۰.۳	۲۷۳/۳۲	۴۱۴/۱۲	۶۱۵/۶۰	۹۱۰/۱۵	۱۵۰۵/۴۳	۸۰
۱۳۷/۳۳	۱۸۸/۶۲	۲۷۶/۳۰	۴۵۷/۳۰	۷۴۴/۳۱	۱۲۲۱/۱۸	۱۸۳۵/۶۹	۹۰
۱۳۹/۷۷	۱۹۲/۴۹	۲۸۱/۷۹	۵۰۸/۰.۹	۹۱۹/۲۰	۱۶۷۴/۱۶	۲۱۸۲/۶۴	۱۰۰
۱۴۴/۶۱	۲۰۴/۱۳	۲۹۶/۵۳	۵۶۵/۳۰	۱۱۳۸/۵۹	۲۲۳۶/۷۴	۲۵۸۸/۶۹	۱۱۰
۱۴۸/۳۷	۲۲۵/۱۱	۳۲۷/۰.۱	۶۳۸/۰.۱	۱۴۰۵/۷۳	۲۸۱۹/۳۳	۳۱۵۵/۲۶	۱۲۰
۱۴۴/۹۷	۲۵۵/۳۹	۳۷۶/۷۲	۷۵۸/۹۳	۱۷۴۵/۲۱	۳۲۶۸/۹۹	۴۰۶۲/۶۶	۱۳۰

جدول پ-۲- فاکتور انتشار پایه برای کربن مونوکسید (CO) در خودروهای باری سبک (LDV) بنزینی و دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار CO (g/h)							
شیب (/.)							سرعت (km/h)
۶-	۴-	۲-	۰	۲	۴	۶	
۰۷/۹	۰۷/۹	۰۷/۹	۰۷/۹	۰۷/۹	۰۷/۹	۰۷/۹	۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۸۶/۴۶	۹۴/۶۲	۹۹/۷۱	۰۴/۷۹	۳۰/۷۰	۱۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۴۲/۵۴	۹۰/۲۲	۳۴/۷۰	۴۶/۵۳	۲۹/۵۲	۲۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۶۹/۶۱	۴۰/۷۶	۱۳/۵۲	۵۴/۵۴	۱۳/۶۱	۳۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۲۷/۶۷	۶۰/۶۱	۸۰/۵۲	۳۹/۶۱	۴۸/۶۸	۴۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۵۰/۶۹	۸۶/۵۳	۶۹/۵۷	۸۳/۶۶	۳۴/۷۴	۵۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۳۷/۷۶	۱۸/۵۱	۵۰/۶۳	۹۱/۷۲	۰۷/۷۷	۶۰
۷۲/۴۴	۷۲/۴۴	۱۰/۷۱	۳۹/۵۷	۵۵/۶۹	۴۶/۷۶	۳۰/۷۹	۷۰

ادامه جدول پ-۲- فاکتور انتشار پایه برای کربن مونوکسید (CO) در خودروهای باری سبک (LDV) بنزینی و دیزلی [۲۹]

۴۴/۷۲	۴۴/۷۲	۵۲/۶۹	۶۳/۶۳	۷۵/۱۵	۷۸/۶۱	۸۱/۳۷	۸۰
۴۴/۷۲	۶۴/۰۶	۵۳/۷۹	۶۹/۷۴	۷۷/۳۱	۸۰/۶۲	۸۳/۲۹	۹۰
۴۴/۷۲	۷۳/۰۲	۶۱/۷۴	۷۵/۵۱	۷۹/۵۵	۸۲/۶۷	۸۵/۲۳	۱۰۰
۴۴/۷۲	۴۹/۹۲	۶۹/۵۹	۷۷/۹۹	۸۱/۷۱	۸۴/۶۵	۸۷/۱۰	۱۱۰
۶۷/۴۲	۵۹/۷۷	۷۵/۸۲	۸۰/۳۸	۸۳/۸۰	۸۶/۵۷	۹۰/۳۸	۱۲۰
۵۵/۴۱	۶۹/۲۹	۷۸/۵۸	۸۲/۶۶	۸۵/۸۲	۸۷/۱۸	۹۶/۰۸	۱۳۰

