



()

آلودگی ناشی از دی‌اکسید نیتروژن

در تونلهای راه

()

P / C / /

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری



دبیرخانه مجمع جهانی راه (پی‌آرک) در ایران

آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن در تونل‌های راه

**POLLUTION BY NITROGEN DIOXIDE IN
ROAD TUNNELS**

(گزارش کمیته شماره ۵)

ترجمه:

کمیته تونل‌های راه در ایران

مقدمه

وزارت راه و ترابری به عنوان متولی اصلی صنعت حمل و نقل کشور، نیازمند استفاده از بخش وسیعی از خدمات مهندسی در زمینه طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از اجزاء سیستم حمل و نقل می‌باشد. از اینرو ضروری است که دانش فنی مورد نیاز بطور مستمر در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار گرفته و نیازهای مطالعاتی و تحقیقاتی آنها مرتفع گردند. معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری درصدد است ضمن شناسایی نیازهای اساسی بخشهای مختلف وزارت متبوع و انجام تحقیقات علمی - کاربردی در زمینه مسائل فنی حمل و نقل و همچنین استفاده از آخرین دستاوردها و انجام مبادلات علمی با مجامع و سازمانهای علمی و تخصصی ذیربط، از جمله مجمع جهانی راه (پیارک)، به رفع این نیازها بپردازد. در همین راستا این معاونت بر آن است تا با تهیه و تدوین مجموعه گزارشات تخصصی کمیته‌های مختلف مجمع جهانی راه (پیارک)، دانش فنی مورد نیاز را به شکلی مناسب در اختیار بخشهای مختلف وزارت متبوع و سایر متخصصان قرار دهد. گزارش حاضر تلاشی در راستای نیل به این هدف می‌باشد. امید است که با تلاشهای صورت گرفته در واحد فناوری و دبیرخانه ارتباط با سازمانهای تخصصی و همکاری افرادی که در تهیه این گزارش ما را یاری رساندند، گامی مؤثر در جهت ایجاد تحول، نوآوری و ارتقاء عملکردها برداشته شود.

محمد جعفر اکرام جعفری

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

مختصری در خصوص پیارک

انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (پیارک) با هدف جمع‌آوری و انتشار اطلاعات در خصوص مسائل مربوط به جاده و ترافیک آن، اصلاح و استاندارد کردن شیوه‌های اجرایی، اداری و مالی، طراحی ساختمان و نگهداری راهها، یکنواخت کردن علائم و نشانه‌ها، کدهای مربوط به آمد و شد در شاهراههای کشورهای مختلف و پیش‌بینی شبکه ارتباطی لازم متناسب با پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی کشورها در سال ۱۹۰۸ همزمان با برگزاری اولین کنگره آن و با شرکت ۲۷ کشور جهان در پاریس تشکیل شد.

این انجمن، با مشارکت کشورهای مختلف هر چهار سال یکبار در زمان و مکانی که توسط دولتهای عضو مورد توافق قرار می‌گیرد کنگره‌ای را برگزار می‌کند و هم‌اکنون با تغییر نام به مجمع جهانی راه با بیش از ۲۰۰۰ نماینده از ۱۰۵ کشور عضو به کار خود ادامه می‌دهد. در سال ۱۹۹۹ میلادی بیست و یکمین کنگره این مجمع در شهر کوآلالامپور مالزی برگزار گردید.

اهداف کلی و اولیه پیارک را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- بهبود ارتباطات بین‌المللی

۲- تدوین سیاستهای حمل‌ونقل جاده‌ای

۳- ارتقای کیفیت برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری راهها

۴- ارتقای کیفیت اجرایی و مدیریت سیستمهای راه

و امروزه این اهداف شکل جدیدی پیدا کرده و با سرعت بیشتری تعقیب می‌گردد که عبارتند از:

۱- افزایش همکاری بین‌المللی.

۲- پیشرفت هر چه سریعتر و جهت‌دار نمودن سیاستهای برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری

راهها.

طی سالهای اخیر فعالیتهای مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران گسترش یافته و با تشکیل دبیرخانه این مجمع در معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری و معرفی اعضاء، سعی بر آن شده که هر چه بیشتر با مرکز پیارک در فرانسه ارتباط لازم برقرار شود. اعضای که برای این مجمع در نظر گرفته شده شامل یک عضو اصلی و یک عضو مکاتبه‌ای برای هر یک از کمیته‌های ۲۰ گانه مندرج در زیر می‌باشند:

- کمیته مشخصات سطح راه

- کمیته مشاوره عمومی

- کمیته تبادلات فن‌آوری و توسعه

- کمیته راههای بین‌شهری و حمل‌ونقل ترکیبی

- کمیته اجرای تونل‌های راه
- کمیته مدیریت راه
- کمیته روسازی راه
- کمیته ارزیابی مالی و اقتصادی
- کمیته مناطق شهری و حمل‌ونقل ترکیبی
- کمیته پلها و دیگر سازه‌های راه
- کمیته عملیات خاکی، زهکشی و بستر روسازی
- کمیته ایمنی راهها
- کمیته توسعه پایدار و حمل‌ونقل جاده‌ای
- کمیته عملکرد ادارات راه
- کمیته عملکرد شبکه راه
- کمیته راهداری زمستانی
- کمیته مدیریت ریسک در راهها
- کمیته حمل‌ونقل بار
- کمیته توسعه مناسب
- کمیسیون اصطلاحات فنی

ریاست پیارک در ایران بر عهده آقای دکتر مرتضی قارونی نیک، آقای مهندس اصغر نادری سمت دبیر پیارک و آقای مهندس مهران قربانی مسؤولیت دبیرخانه پیارک در ایران را عهده‌دار می‌باشند. با توجه به اهداف اصلی مجمع جهانی راه، دبیرخانه پیارک در ایران با بازنگری در تشکیلات و اعضای خود به جهت رسیدن به ترکیب ایده‌آل چه به لحاظ امکانات و تسهیلات و چه به لحاظ نیروهای تخصصی فعال امیدوار است که بتواند در ارتقای سطح دانش فنی و تخصصی زیرمجموعه‌های مختلف حمل‌ونقل جاده‌ای کشور سهم و نقش خود را ایفاء نماید.

دبیرخانه پیارک در ایران

تابستان ۱۳۸۲

آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن در تونل‌های راه

صفحه	فهرست
۱.....	آشنایی
۲.....	واژه های کلیدی
۲.....	فهرست نمادها
۳.....	پیشگفتار
۴.....	۱- مقدمه
۶.....	۲- تاثیر NO_2 بر سلامتی انسان
۶.....	۱-۲- پیش زمینه
۶.....	۲-۲- تاثیر تنفس کوتاه مدت NO_2 بر سلامتی افراد حساس
۷.....	۳-۲- تاثیر حضور ۳۰ دقیقه ای در هوای آلوده تونل‌های راه
۹.....	۴-۲- منابع
۱۰.....	۳- اندازه گیری NO_x در تونلها
۱۰.....	۱-۳- روشهای اندازه گیری NO_x
۱۰.....	۲-۳- چگونگی اندازه گیری NO_x در تونلها
۱۱.....	۳-۳- بحث
۱۲.....	۴-۳- نسبت اندازه گیری شده NO_2 / NO_x در تونلها
۱۳.....	۵-۳- منابع
۱۴.....	۴- پیشنهاداتی برای غلظت مجاز NO_2 در تونلها
۱۵.....	۵- کنترل تهویه
۱۵.....	۱-۵- بیان مساله

فهرست

صفحه

۱۶	۲-۵- توجیه مساله
۲۰	۳-۵- یادداشت های کلی
۲۰	۴-۵- اجزای سیستم کنترل
۳۰	۵-۵- نتیجه گیری
۳۱	۶-۵- منابع
۳۲	پیوست