جدول پ-۳- فاکتور انتشار پایه برای کربن مونوکسید (CO) در خودروهای سنگین (HGV) دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار CO (g/h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	
۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۷۸/۶۲	۰
۴۸/۷۹	۵۶/۰۰	۷۸/۵۹	۹۲/۸۶	۱۰۴/۶۶	۱۱۹/۲۸	۱۳۲/۵۵	۱۰
۳۲/۶۹	۵۰/۸۴	۷۵/۱۳	۹۹/۴۷	۱۲۱/۲۴	۱۴۷/۲۷	۱۷۳/۶۶	۲۰
۲۹/۲۷	۵۲/۸۸	۸۹/۴۹	۱۰۹/۸۸	۱۳۹/۸۴	۱۸۲/۲۱	۲۲۲/۱۹	۳۰
۲۶/۴۸	۴۷/۶۵	۹۲/۱۵	۱۱۹/۳۵	۱۶۱/۲۰	۲۱۸/۹۰	۲۶۹/۲۶	۴۰
۲۶/۴۸	۴۲/۹۷	۹۰/۹۰	۱۲۶/۳۹	۱۸۷/۱۷	۲۵۳/۸۸	۳۲۱/۰۵	۵۰
۲۶/۴۸	۳۶/۰۶	۸۴/۳۵	۱۳۴/۱۲	۲۱۴/۸۷	۲۹۰/۶۷	۳۷۳/۶۲	۶۰
۲۳/۱۷	۲۸/۵۱	۷۸/۹۵	۱۴۵/۱۳	۲۴۰/۲۸	۳۳۰/۵۲	۴۲۸/۲۷	۷۰
۲۶/۴۸	۳۰/۲۳	۸۶/۷۷	۱۶۳/۹۲	۲۷۰/۴۱	۳۷۳/۵۲	۴۸۶/۲۵	۸۰
۲۶/۴۸	۳۴/۲۱	۹۷/۲۱	۱۹۰/۲۶	۳۰۱/۷	۴۱۶/۶۵	۵۴۴/۰۲	۹۰
۲۶/۴۸	۴۱/۷۴	۱۱۳/۰۷	۲۲۱/۱۷	۳۳۲/۹۱	۴۵۹/۴۷	۶۰۱/۳۲	۱۰۰
۲۶/۴۸	۴۷/۶۴	۱۳۰/۴۹	۲۴۶/۶۲	۳۶۱/۹۴	۵۰۱/۸۲	۶۵۸/۴۳	۱۱۰
۲۷/۱۴	۷۶/۴۳	۱۵۱/۳۱	۲۶۵/۷۲	۳۹۱/۱۶	۵۴۳/۶۰	۷۱۵/۰۵	۱۲۰
۳۲/۱۵	۸۲/۰۴	۱۷۶/۷۵	۲۸۲/۹۱	۴۱۹/۸۶	۵۸۵/۲۷	۷۷۲/۴۴	۱۳۰

جدول پ-۴- فاکتور انتشار ذرات معلق در هوا (PM_{2.5}) [۲۹]

HGV		LDV و PC		سرعت (km/h)
m ² /h	g/h	m ² /h	g/h	
۰	۰	۰	۰	۰
۴/۹	۱/۰۴	۱/۳	۰/۲۸	۱۰
۹/۸	۲/۰۸	۲/۶	۰/۵۶	۲۰
۱۴/۷	۳/۱۲	۳/۹	۰/۸۴	۳۰
۱۹/۶	۴/۱۶	۵/۳	۱/۱۲	۴۰
۲۴/۴	۵/۲	۶/۶	۱/۴	۵۰