آشنایی

این گزارش تحت نظارت و با تصویب شاخه تونلهای راه کمیته *PIARC* و به وسیله گروه کاری شماره ۲ تهیه شده که این گروه کاری مطالعات خود را در مورد آلودگی، تهویه و محیط زیست متمرکز کرده است. اعضای گروه به شرح زیر می باشند:

- ۱- ی. دارپاس از فرانسه
- ۲- ف. هاکار از اسپانیا
- ۳- پ. رتانا از اسپانیا
- ۴- ا. کاسال از فرانسه
- ۵- م. بورن باک از سوئد
- ۶- ر. اردیت از ایتالیا
- ۷- و. فرو از ایتالیا
- ۸- ژ.پ. مارشال از فرانسه
- ۹- ه. هایین از *PAYS BAS*
- ۱۰- ل. سوارت از *PAYS BAS*
- ۱۱- ا. ژاکز از بلژیک
- ۱۲- ک. پاچر از اتریش
- ۱۳- ه. چایدر از سوئیس
- ۱۴- ف. زاستگ از سوئیس
- ۱۵- و. ج. گرای از بریتانیای کبیر
- ۱۶- ج. کیل از آمریکا
- ۱۷- هنینگ از نروژ

فصلهای مختلف این گزارش به وسیله افراد زیر تهیه شده است:

فصل اول: ی. دارپاس

فصل دوم: م. بورن باک

فصل سوم: ژ.پ. مارشال

فصل چهارم: ی. داربان

فصل پنجم: ا. ژاکز

واژه های کلیدی

آلودگی، تونل، تهویه، اکسید نیتروژن، سلامتی، ترافیک، کنترل

فهرست نمادها

CO: مونو اکسید کربن

NO: مونو اکسید نیتروژن

NO₂: دی اکسید نیتروژن

NOX: اکسیدهای نیتروژن کلی

OMS: سازمان سلامتی و بهداشت جهانی

PEV: حجم هوای دهشی در یک ثانیه

EP: فاز اولیه

LP: فاز آخر

PM₁₀: ذرات ریز و درشت قابل تنفس

PM_{2.5}: ذرات ریز قابل تنفس

PPM: قسمت در میلیون

PPb: قسمت در بیلیون

TLV: حد مجاز

TDCS: سیستم کنترل ترافیک

PDCS: سیستم کنترل آلودگی

RPM: دور در دقیقه

پیشگفتار

گزارش پیوست نتایج فعالیتهای گروه کاری شماره ۲ کمیته تونلهای راه پیارک می باشد که در فوریه سال ۱۹۹۹ ارائه شده است.

این کمیته طی سالهای ۱۹۹۵ الی ۱۹۹۹ به شش گروه کاری تقسیم شد و هر گروه کاری به ترتیب در خصوص موضوعات زیر فعالیت داشتند:

گروه کاری شماره ۱: کاهش هزینه های عملیاتی

گروه کاری شماره ۲: آلودگی، محیط زیست و تهویه

گروه کاری شماره ۳: تونلهای سطحی

گروه کاری شماره ۴: علائم ایمنی و طرح هندسی تونلها

گروه کاری شماره ۵: حمل و نقل محموله های خطرناک

گروه کاری شماره ۶: کنترل دود و آتش.

تا کنون سیستم های تهویه تونلهای راه بر مبنای رقیق کردن CO و دوده ناشی از اتومبیلهای دیزلی طراحی می شد. طراحان تهویه بر این باور بودند که اگر شدت جریان هوای لازم بر اساس رقیق کردن CO محاسبه شود، این شدت جریان برای رقیق کردن سایر آلاینده ها از جمله NO_x کافی خواهد بود.

امروزه با اصلاحاتی که در مورد ساخت موتور اتومبیلها انجام گرفته، تصاعد CO تا حد زیادی کاهش یافته و بنابر این نقش CO در طراحی سیستم تهویه به مرور کم شده است. لذا عوامل دیگری از جمله NO_2 باید مبنای طراحی قرار گیرد.

اهدافی که گزارش پیوست به همراه دارد عبارتست از:

- مروری بر مطالعاتی که درباره سمی بودن NO_2 انجام شده است.
- بررسی روشهای اندازه گیری میزان NO_x و NO_2 و نسبت آنها در تونلها
- ارزیابی و برآورد میزان NO_2 حاصله به وسیله اتومبیلها در تونل
- ارائه پیشنهاداتی در مورد حد مجاز این آلودگی ها در تونل
- ارائه گزینه هایی جهت کنترل سیستم تهویه

۱- مقدمه

بدون شک، ترافیک جاده ای یکی از مهمترین عوامل آلوده کننده محیط زیست در شهر و نواحی پر جمعیت به شمار می رود. علیرغم همه کوششها و پیشنهادهای که در زمینه کنترل و حتی کاهش ترافیک به عمل آمده است، اما به نظر می رسد که طی چند دهه آینده نیز همچنان شاهد افزایش ترافیک باشیم. یکی از راه های غلبه بر این مشکل، انتقال ترافیک به زیر زمین یعنی به داخل تونلها است که این امر، احداث تونلهای بیشتری را می طلبد. بعضی از این تونلها ممکن است با یکدیگر تلاقی کنند و یک شبکه ترافیک زیر زمینی را به وجود آورند. در چنین مواردی، مسئله تهویه این تونلها از جمله نکات مهمی است که نباید فراموش شود.

اگر بنا شد که تونلی حفر شود، تهویه آن باید به گونه ای باشد که شرایط راحت و ایمنی را برای سرنشینان اتومبیلها فراهم سازد. از سوی دیگر، انجام تهویه مناسب و قوی، مصرف انرژی را به دنبال دارد که ممکن است هزینه های آن در تونلها، خصوصاً در مورد تونلهای طویل قابل توجه باشد. بدین ترتیب، طراحان تونلها با دو مسأله زیر مواجه اند:

الف - طراحی سیستم تهویه

ب - تدوین روشهای کنترل سیستم تهویه

تا کنون، سیستم تهویه تونلها بر مبنای رقیق کردن مونواکسید کربن تا حد مجاز و نیز کاهش میزان دوده حاصل از اتومبیلهای دیزلی طراحی می شد. تصور عمومی بر آن بود که هوای لازم برای رقیق کردن مونواکسید کربن مبنای طراحی سیستم تهویه تونل قرار گیرد، این مقدار هوا برای رقیق کردن سایر آلوده کننده ها و از آن جمله اکسیدهای ازت کافی است و نیازی نخواهد بود که این گازها جداگانه بررسی شوند. ضمن آنکه اصولاً استاندارد خاصی برای حدود مجاز اکسیدهای ازت، پیش بینی نشده بود.

مقررات متعددی که به وسیله کشورها در زمینه کاهش مواد آلاینده وضع شد، کاهش آهنگ تولید CO ، به ویژه در مورد اتومبیلهای سبک را در پی داشت (این امر سبب شد که شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونلها بر این مبنا کاهش یابد).

در سالهای اخیر، مسئله آلودگی ناشی از اکسیدهای ازت در نواحی شهری مورد توجه قرار گرفت و غلظت این اکسیدها به ویژه دی اکسید ازت (NO_2) بررسی شد.

یکی از مشکلات مربوط به بررسی اکسیدهای ازت، اکسایش NO و تبدیل آن به NO_2 است که شدت آن به عوامل آب و هوایی از قبیل دما، نور خورشید، سطح ازن و رطوبت بستگی دارد. نبودن وسایلی که بتواند میزان NO_2 را با دقت مورد نظر اندازه گیری کند، از جمله مشکلات دیگر این بررسیها به شمار می آید.

در مورد نواحی شهری، از سوی سازمان بهداشت جهانی، مقرراتی به شرح زیر برای حد مجاز اکسیدهای ازت وضع شده است.