ادامه جدول پ-۴- فاکتور انتشار ذرات معلق در هوا (PM_{2.5}) [۲۹]

۲۹/۳	۶/۲۴	۷/۹	۱/۶۸	۶۰
۳۴/۲	۷/۲۸	۹/۲	۱/۹۶	۷۰
۳۹/۱	۸/۳۲	۱۰/۵	۲/۲۴	۸۰
۴۴/۰	۹/۳۶	۱۱/۸	۲/۵۲	۹۰
۴۸/۹	۱۰/۴	۱۳/۲	۲/۸	۱۰۰
-	-	۱۴/۵	۳/۰۸	۱۱۰
-	-	۱۵/۸	۳/۳۶	۱۲۰
-	-	۱۷/۱	۳/۶۴	۱۳۰

جدول پ-۵- فاکتور انتشار پایه دوده در خودروهای سبک کاری (LDV) دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار دوده (m ² /h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	
۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۸	۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۷۲	۱/۷۲	۲/۵۶	۳/۳۸	۴/۲۶	۱۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۱۲	۲/۸۳	۴/۲۵	۵/۶۹	۷/۲۱	۲۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۶۲	۳/۹۰	۵/۸۴	۷/۸۷	۹/۹۸	۳۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۲/۱۰	۴/۸۹	۷/۳۵	۱۰/۰۷	۱۲/۶۵	۴۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۲/۳۱	۵/۶۴	۸/۸۵	۱۲/۰۳	۱۵/۲۳	۵۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۳/۰۵	۶/۹۰	۱۰/۸۱	۱۴/۵۶	۱۸/۴۲	۶۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۴/۲۱	۸/۷۵	۱۳/۰۷	۱۷/۵۵	۲۱/۹۱	۷۰
۰/۶۳	۰/۶۳	۵/۷۸	۱۰/۸۵	۱۵/۸۰	۲۰/۷۸	۲۵/۶۲	۸۰
۰/۶۳	۱/۸۱	۷/۶۴	۱۳/۱۵	۱۸/۷۷	۲۴/۲۲	۲۹/۵۳	۹۰
۰/۶۳	۴/۰۹	۱۰/۱۹	۱۶/۲۶	۲۲/۳۲	۲۸/۲۱	۳۳/۹۶	۱۰۰
۰/۶۳	۶/۵۷	۱۳/۰۸	۱۹/۸۰	۲۶/۲۸	۳۲/۵۸	۳۸/۷۴	۱۱۰
۲/۱۱	۹/۵۳	۱۶/۶۸	۲۳/۷۷	۳۰/۶۴	۳۷/۳۴	۴۰/۹۰	۱۲۰
۵/۴۸	۱۲/۹۷	۲۰/۷۲	۲۸/۱۸	۳۵/۴۲	۳۸/۴۰	۴۳/۹۰	۱۳۰

جدول پ-۶- فاکتور انتشار پایه دوده در وسایل نقلیه سنگین (HGV) دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار دوده (m ² /h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
۶-	۴-	۲-	۰	۲	۴	۶	
۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۰
۷/۷۰	۸/۳۲	۱۳/۰۶	۱۶/۸۱	۱۹/۲۸	۲۲/۱۰	۲۴/۶۵	۱۰

ادامه جدول پ-۶- فاکتور انتشار پایه دوده در وسایل نقلیه سنگین (HGV) دیزلی [۲۹]