- الف- WHO ۱۹۸۷: حد $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۲) در طی یک ساعت
 حد $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۰۸) بطور متوسط در طی ۲۴ ساعت
 ب- WHO ۱۹۹۶: حد $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۱) در طی یک ساعت
 حد $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۰۲) بطور متوسط در طی یکسال

در کشورهای اروپایی حدود زیر تدوین شده است:

- الف- ۵۰ Perc → حد $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۱۰۶)
 ب- ۹۸ Perc → حد $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (معادل PPm ۰/۷۲)

این مقادیر، برای مواردی است که شخص به مدت طولانی در معرض این گازها قرار گیرد و با آنچه که در مورد طراحی سیستم تهویه تونلها به کار می رود، بسیار متفاوت است. بنابر این باید حدود مجازی برای غلظت این گاز در تونلها تدوین شود که هم از نظر سلامتی افراد و هم از نظر امکانات فنی و اقتصادی معقول باشد.

مطالعاتی که درباره زیانهای ناشی از NO_2 انجام گرفته نشانگر آن است که تاثیر این گاز بر افراد سالم و افرادی که مشکلات تنفسی دارند، بسیار متفاوت است و این نیز به مشکلات طراحی سیستم تهویه می افزاید.

معمولا سیستمهای کنترل تهویه تونلها بر مبنای اندازه گیری میزان آلودگی در تونل کار می کنند. از آنجا که در این اندازه گیریها، معمولا فقط میزان CO اندازه گیری شده و میزان NO_2 در نظر گرفته نمی شود لذا ممکن است مشکلاتی را به بار آورد.

با توجه به آنچه که گفته شد، هدفهای حاضر را می توان این چنین در نظر گرفت:

- مروری بر مطالعاتی که درباره سمیت NO_2 انجام شده است
- بررسی روشهای اندازه گیری میزان NO_x ، NO_2 و نسبت آنها در تونلها
- ارزیابی و برآورد میزان گازهای NO_2 حاصله به وسیله اتومبیلها در تونل
- ارائه پیشنهاداتی در مورد حد مجاز این آلودگیها در تونل
- ارائه گزینه های دیگر به جای روشهایی که بر مبنای کنترل آلودگیها بنا شده است، به منظور کنترل سیستم تهویه

۲- تأثیر NO_2 بر سلامتی انسان

۲-۱- پیش زمینه

اکسید نیتروژن (NO) و دی اکسید نیتروژن (NO_2) مواد آلاینده ای هستند که در اثر احتراق سوخت در موتورهای درونسوز، تولید می شوند. خروج این گازها از موتور و نیروگاهها، مهمترین منبع خارجی تولید این گازها در مناطق شهری است. گرچه در ابتدای کار، بخش عمده ای از اکسیدهای ازت را NO تشکیل می دهد اما این گاز در حضور ازن (O_3)، به سرعت اکسید شده و به NO_2 تبدیل می شود. میزان NO_2 موجود در هوای شهرها به عواملی همچون فصل، دما و ساعات روزانه، بستگی دارد. در شهرهای با ترافیک سنگین مثل شهرهای گوتنبرگ و استکهلم در سوئد، اوج غلظت این گاز ممکن است به ۲۵۰ تا $300 \mu g/m^3$ برسد، حال آنکه میزان این گاز در شهرهایی مثل لندن، لوس آنجلس و مکزیکوسیتی به حدود ۴۰۰ تا $700 \mu g/m^3$ نیز می رسد. در تونلهای جاده ای پرترافیک فرانسه و سوئد، غلظت این گاز تا حد $1500 \mu g/m^3$ نیز گزارش شده است.

۲-۲- تأثیر تنفس کوتاه مدت NO_2 بر سلامتی افراد حساس

افرادی که دارای بیماری آسم هستند، از تنفس هوای حاوی NO_2 رنج می برند. آسم از جمله بیماریهای زیست محیطی است که شیوع آن در کودکان و بزرگسالان در سطح جهان در حال گسترش است. مطالعات نشان می دهد این آهنگ گسترش در مقایسه با آمار چند دهه قبل، افزایش یافته است. در انستیتوی کارولینسکا^۱، پنج مورد تحقیق درباره نقش NO_2 در مورد افراد مبتلا به آسم انجام گرفته است. بر اساس این مطالعات، تأثیر NO_2 بر افرادی که مشکل تنفسی دارند ممکن است در اوایل کار و یا دیر هنگام و مدتی پس از تنفس، ظاهر شود. واکنش دیر هنگام تنفسی به عنوان مدلی در مورد بررسی بیماری تنفسی پیشنهاد شده است.

بر اساس مطالعاتی که در چهار مورد بر روی کسانی انجام گرفته است که به مدت ۳۰ دقیقه در معرض هوای با غلظت $500 \mu g/m^3$ گاز NO_2 قرار داشته اند، نتایج زیر را می توان بیان کرد:

الف- حضور کوتاه مدت در برابر NO_2 ، نقش عمده ای در بروز حساسیت در سیستم تنفسی دارد.

ب- وجود NO_2 واکنش سیستم تنفسی را نسبت به حساسیت افزایش می دهد.

ج- اگر NO_2 با حساسیت کمی همراه باشد، سبب تسریع واکنشهای اولیه ناراحتی های تنفسی (آسم) خواهد شد.

د - حضور در برابر NO_2 سبب افزایش واکنش سیستم تنفسی به هنگام فاز نهایی پس از تحریک آلرژیک خواهد شد.

ه - در هر دو مرحله ابتدایی و نهایی بیماری آسم، یک واکنش کوچک اما مهم نسبت به حضور روزانه NO_2 وجود دارد.

و - حضور در برابر NO_2 و تحریک مجدد توسط آن، نقش مهمی بر عملکرد ششها دارد.

ز - حضور در برابر NO_2 تغییرات اندکی را در سلولهای خونی و واکنشهای سیستم تنفسی به وجود می آورد که تعبیر و تفسیر این تغییرات، مشکل است.

در جدول زیر، نتایج سه مورد تحقیقاتی که در بیمارستانی واقع در شهر استکهلم انجام گرفته، درج شده است. این تحقیقات مربوط به کسانی است که آلرژی داشته اند.

نشانه های ذهنی بیماری	واکنش نهایی آسم	واکنش اولیه آسم	حد حساسیت	حضور NO_2	مورد مطالعه
-	↑	-	بالا	یکبار	منطقه ۱
-	-	↑	پائین	یکبار	منطقه ۲
↑	↑	↑	پائین	مکرر	منطقه ۳
↑	↑	↑	پائین	یکبار(همراه با آلاینده ای دیگر)	تونل

مطالعات نشان داده است که حضور کوتاه مدت در محیط های با غلظت زیاد NO_2 ، واکنش سیستم تنفسی را نسبت به حساسیت های تنفسی، افزایش می دهد.

۲-۳- تاثیر حضور ۳۰ دقیقه ای در هوای آلوده تونلهای راه

به منظور بررسی اثرات حضور میان مدت در هوای آلوده تونلها، ۲۰ داوطلب که نسبت به آسم حساسیت داشتند، به مدت ۳۰ دقیقه در تونلی در شهر استکهلم در معرض هوای آلوده قرار گرفتند. این آزمایش دوبار و به فاصله چهار هفته در فاصله دسامبر ۱۹۹۶ تا فوریه ۱۹۹۷ انجام گرفت. میزان NO_2 موجود در شرایط مختلف به شرح زیر بود:

الف - غلظت بالا از $203 \mu g/m^3$ تا $462 \mu g/m^3$ و بطور متوسط $313 \mu g/m^3$

ب - غلظت متوسط از ۱۰۳ تا $613 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و به طور متوسط $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ج - غلظت پایین از ۶۱ تا $218 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و به طرز متوسط $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$

چهار ساعت پس از حضور در تونل، افراد حساسیت اندکی را بروز دادند. به عنوان مواد حساسیت زا از قارچها و مواد گیاهی استفاده شد اما به نظر می رسد که نقش آنها مشابه سایر عوامل حساسیت زا نظیر گربه، سگ و موارد مشابه باشد.