۵/۰۱	۷/۸۶	۱۲/۳۴	۱۸/۲۱	۲۲/۵۲	۲۷/۵۴	۳۲/۷۳	۲۰
۴/۳۸	۷/۹۷	۱۶/۰۰	۲۰/۳۳	۲۶/۰۷	۳۴/۳۹	۴۲/۳۸	۳۰
۳/۸۴	۷/۳۳	۱۶/۵۸	۲۲/۱۱	۳۰/۲۳	۴۱/۶۴	۵۱/۷۴	۴۰
۳/۸۴	۶/۹۶	۱۶/۲۸	۲۳/۴۱	۳۵/۳۳	۴۸/۶۱	۶۲/۰۷	۵۰
۳/۸۴	۶/۲۵	۱۵/۰۸	۲۴/۸۴	۴۰/۷۳	۵۶/۰۲	۷۲/۵۷	۶۰
۳/۳۶	۴/۳۰	۱۳/۸۵	۲۷/۰۳	۴۵/۸۹	۶۴/۰۴	۸۳/۳۵	۷۰
۳/۸۴	۴/۶۶	۱۵/۴۱	۳۰/۶۴	۵۱/۹۶	۷۲/۶۰	۹۴/۷۱	۸۰
۳/۸۴	۵/۵۴	۱۷/۶۵	۳۵/۷۴	۵۸/۳۳	۸۱/۰۷	۱۰۶/۰۰	۹۰
۳/۸۴	۷/۳۰	۲۰/۶۴	۴۱/۷۸	۶۴/۶۱	۸۹/۴۳	۱۱۷/۲۰	۱۰۰
۳/۸۴	۷/۷۲	۲۴/۱۰	۴۷/۲۱	۷۰/۲۹	۹۷/۷۲	۱۲۸/۳۶	۱۱۰
۳/۹۲	۱۳/۰۶	۲۸/۲۳	۵۱/۲۱	۷۶/۰۷	۱۰۵/۸۸	۱۳۹/۴۲	۱۲۰
۴/۸۰	۱۵/۰۴	۳۲/۹۰	۵۴/۶۲	۸۱/۶۲	۱۱۴/۰۳	۱۵۰/۶۲	۱۳۰

جدول پ-۷- فاکتور انتشار پایه اکسیدهای ازت (NO_x) در وسایل نقلیه سواری (PC) بنزینی [۲۹]

فاکتور انتشار اکسیدهای ازت (g/h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	
۶/۹۷	۶/۹۷	۶/۹۷	۶/۹۷	۶/۹۷	۶/۹۷	۶/۹۷	۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۲۰/۲۰	۲۴/۱۱	۲۷/۱۶	۲۹/۹۵	۱۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۱۵/۲۸	۲۴/۷۴	۲۹/۶۵	۴۲/۲۳	۵۸/۸۱	۲۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۱۸/۲۰	۲۸/۲۷	۴۳/۲۹	۶۲/۸۹	۷۲/۷۷	۳۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۱۹/۸۵	۳۲/۱۰	۵۷/۳۸	۷۲/۳۷	۸۳/۲۳	۴۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۲۰/۱۹	۳۸/۳۶	۶۶/۱۹	۸۰/۲۰	۹۱/۸۹	۵۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۲۲/۸۸	۴۸/۸۲	۷۴/۲۴	۸۸/۹۶	۱۱۲/۹۲	۶۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۲۶/۵۴	۶۳/۳۸	۸۲/۶۲	۱۰۲/۶۷	۱۴۲/۸۶	۷۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۳۱/۸۶	۷۱/۸۴	۹۱/۰۷	۱۲۹/۰۵	۱۷۶/۵۴	۸۰
۱۴/۷۳	۱۴/۷۳	۴۷/۱۳	۸۰/۳۸	۱۰۷/۵۹	۱۵۸/۹۶	۲۱۳/۹۹	۹۰
۱۴/۷۳	۲۰/۰۶	۶۴/۹۸	۸۹/۸۵	۱۳۶/۰۷	۱۹۵/۰۸	۲۵۸/۰۱	۱۰۰
۱۴/۷۳	۲۹/۱۹	۷۶/۱۹	۱۰۸/۰۲	۱۶۹/۹۶	۲۳۶/۹۴	۳۰۸/۰۵	۱۱۰
۱۴/۷۳	۵۱/۸۵	۸۷/۵۶	۱۳۹/۹۱	۲۰۹/۹۹	۲۸۵/۲۴	۳۶۴/۷۹	۱۲۰
۱۷/۰۴	۷۰/۹۹	۱۰۶/۳۸	۱۷۸/۳۶	۲۵۶/۹۱	۳۴۰/۷۳	۴۲۸/۹۸	۱۳۰

جدول پ-۸- فاکتور انتشار پایه اکسیدهای ازت (NO_x) در وسایل نقلیه کاری سبک (LDV) بنزینی و دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار اکسیدهای ازت (g/h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	
۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۱۳/۶۳	۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۱۷/۶۹	۲۵/۱۷	۲۹/۵۶	۳۳/۰۵	۳۵/۳۱	۱۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۲۱/۱۵	۳۰/۷۷	۳۵/۳۰	۳۷/۶۲	۴۷/۱۰	۲۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۲۴/۵۸	۳۴/۶۳	۳۷/۸۴	۵۳/۲۵	۷۴/۳۴	۳۰
۱۶/۷۳	۱۳/۶۳	۲۷/۲۶	۳۶/۴۱	۴۸/۴۳	۷۵/۲۹	۱۰۳/۵۹	۴۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۲۸/۳۴	۳۷/۵۶	۶۲/۷۷	۹۶/۴۷	۱۳۱/۷۲	۵۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۳۱/۷۲	۴۴/۲۲	۸۳/۱۰	۱۲۴/۴۷	۱۸۰/۳۵	۶۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۳۵/۲۱	۶۱/۸۳	۱۰۸/۴۰	۱۶۶/۱۶	۲۴۱/۹۳	۷۰
۱۶/۷۳	۱۶/۷۳	۳۷/۷۵	۸۳/۵۷	۱۳۹/۱۵	۲۲۱/۱۶	۳۱۵/۳۵	۸۰
۱۶/۷۳	۲۵/۷۱	۵۱/۱۴	۱۰۹/۳۰	۱۸۶/۳۰	۲۸۶/۶۴	۴۰۰/۹۰	۹۰
۱۶/۷۳	۳۵/۰۰	۷۶/۵۵	۱۴۶/۰۷	۲۴۹/۷۱	۳۷۰/۹۷	۵۰۷/۷۵	۱۰۰
۱۶/۷۳	۴۱/۱۳	۱۰۸/۵۸	۲۰۳/۸۶	۳۲۹/۰۳	۴۷۳/۳۴	۶۳۴/۷۱	۱۱۰
۲۷/۳۳	۶۹/۶۱	۱۵۲/۴۵	۲۷۷/۷۸	۴۲۶/۷۳	۵۹۶/۲۶	۶۷۹/۷۳	۱۲۰
۳۷/۳۱	۱۰۷/۲۳	۲۲۰/۱۹	۳۷۰/۳۷	۵۴۵/۳۴	۶۲۴/۱۴	۷۳۵/۵۲	۱۳۰

جدول پ-۹- فاکتور انتشار پایه اکسیدهای ازت (NO_x) در وسایل نقلیه سنگین (HGV) دیزلی [۲۹]