واکنش آسمی در مراحل اولیه به عنوان مقاومت تنفسی ویژه، ۱۵ دقیقه پس از تنفس این مواد حساسیت زا اندازه گیری شد. در مرحله پایانی نیز، کاهش فعالیت ریه ها ۳ تا ۱۰ ساعت پس از تنفس این مواد، مد نظر قرار گرفت.

برای کنترل وضعیت، افراد در معرض هوای یکی از تونلهای مترو که آلودگی آن به مراتب کمتر بود، قرار گرفتند.

تونل مورد نظر، ۱۵۰۰ متر طول داشت و ترافیک آن حدود ۳۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز بود. اتومبیل حامل افراد در فاصله ۱۰۰۰ متری در دهانه تونل قرار داشت.

در طول اقامت افراد در تونل، شواهدی همچون افزایش سرفه، مشکلات تنفسی و تنگی نفس کم یا در حد متوسط بود. از سوی دیگر ریه ها در طول ساعات صبح واکنشی نسبت به میزان NO_2 نشان ندادند. باید توجه داشت که داوطلبان مورد مطالعه نوعی آسم برونشیتی داشتند اما عملکرد ریه آنها عادی بود.

چهار ساعت پس از حضور در تونل، در مراحل اولیه عملکرد ریه ها کاهش یافت و در طول عصر و شب بروز علائم آسم مشاهده شد. افزایش آسمی در مراحل اولیه، در هر دو سطح آلودگی $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۳۰۰ و $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ از NO_2 مشاهده شد. علاوه بر این، کاهش عملکرد ریه افرادی که در معرض سطح آلودگی بالاتری از NO_2 قرار داشتند، شدیدتر بود.

References

1. Strand V. Effects of nitrogen dioxide on airway responsiveness in allergic asthma . Stockholm 1998. Doktorsavhandling.
2. Folinsbee LJ. Does nitrogen dioxide exposure increase airway responsiveness? Toxicological and industrial Health 1992: 8(5): 273 – 283.
3. Svartengren M. Strand V, Bylin G, Jarup L, Pershagen G et al. Short – term exposure to air pollution in a road tunnel enhances the asthmatic response to allergen.
4. Arbetslivsinstitutet (The National Institute for Working Life) , Luftfororeningar I fordon – Halter Och atgarder (Air Pollutions I vehicles – Levels and measures) . In Swedish. 1196:18.
5. Vanderstaeten PF et al. Tunnel air quality – The carbon balance as an alternative to evaluate traffic emissions. Staub – Reinhaltung der Luft , 1991.

۳ - اندازه گیری NO_x در تونلها

۳-۱ - روشهای اندازه گیری NO_x

یکی از مشکلاتی که در امر کنترل اکسیدهای ازت وجود دارد، توجه به این واقعیت است که آنچه را که از آگزوز اتومبیلها خارج می شود، به صورت NO_x یعنی $NO + NO_2$ بیان می کنند، حال آنکه حد مجاز اکسیدهای ازت فقط براساس میزان NO_2 تعیین می شود.

اکسیدهای ازت از جمله آلودگی های ناپایدارند. تشخیص دو گاز NO و NO_2 نیز مشکل است و به تکنیکهای پیچیده ای نیاز دارد. در آزمایشگاه می توان بدین منظور از آشکارسازهایی با دقت بالا استفاده کرد.

NO_2 ، که درصد ناچیزی از مخلوط NO_x را در تونلها تشکیل می دهد (کمتر از ۱۰ درصد)، با روش جداگانه ای اندازه گیری می شود و مستلزم استفاده از دستگاههای بسیار دقیق و قابل اعتماد است. استفاده از بعضی روشهای ارزاتر و آسانتر، نظیر روشهایی که بر اساس استفاده از سلولهای الکتروشیمیایی بنا شده اند را نیز باید مد نظر قرار داد. به هر حال، اگر هم از این دستگاهها بتوان برای اندازه گیری میزان غلظت NO استفاده کرد اما برای اندازه گیری NO_2 مناسب نیستند. از سوی دیگر، اندازه گیری مداوم NO نیز از جمله روشهایی است که باید مد نظر قرار گیرد زیرا به کمک آن می توان با معلوم بودن نسبت $\frac{NO_2}{NO_x}$ ، میزان غلظت NO_2 را نیز به دست آورد.

۳-۲ - چگونگی اندازه گیری NO_x در تونلها

برای اندازه گیری NO_x در تونلها، روشهای مختلفی ارائه شده است. در اینجا به شرح روشهای جدید که کارایی خود را نشان داده اند، می پردازیم. در حالت کلی می توان گفت که مقایسه بین روشهای مختلفی که در تونلهای متفاوت به کار گرفته شده، مشکل است. زیرا شرایط کاردر دو تونل مختلف با هم تفاوت دارد و نمی توان وضعیت یکسانی را برای تونلهای متفاوت در نظر گرفت. با وجود این، می توان جدولی مطابق ۳-۱ از نتایج مختلف را تنظیم و آنها را با هم مقایسه کرد.

جدول ۳-۱- میزان غلظت NO_2 در چند تونل مختلف

متوسط غلظت NO_2 (PPb)	حداکثر غلظت NO_2 (PPb)	محل اندازه گیری
۱۰۳	۲۷۳	Soderleds (S) تونل
۸۰	۲۵۶	۱۹۹۳: آزمایش اول
۵۲	۴۱۳	۱۹۹۶: آزمایش دوم
۴۷	۷۰۸	Tingstads (S) تونل
		Gnistangs (S) تونل
۶۳	۱۸۱ (۱۵۳)	AM broise Pare (F) تونل
۸۱	۴۵۲ (۳۶۵)	Saint – Cloud (F) تونل
۲۹۰	۵۹۰ (۵۶۲)	Croix – Rouse (F) تونل
۵۰۰	۱۲۸۰ (۱۰۷۰)	Mont Blanc (F/I) تونل

در جدول ۳-۱، حداکثر غلظت NO_2 در طول چندین ساعت که به صورت اعدادی در داخل پرانتز مشخص شده، اندازه گیری شده است. همچنین میانگین غلظت در طول یک روز کاری و یا در کل دوره مطالعه، محاسبه شده است.

۳-۳- بحث

جدول ۳-۱، تفاوت چشمگیر حداکثر و میانگین مقادیر اندازه گیری شده در تونلها را نشان می دهد. این اختلاف ناشی از عواملی همچون موقعیت تونلها، مشخصات هندسی تونلها، نوع و ترکیب ترافیک و مسایل مشابه آنها است.

بیشترین غلظت اندازه گیری شده برای تونلهای شهری مربوط به تونل دو طرفه *LaCroix – Rouse* به طول ۱۷۵۰ متر و به هنگام اوج ترافیک تونلی طی ساعات ۶ صبح تا ۱۰ بعد از ظهر بوده است. سیستم تهویه این تونل به طور خودکار و بر اساس غلظت CO کنترل می شد، به گونه ای که عیار این گاز از $40 PPM$ تجاوز نکند.

مطابق جدول ۳-۱ غلظت NO_2 در تونل Mont Blanc بیش از تونلهای دیگر است و متوسط روزانه آن به $500 PPM$ می رسد. علت آن است که این تونل ۱۱/۶ کیلومتر طول دارد و ترافیک بین المللی آن بسیار سنگین است که در بین آنها تعداد زیادی کامیون بسیار سنگین دیده می شود.

۳-۴- نسبت اندازه گیری NO_2 / NO_x در تونلها

قبلاً درباره اهمیت نسبت NO_2 / NO_x در تونلها که معمولاً بر حسب درصد حجمی بیان می شود بحث کردیم و دیدیم که با اندازه گیری NO_x و به کمک این نسبت می توان غلظت NO_2 را به دست آورد.

گرچه یک قانون کلی را در این مورد نمی توان بیان کرد اما شواهد موجود بیانگر آن است که این نسبت بسته به عواملی همچون طول تونل، نوع سیستم تهویه و غلظت NO_x تغییر می کند.

مطالعاتی که طی یک دوره طولانی در سال ۱۹۹۷ در مورد تونل Croix - Rousse انجام گرفته، مقادیر زیر از اکسیدهای ازت برای منطقه میانی این تونل را نشان می دهد:

- مقادیر متوسط روزانه این نسبت طی ساعت ۶ صبح تا ۱۰ شب (در مدت یک هفته) بین ۷/۳ تا ۹/۲ درصد بوده است.

- مقدار حداکثر این نسبت طی همان دوره ۸/۷ تا ۹/۶ درصد به دست آمده است اما این نسبت طی ساعات شب که ترافیک سبکتر و آلودگی کمتر است به ۱۹ درصد هم می رسد.

به طور خلاصه می توان گفت که حداکثر نسبت روزانه NO_2 / NO_x در تونلها را می توان حدود ۱۰ درصد در نظر گرفت و همین امر را مبنای طراحی سیستم تهویه قرار داد، اما این نسبت در طول شب تغییر می کند.

References

1. NO_x Measurements in three Swedish road tunnels(1993-1996)- Swedish National Road Administration(1997).
2. La pollution atmospherique dans les tunnels de Saint – Cloud et Ambroise Pare a Paris – Rapport du Laboratoire Central de la Prefecture de Police de Paris (1997).
3. mesures de NO_x , NO , NO_2 et CO au tunnel de la Croix – Rousse a Lyon –Rapporn CETU (1997)
4. Etude de la pollution du tunnel sous le Mont – Blanc – Rapport CETU (1997).

۴ - پیشنهاداتی برای غلظت مجاز NO_2 در تونلها

تاکنون، معمولاً سیستمهای تهویه تونلهای راه بر مبنای رقیق کردن CO و دود ناشی از اتومبیلهای دیزلی، طراحی می شود. طراحان تهویه، بر این باور بودند که اگر شدت جریان هوای لازم براساس رقیق کردن CO محاسبه شود، این شدت جریان برای رقیق کردن سایر آلاینده ها و از آن جمله NO_x کافی خواهد بود.

امروزه، با اصلاحاتی که در مورد ساخت موتور اتومبیلها انجام گرفته، تصاعد CO تا حد زیادی کاهش یافته و بنابراین نقش CO در طراحی سیستم تهویه، به مرور کم شده است. بنابراین در این طراحی ها، بایستی عوامل دیگر و از جمله NO_2 مبنای طراحی قرار گیرند.

در گزارش PIARC که در سال ۱۹۹۵ ارائه شد، نسبت NO_2 / NO_x معادل ۰/۱۰ پیش بینی شده است تا براساس آن بتوان با اندازه گیری NO_x ، به میزان NO_2 موجود در تونل، پی برد.

مطالعات نشانگر آن است که NO_2 ، در غلظتهای ۴۰۰۰ تا $5000 \mu g / m^3$ (۴ تا ۵PPm) بر سلامتی انسان اثر می گذارد اما در غلظت $2000 \mu g / m^3$ (۱PPm) و کمتر از آن، اثری بر سیستم تنفسی ندارد. بنابراین همین حد را می توان مبنای طراحی سیستم تهویه تونلها براساس این گاز، در نظر گرفت.

آنچه که گفته شد، مربوط به اشخاص سالم می باشد. در بند ۲ این گزارش مشخص گردید که حد مجاز این گاز برای افرادی که مبتلا به آسم هستند و یا بیماری تنفسی دارند $5000 \mu g / m^3$ (۰/۲۷PPm) می باشد.

واضح است که برای افراد بیمار، نمی توان حد مجاز مشخصی را پیشنهاد کرد زیرا این امر علاوه بر نوع بیماری، به زمانی که شخص در معرض این گازها قرار می گیرد نیز بستگی دارد. از سوی دیگر مشکلات این گونه اشخاص، تنها به گازهای NO_x محدود نمی شود بلکه در مورد آنها آلودگیهای دیگر از جمله گرد و غبار و ذرات گیاهی را نیز باید مد نظر قرار داد.

به طور خلاصه می توان نتایج زیر را بیان کرد:

الف - به هنگام طراحی سیستم تهویه، باید هوای لازم برای رقیق کردن NO_2 را نیز مد نظر قرار داد.

ب - سیستم تهویه تونل باید به گونه ای طراحی شود که عیار NO_2 از حد $2000 \mu g / m^3$ و عیار NO_x از $1200 \mu g / m^3$ (۱۰PPm) تجاوز نکند.

- حد $2000 \mu g / m^3$ از گاز NO_2 فقط برای محاسبه مقدار هوای تازه لازم برای تهویه تونل است و لازم نیست به طور مداوم در تونل کنترل شود. ضمناً این حد مجاز برای افراد سالم در نظر گرفته شده است.

بدیهی است، معیار یاد شده ممکن است در کشورهای مختلف، متفاوت باشد.

۵ - کنترل تهویه

۵ - ۱ - بیان مسأله

در یک سیستم کنترل تهویه خوب، دو هدف عمده زیر مد نظر قرار می‌گیرد:

الف - در شرایط عادی، شدت جریان هوای لازم را به گونه ای تأمین کند که هوای داخل تونل برای کسانی که از آن عبور می‌کنند مناسب باشد و در این امر، مسائل اقتصادی نیز رعایت شود.

ب - در شرایط غیر عادی و موارد اضطراری (به عنوان مثال خرابی دستگاههای تصادفات و آتش سوزی ها) سیستم تهویه باید به سرعت و متناسب با وضعیت موجود تغییر کند و در این موارد نیز مواد آلاینده در حد مجاز باقی بمانند.

در طراحی سیستم تهویه تونلها مسأله مهمی که مد نظر قرار می‌گیرد ظرفیت هوادهی فن‌ها است، به گونه ای که قادر باشند هوای لازم را در حالت‌های مختلف تأمین کنند و در مراحل بعدی، بهینه سازی سیستم کنترل تهویه مورد توجه قرار می‌گیرد.

تنها در طول دهه گذشته مسأله کنترل سیستم تهویه، مورد توجه واقع شده است. در حال حاضر توجه خاصی در مورد استفاده از تکنیکهای جدید برای این منظور مبذول می‌شود. از جمله این تکنیکها می‌توان به منطق فازی^۱ (Kitajima، ۱۹۷۷)، کنترل عصبی^۲ (Nishimori، ۱۹۹۷) و الگوریتم ژنتیکی اشاره کرد. بدیهی است هر چقدر سیستم تهویه تونل پیچیده‌تر باشد، به همان نسبت نیاز به استفاده از تکنیکهای جدیدتر نیز، افزایش خواهد یافت.

در وضعیت عادی سیستم تهویه، شدت جریان هوای ناشی از فن‌ها باید قادر به رقیق کردن آلاینده‌های ناشی از اتومبیلها تا حد مجاز باشد و در عین حال، این مقدار هوا، کمترین مقدار ممکن باشد تا هزینه های تهویه حتی المقدور کاهش یابد.

بدین ترتیب یک سیستم کنترل مؤثر، سیستمی است که در هر زمان بتواند دقیقاً هوای مورد نیاز را در هر یک از بخشهای تونل، به جریان اندازد. البته دستیابی به چنین سیستمی به ویژه در مورد تونل‌های پیچیده مشکل است.

از نقطه نظر مهندسی، با توجه به عواملی همچون عدم قطعیتی که در مورد اندازه گیری آلاینده‌ها وجود دارد، نقش تاخیر زمانی، محدودیت انرژی موجود و مسائل مشابه آنها، بهینه سازی همه اینها مقدور نیست اما می‌توان تکنیکهایی را که در مورد سیستم کنترل تهویه به کار می‌روند بهینه کرد.