فاکتور انتشار اکسیدهای ازت (g/h)							
شیب (%)							سرعت (km/h)
-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶	
۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۱۱۹/۶۰	۰
۷۰/۳۳	۸۵/۳۴	۱۶۹/۷۴	۲۴۸/۸۶	۳۲۳/۸۴	۴۲۳/۵۵	۵۲۴/۲۵	۱۰
۴۳/۱۳	۷۴/۴۶	۱۵۴/۴۴	۲۸۹/۳۵	۴۳۹/۳۱	۶۴۳/۹۵	۸۳۰/۶۴	۲۰
۳۸/۲۰	۷۷/۸۰	۲۲۸/۴۱	۳۵۹/۷۳	۵۸۵/۵۲	۸۹۰/۸۱	۱۱۷۵/۶۶	۳۰
۳۵/۰.۵	۶۸/۷۴	۲۴۲/۴۷	۴۲۳/۸۰	۷۴۲/۸۳	۱۱۴۷/۷۵	۱۵۱۷/۴۱	۴۰
۳۵/۰.۵	۵۹/۷۰	۲۳۴/۵۲	۴۷۳/۲۶	۹۲۲/۳۴	۱۴۰۳/۲۳	۱۸۸۰/۷۴	۵۰
۳۵/۰.۵	۴۵/۵۸	۲۰۴/۰.۱	۵۳۱/۵۹	۱۱۱۳/۲۶	۱۶۷۱/۹۴	۲۲۴۶/۷۱	۶۰
۳۰/۶۷	۳۶/۷۲	۱۸۵/۸۲	۶۲۴/۳۸	۱۳۰۴/۱۸	۱۹۵۹/۷۵	۲۶۱۵/۱۹	۷۰
۳۵/۰.۵	۳۸/۸۸	۲۲۲/۶۵	۷۶۱/۵۰	۱۵۲۹/۳۸	۲۲۵۰/۲۰	۲۹۸۴/۳۳	۸۰
۳۵/۰.۵	۴۴/۲۹	۲۸۰/۳۲	۹۳۴/۸۴	۱۷۵۲/۴۲	۲۵۲۷/۸۴	۳۳۵۰/۱۰	۹۰
۳۵/۰.۵	۶۰/۶۶	۳۸۱/۱۴	۱۱۵۰/۸۳	۱۹۶۷/۲۷	۲۷۹۹/۶۴	۳۷۱۲/۷۱	۱۰۰
۳۵/۰.۵	۸۸/۷۲	۵۰۴/۷۷	۱۳۵۰/۱۳	۲۱۵۳/۲۲	۳۰۶۷/۹۶	۴۰۷۳/۰.۲	۱۱۰

ادامه جدول پ-۹- فاکتور انتشار پایه اکسیدهای ازت (NO_x) در وسایل نقلیه سنگین (HGV) دیزلی [۲۹]

۳۶/۲۹	۱۶۲/۹۷	۶۶۲/۳۲	۱۴۹۲/۸۵	۲۳۴۰/۸۷	۳۳۳۴/۰۱	۴۴۳۱/۵۷	۱۲۰
۵۰/۰۱	۲۴۵/۰۷	۸۲۶/۳۴	۱۶۰۷/۳۱	۲۵۲۲/۷۶	۳۵۹۷/۳۰	۴۷۸۹/۵۹	۱۳۰

جدول پ-۱۰- ضریب زمان (f_t) برای وسایل نقلیه سواری (PC) [۲۹]

سال	f_t			
	NO_x		CO	
	دوده	دیزلی	بنزینی	دیزلی
۲۰۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲۰۱۵	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۷۴
۲۰۲۰	۰/۲۹	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۶۵
۲۰۲۵	۰/۱۷	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۶۰
۲۰۳۰	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۵۷

جدول پ-۱۱- ضریب زمان (f_t) برای وسایل نقلیه کاری سبک (LDV) [۲۹]

سال	f_t	
	NO_x	CO
	دوده	بنزینی و دیزلی
۲۰۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲۰۱۵	۰/۵۴	۰/۷۶
۲۰۲۰	۰/۳۰	۰/۴۹
۲۰۲۵	۰/۲۰	۰/۳۶
۲۰۳۰	۰/۱۵	۰/۳۰

جدول پ-۱۲- ضریب زمان (f_t) برای وسایل نقلیه سنگین (HGV) [۲۹]

سال	f_t	
	NO_x	CO
۲۰۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲۰۱۵	۰/۵۹	۰/۶۱
۲۰۲۰	۰/۳۳	۰/۳۵
۲۰۲۵	۰/۲۱	۰/۲۳
۲۰۳۰	۰/۱۶	۰/۱۸

جدول پ-۱۳- ضریب جرمی (f_m) برای وسایل نقلیه سنگین (HGV) [۲۹]

وزن (t)	CO	NO_x	دوده
۱۵	۰/۷	۰/۷	۰/۷
۲۳	۱/۰	۱/۰	۱/۰

ادامه جدول پ-۱۳- ضریب جرمی (f_m) برای وسایل نقلیه سنگین (HGV) [۲۹]

۱/۹	۱/۹	۱/۹	۳۲
-----	-----	-----	----

جدول پ-۱۴- ضریب تاثیر مربوط به استانداردهای مختلف (f_e) [۲۹]

نوع وسیله نقلیه	کربن مونوکسید	اکسیدهای ازت	دوده
خودروهای سواری	۲/۹	۲/۸	۱
خودروهای سبک کاری	۳/۵	۱/۵	۲/۶
خودروهای سنگین	۲/۳	۱/۸	۲/۸

پیوست ۲

کد تعریف شده کاربر (UDF) برای تعریف آهنگ جرمی دود ناشی از آتش:

```
#include"udf.h"
```

```
DEFINE_PROFILE(inlet_mf, th, i)
```

```
{
```

```
    face_t f;
```

```
    begin_f_loop(f, th)
```

```
    {
```

```
        if (CURRENT_TIME <= 185.0)
```

```
            F_PROFILE(f, th, i) = 0.0;
```

```
        else if (CURRENT_TIME > 185.0 && CURRENT_TIME <235.0)
```

```
            F_PROFILE(f, th, i) = 9.9;
```

```
        else if (CURRENT_TIME >= 235.0 && CURRENT_TIME <300.0)
```

```
            F_PROFILE(f, th, i) = 16.4;
```

```
        else
```

```
            F_PROFILE(f, th, i) = 0.0;
```

```
    }
```

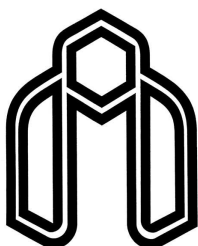
```
    end_f_loop(f, th);
```

```
{
```


Abstract

With increasing population and consequently, the demand for constructing more roads, more tunnels are constructed to connect these roads together. According to the traffics of tunnels, the ventilation inside these underground structures is very important. A proper ventilation causes the contaminants from combustion of vehicles to decrease and provides better circumstances for breathing for the people in this limited space. The significant role that ventilation system plays in case of fire and dispersion of large volume of smoke inside the tunnel is another substantial reason for the necessity of utilizing appropriate ventilation system in the tunnel. In this research, the best ventilation system for Alavi tunnel, Shaid Rajaei town, Hormozgan is proposed. Using different standards, the necessity of utilizing mechanical ventilation system in there is determined and considering the advantageous of using longitudinal ventilation system, this ventilation approach is selected for Alavi tunnel. The air flow needed for ventilating this tunnel is calculated using both classic methods and the approach presented by PIARC committee. Then, the required pressure drop is computed considering different pressure components. Finally, according to the calculations, two jet fans from two separate company, Novenco and Korfmann is considered for the ventilation of Alavi tunnel. To compare these two jet fans better in case of fire, the tunnel is simulated separately for each jet fan in both normal and fire mode using Fluent software package. As a result, by comparing the outcomes from the software and considering the technical properties of each jet fan, the one from Novenco Corporation is proposed to use in Alavi tunnel.

Keywords: Traffic, Longitudinal Ventilation, PIARC Committee, Fire Simulation, Fluent CFD Package



Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

**Selection and Analysis of an Appropriate Method for
Ventilation of Alavi Tunnel, Bandar Abbas with
Technical-Economic Approach**

By:

Razie Akhbari

Supervisors:

Dr. Farhang Sereshki

Mr. Hasan Madani

Advisor:

DR. Shobair Arshad Nejad

September 2018