از سوی دیگر، سیستم تهویه اضطراری به تحقیقات سریع و هدفدار، زمان واکنش کوتاه و مراحل عملیاتی مشخص شده، نیازمند است. هدفهای این سیستم تهویه نیز با سیستم تهویه عادی تفاوت دارد. بنابراین سیستم تهویه اضطراری باید بر مبنای شرایط ویژه طراحی شود و در هر حالت باید بتواند دودها و سایر آلاینده‌ها را کنترل کند. یک سیستم کنترل تهویه خوب باید واجد شرایط زیر باشد:

الف - در تمام مراحل تهویه تونل، پایداری خود را حفظ کند. این امر به ویژه در مواردی که از ترکیب سیستمهای تهویه استفاده می شود نیز در مورد تونلهای پیچیده مهم است.

ب - با توجه به مدیریت پیش بینی شده، تهویه از نظر اقتصادی قابل توجیه باشد.

ج - چه از نظر نرم افزاری و چه از نظر سخت افزاری، با واقعیت ها سازگاری داشته باشد.

در عمل، سیستمهای کنترل تهویه معمولاً بر مبنای پاسخ محیط بنا شده اند. به بیان دیگر، به محض افزایش غلظت آلاینده ها، هوای تازه بیشتری در طول تونل به جریان می افتد. این شیوه کنترل را به نام سیستم کنترل بر مبنای آلاینده (PDCS)^۱ می نامند. در این سیستم، ابزار تهویه به دفعات پیش بینی شده متوقف می شوند و مجدداً به کار می افتند.

در این مورد شیوه دیگری نیز وجود دارد که در آن مستقیماً از ویژگیهای ترافیکی به منظور تغییر سیستم تهویه استفاده می شود. این شیوه را به نام سیستم کنترل بر مبنای ترافیک (TDCS)^۲ می نامند.

۵ - ۲ - توجیه مسأله

تا کنون، اکثر سیستمهای کنترل تهویه تونلها را بر مبنای اندازه گیری میزان آلاینده ها، طراحی می نمودند. در مورد تونلهای معمولی، آلاینده اصلی مونواکسید کربن است و در مورد تونلهای طویل با ترافیک سنگین، دوده آلاینده اصلی را تشکیل می دهد. بنابراین، سیستمهای کنترل تهویه عموماً براساس این دو آلاینده کار می کنند. تجربه نشان می دهد که این سیستم کنترل تهویه، همیشه بهترین نیست و سیستم باید از نظرهای زیر نیز توجیه پذیر باشد:

۵ - ۲ - ۱ - قابلیت اعتماد اندازه گیری ها

در مورد بعضی از آلاینده ها مثل NO_2 ، قابلیت اعتماد اندازه گیری غلظت را نمی توان به درستی تعیین کرد، با توجه به اینکه آگاهی از غلظت این گازها بسیار مهم و در بعضی موارد مهمتر از مونواکسید کربن است. این مشکل در مورد بسیاری از آلاینده های دیگر نظیر ازن، هیدروکربنها، ذراتی که از طریق

شیمیایی یا فیزیکی بر سلامتی انسان اثر می گذارند و موارد مشابه آنها نیز وجود دارد. بنابراین مدل‌های تجربی که براساس نسبت ترافیک میزان آلودگیها را پیش بینی می کند، در عمل برای کنترل سیستم تهویه تونل، مناسب تر از روشهایی است که براساس اندازه گیری سیستم آلاینده ها کار می کنند.

۵-۲-۲- موقعیت وسایل اندازه گیری

در بعضی موارد، به علت مشکلات موجود، امکان نصب دستگاههای اندازه گیری در موقعیت بهینه، وجود ندارد این امر ممکن است سبب شود که آلودگیهای اندازه گیری شده، معرف میزان واقعی آلودگی در مقطع و یا در طول تونل نباشند. این امر به ویژه هنگامی که تغییر شرایط و وضعیت تهویه یک قاعده است تا استثناء، اهمیت بیشتری دارد.

۵-۲-۳- زمان واکنش دستگاهها

در مواردی که جریان ترافیک متغیر است، واضح است که تأثیر این تغییرات بر روی نمودار ترافیک به مراتب سریع تر از اثر آن بر نمودار آلودگی است. تأخیر کمتر در سیستم کنترل تهویه تونل سبب می شود که در همان مراحل اولیه، سیستم کنترل که براساس میزان آلودگی یا تعداد ترافیک کار می کند، به کار افتد و هوای لازم را تأمین کند از آنجا که عملیات سیستم آشکار ساز وضعیت آلودگی تونل ممکن است چند دقیقه به طول انجامد و به دنبال آن تغییر شرایط کاری فن نیز با چند دقیقه تأخیر دیگر انجام گیرد، لذا تغییر وضعیت تهویه تونل بین ۵ تا ۱۰ دقیقه به طول می انجامد.

در مواردی که سیستم کنترل تهویه تونل براساس وضعیت ترافیک کار می کند، تغییر وضعیت تهویه و انطباق آن با شرایط موجود، سریع تر و تقریباً می توان گفت که آنی است و به هر حال، زمان آن از نصف زمان لازم برای سیستمی که بر مبنای میزان آلودگی کار می کند، کمتر است.

۵-۲-۴- پایداری سیستم تهویه

غلظت آلودگی P به صورت زیر تعریف می شود:

$$P = \frac{Q_P}{Q_A}$$

که در آن Q_P میزان آلودگی ناشی از ترافیک و Q_A شدت جریان هوا در تونل است. واضح است که هر گونه تغییر در یکی از این دو یا در هر دو آنها، سبب تغییر غلظت می شود. در یک حلقه کنترل، این پدیده نوعی رفتار غیر خطی را به دنبال دارد. گرچه این رفتار غیر خطی خیلی قوی نیست اما در بعضی

موارد ممکن است نوعی تأثیر پمپاژ را سبب شود. به بیان دیگر با وجود ثابت ماندن جریان ترافیک ممکن است سبب خاموش یا روشن شدن بعضی از فن ها شود. گاه اتفاق می افتد که به طور موضعی در بخشی از تونل، یک آلودگی شدید اما کوتاه مدت رخ دهد. این چنین آلودگی، به ویژه در مورد تونلهایی که به روش طولی تهویه می شوند، به سرعت رقیق می شود. بنابراین سیستم کنترل تهویه نباید به این گونه آلودگیهای کوتاه مدت، حساس باشد. اگر عامل کنترل سیستم تهویه به جای غلظت آلودگی بر مبنای وضعیت ترافیک طراحی شود، از بسیاری از این ناپایداریها، جلوگیری به عمل خواهد آمد.

۵-۲-۵- اعتبار اندازه گیری ها

اعتبار اندازه گیری هایی که بر مبنای داده های ترافیکی انجام می گیرد به مراتب بیش از اعتبار داده های مربوط به غلظت آلودگیها می باشد. علاوه بر این، با کنترل تعادلی مقدماتی به آسانی می توان دقت اندازه گیری ترافیک را کنترل کرد.

۵-۲-۶- پیچیدگی فرآیند

در مورد یک تونل بلند که چندین راه ورودی و خروجی دارد، ممکن است هر یک از قسمتهای تونل، سیستم تهویه ویژه ای داشته باشد. در مورد تونلهایی که شبکه پیچیده ای از شاخه های مختلف دارند و دارای سیستم های تهویه مکانیکی مجزایی هستند، طراحی سیستم کنترل تهویه بر مبنای وضعیت آلودگی، ریسک بزرگی محسوب می شود. بسته به وضعیت شبکه تونل، حتی در بعضی موارد ممکن است سیستم کنترل اصلاً کار نکند. بررسیهای تئوری نشان داده است که این امکان وجود ندارد که میزان آلودگی در بخش خاصی از تونل را به یک واحد تهویه مرتبط کرد. این امر ناشی از واکنش اجتناب ناپذیر بین بخشهای مختلف تونل و حرکت اتومبیلها در آن بخشها می باشد. البته این بحث، مربوط به تونلهای ساده ای که انشعاب ندارند، نیست.

۵-۲-۷- صرفه جویی در انرژی

مقایسه سیستمهای کنترل تهویه از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی مشکل است. زیرا نمی توان دو سیستم کنترلی را در شرایط یکسان مورد قضاوت قرار داد. در حقیقت، سیستمهای کنترل کلاسیک که بر مبنای اندازه گیری میزان آلودگی کار می کنند، به طور ذاتی به زمان بیشتری برای واکنش نیاز دارند. زیرا قبل از آنکه آلودگی از حد مجاز مورد نظر تجاوز نکند،

نمی توان زمانی را به دستگاههای کنترل تهویه تحمیل کرد. اما در حالت کلی می توان گفت که این سیستمها نیاز به عملیات بیشتری دارند و در نتیجه مصرف انرژی آنها زیادتر است.

۵-۲-۸- توانمندی

اطلاعات ثبت شده بیانگر این موضوع می باشند که بخش اعظم جریان ترافیکی تونلها به شکل مداومی در حال تکرار است. به عبارت دیگر در هر روز کاری، روال ترافیکی تونلها تقریباً با شیوه مشابهی تکرار می شود. در صورت عدم توانمندی سیستم اندازه گیری ترافیک، این اطلاعات و الگوهای ثبت شده می بایست به سادگی، جانشین پارامترهای ترافیکی شوند. همچنین سیستم کنترل می بایست توانمندی تأمین سطح قابل قبولی از عملکرد در زمان تهویه را نیز داشته باشد.

۵-۲-۹- پیشگیری

مجموعه اطلاعات وضعیت ترافیکی را می توان قبل از ورود به تونلها، با سنجش روند ترافیکی تکمیل کرد. این توانایی سیستم کنترل در پیش بینی میزان آلاینده ها و همچنین کنترل مقادیر غلظت آنها با استقرار فن ها، عملی در جهت پیشگیری از وقوع حوادث می باشد.

۵-۲-۱۰- انواع مستقل و استثنایی آلودگی

یکی از مشکلات جدی که در آینده ای نزدیک با آن دست به گریبان خواهیم بود شناسایی آلاینده هایی است که می بایست در معیارهای کنترلی مورد استفاده قرار گیرند. معیارهای کنترل سنتی شامل CO و دوده است، اما امروزه طراحان گرایش خاصی به شناسایی و احتساب NO_2 یا به طور کلی همسازهای NO_x دارند و تا کنون مطالعاتی را درباره اجزای واقعی هیدروکربنها و امثال آن داشته اند. تولید این آلاینده ها به صورت غیر خطی با جریانهای ترافیکی ارتباط دارد. در یک وضعیت ترافیکی، ممکن است مجبور به کنترل یک نوع آلاینده باشیم و در موقعیتی دیگر آلاینده دیگری را مورد کنترل قرار دهیم. در این میان میزان هوای تازه مورد نیاز، مستقیماً به وضعیت ترافیک مربوط است که این رابطه غیر خطی است و غیر خطی بودن آن مشکلی را در سیستم کنترل ایجاد نخواهد کرد.

۵-۲-۱۱- آزمایشها و شبیه سازی ها

نتایج حاصل از سیستم کنترل ترافیک می تواند بر ساده سازی های بیشتری استوار باشد، که در این راستا، مدل تهیه شده می تواند مستقیماً مبتنی بر میزان جریان هوای لازم جهت رقیق نمودن تمامی

آلاینده های شناخته شده باشد. این خصوصیت به ویژه در هنگام شبیه سازی ها و تستهای انجام شده نمی بایست دیگر مسائل مربوطه را تحت تاثیر خود قرار دهد. دقت عمل بیشتر در این زمینه کمک شایانی به عملیات خواهد نمود.

۵-۲-۱۲- تشخیص خود کار رخدادها

اکثر تونلها باید مجهز به سیستم شناسایی و تشخیص رخدادهای ترافیکی باشند. اطلاعات حاصله از این تجهیزات معمولاً بر اساس وضعیت ترافیکی است و به سادگی می توان به کمک یک سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، این کار را انجام داد.

۵-۲-۱۳- حد مجاز مربوط به مدت زمان تردد

تأثیر فزاینده آلاینده ها بر سلامتی انسان، در صورت طولانی بودن زمان قرار گیری در مجاورت آنها، موضوع کاملاً مشخص و اثبات شده ای است. بر این اساس، در بعضی از مناطق و کشورها، حد مجاز (TLV)، تابعی از زمان عبور وسیله نقلیه از میان تونلها است. چنانچه پیش بینی شود که بنابر برخی دلایل خاص، زمان عبور وسایل نقلیه از تونلها طولانی خواهد بود، تهویه تونل باید به سطح بالاتری ارتقا یابد.

۵-۳- ملاحظات کلی

در سیستم کنترلی که بر اساس وضعیت ترافیکی (TDCS) بنیان نهاده شده، سنجش میزان غلظت آلاینده، امری ضروری است و مد نظر قرار می گیرد. با این تفاوت که رفتار سنجی آلودگی به صورت یک تابع نظارتی و نه به صورت یک تابع کنترلی عمل می کند و تعداد وسایل اندازه گیری در این سیستم کاهش یافته و با جزئیات کمتری همراه می باشد.

۵-۴- اجزای سیستم کنترل

در اینجا هدف پرداختن به الگوریتم های بنیادین کنترل ترافیک نیست، بلکه تنها قصد آن داریم که تعدادی از اجزای آن را بهتر بنمایانیم.

سیستم کنترل تهویه را می توان به سه بخش مجزا به شرح زیر تفکیک کرد:

۱- دستگاه کنترل که در اکثر موارد عبارتست از یک واحد پردازشگر یا رایانه ای که گاهی اوقات توسط یک سیستم خارجی پیشرفته حمایت می گردد.

گیرد. با توجه به ثبت اطلاعات مختلف از وسایل نقلیه داخل تونل از قبیل میانگین سرعت، بیشترین نوع وسایل نقلیه عبوری از تونل، میزان نهایی و حداکثر آلاینده هایی که به داخل تونل گسیل می شوند، توسط دستگاه کنترل به دقت محاسبه و برآورد می شود، پس با توجه به حد مجاز غلظت هر آلاینده، میزان جریان هوای لازم محاسبه شده و نهایتاً فن ها در محل های مورد نیاز، نصب می شوند. از طرف دیگر با توجه به برآوردهای انجام شده در مورد جریانهای هوای موجود در محل و محاسبات انجام شده، اصطلاحات مورد نظر جهت بهینه سازی نهایی می بایست اعمال گردد که در نهایت میزان حجم هوای ضروری، محاسبه شده و تنظیم و بکارگیری فن ها بر اساس آن صورت می گیرد. میانگین زمان استفاده از فن ها با توجه به جریان هوای لازم تعیین خواهد شد. از نقطه نظر عملیاتی، نرم افزار کنترلی می تواند از سه جهت مورد بررسی قرار گیرد:

- مدل اطلاعات ورودی
- مدلها و واحدهای تصمیم گیری
- مدل اطلاعات و نتایج خروجی

الف - مدل اطلاعات ورودی

اطلاعات ورودی عمدتاً به دو دسته تقسیم می شوند که عبارتند از اطلاعات مورد استفاده جهت کنترل تغییرات، جا گذاری و تنظیم سیستم تهویه و همچنین اطلاعات مورد استفاده در نظارت بر پروسه کنترل. نخستین گروه اطلاعاتی عمدتاً عبارتند از مسایل مربوط به چگالی ترافیک، اندازه گیری سرعت، میزان جریان هوا در هر مقطع از تونل و میزان جریان هوای حاصله از هر فن، که معمولاً این اطلاعات مشروط به زمان PLC یا سیستمهای بهره برداری از اطلاعات است که اغلب به زمان تناوبشان مربوط می شود. بعنوان مثال انتقال PLC ترافیکی، در هر لحظه، با سنجش پیوسته چگالی و سرعت ترافیک صورت می گیرد. ارزش هر سنجش و اندازه گیری به همراه نمایش بعضی از اطلاعات وضعیت با توجه به سطح اطمینان آنها پذیرفته خواهد شد. گروه دوم از اطلاعات شامل اندازه گیری آلودگی بوده است. نحوه دسته بندی اطلاعات به دقت بسیار زیادی احتیاج دارد و در یک مقاله کلی نمی توان در مورد آن بحث کرد.

ب - مدلها و واحدهای تصمیم گیری

مدلهای متعدد، با اهداف مختلف، دارای شرایطی به شرح زیر می باشند:

- تأیید مدلها با چک کردن اطلاعات ورودی

جهت حصول اطمینان کافی از مدل‌های ایجاد شده می‌بایست صحت اطلاعات ورودی مورد تأیید قرار گیرد. در این مرحله اپراتور می‌بایست بعضی از اطلاعات و اندازه‌گیری‌هایی که می‌بایست جایگزین موارد قبلی شوند تعیین کند.

- مدل ارزیابی ترافیک

وظیفه یک مدل ارزیابی ترافیکی عبارتست از تعیین تعداد وسایل نقلیه و میانگین سرعت آنها در عبور از تونل، که در این ارتباط مدل‌های پیشرفته‌ای (Den 05, 1974) وجود دارند که قابلیت تعیین تعداد وسایل نقلیه بین دو ایستگاه اندازه‌گیری را دارا هستند. بنابراین در تونل‌های پیچیده، این الگوریتم‌ها مورد آزمایش جدی قرار گرفتند و تجربه نشان می‌دهد که اندازه‌گیری‌های انجام شده در زمینه محاسبه میانگین وزنی میزان ترافیک، رضایت بخش بوده است.

علاوه بر این، به وضوح مشخص است که یک ارتباط تنگاتنگ (از نقطه نظر آماری)، بین دو شاخص اصلی تغییرات ترافیک، اعم از سرعت و چگالی وجود دارد این ارتباط غیر خطی است و آزمایش‌های انجام شده در تونل نشان دهنده دو الگوی متفاوت ترافیکی بر اساس هر یک از مشخصه‌ها است و بنابراین دوحوزه عملیاتی می‌بایست در نظر گرفته شود.

نخستین حوزه مربوط به حرکت آزادانه ترافیک و دومین حوزه مربوط به وضعیت تراکم یا چگالی است که می‌تواند به عنوان ترافیک تحمیلی تعریف شود. پردازش آماری این اطلاعات بیانگر ارتباط تقریباً خطی بین تراکم یا چگالی ترافیک و سرعت آن است. بنابراین با در نظر گرفتن این مورد در سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، می‌توان ساده‌سازی بیشتری در سیستم کنترل انجام داد. تفکیک حوزه تراکم یا چگالی ترافیک به دو زیر حوزه اجازه می‌دهد که به حوزه ترافیک تحمیلی رسیدگی بیشتری صورت گیرد. به خاطر اینکه حوزه ترافیک روان احتیاج به تهویه مکانیکی در سیستم تهویه طولی دارد. سرانجام به منظور اعتبار بخشیدن به اعتبارات ترافیکی اندازه‌گیری شده، اجرای یک مدل ترافیکی حاصل از سیستم کنترل با توجه به ارتباطات، لازم خواهد بود.

- مدل‌های انتشار آلودگی

مدل‌های انتشار آلودگی از اصول حیاتی در روش کنترل ترافیک (TDCS) می‌باشند که وظیفه آنها پیش‌بینی میزان آلودگی در داخل تونل می‌باشد. این مدل‌ها را می‌توان بر اساس اطلاعات موجود و در دسترس، یادداشت‌های تخصصی (Pischinger et al., PIARC, 1995) و یا از اطلاعات حاصل از کارخانجات سازنده وسایل نقلیه، مراکز کنترل تکنولوژی وسایل نقلیه و امثال آن تهیه کرد. برای درک این قضیه، دانستن این مورد که اطلاعات مورد نظر عبارتست از میانگین میزان توزیع آلودگی بر حسب میانگین تعداد وسایل نقلیه، بسیار مهم و حیاتی است. بنابراین، مدل ساخته شده، می‌بایست با توجه به

میانگین آلودگی اندازه گیری شده در تونل، نسبت به تفسیر پارامترهای دیگر ساده بماند. چنانچه پس از یک دوره زمانی، اندازه گیری مجدد آلودگی نشان دهنده اختلاف سیستماتیک باشد، مدل انتشار آلودگی، می بایست با توجه به وضعیت زمان واقعی تطبیق حاصل نماید. اصلاحات مورد نظر می بایست به صورت دستی، پس از مشاهده مسلم میزان انحراف سیستماتیک و یا به صورت خودکار توسط ابزار آماری اعمال شوند.

- مدل توزیع جریان هوا

مدل توزیع جریان هوا بستگی به پیچیدگی تونل و سیستم فن‌های مورد استفاده دارد. ممکن است محاسبه میزان جریان هوا در داخل تونل توسط مدل مزبور، بسیار ساده و یا خیلی پیچیده باشد. در تونلهای با تهویه طولی ساده (Single Tube)، تنها حجم هوای مورد نیاز تعیین می گردد. مدل مورد نظر به یک فرمول ساده (نگاه کنید به PIARC ۱۹۹۵)، که میزان جریان هوای لازم جهت رقیق کردن هر آلاینده را مشخص می کند، محدود شده است. هدف از میزان جریان تهویه در تونل، محاسبه بیشترین جریان تهویه مورد نیاز می باشد. هر گاه میزان تغییرات جریان هوا تعیین شود، PLC موضعی (محلی) می تواند به سادگی نقاط استقرار فن یا سیستم فن ها را مشخص نماید. برای سیستم های تهویه عرضی و نیمه عرضی، توزیع هوا در داخل تونل، ممکن است پیچیدگی بیشتری داشته باشد، اگر چه هدف از تهویه همیشه منحصر به فرد می باشد.

در تونلهای پیچیده، مدل‌های مورد استفاده پیشرفته تر است. البته برای هر مقطع از شبکه تونل، میزان جریان هوا با توجه به دو محدودیت، آلودگی مجاز و میزان جریان هوای ضروری در مجموع دیگر مقاطع تونل، تعیین می شود (Jacques, ۱۹۹۱). در مورد تونلهای پیچیده دارای فن‌های متعدد، نصب فن‌ها ممکن است یک روش کاملاً پیچیده باشد که این امر ممکن است بیش از یک جواب داشته باشد. به منظور مسائل اقتصادی عملیات تونل، ضروری است که از روند ریاضیاتی پیشرفته، جهت نصب بهینه فن‌ها برای کاهش مصرف انرژی، استفاده گردد. این روش تنها در بعضی موارد استثنائی می بایست مورد استفاده قرار گیرد. عموماً نرم افزاری که میزان تهویه ضروری در هر مقطع از تونل را تعیین می کند، می بایست جریان هوای ضروری در هر فن را نیز پیش بینی کند. این هدف، هدف نهایی در تونلهای پیچیده بوده و ممکن است در این ارتباط استفاده از تحلیل های برنامه نویسی جهت تعیین نقاط استقرار فن‌ها لازم گردد.

- مدل چگالی (غلظت) آلودگی

چگالی آلودگی نسبتی از دو مقدار، آلاینده و میزان هوا بوده و در صورت وجود تنها یک منبع آلودگی مدل مربوطه بسیار ساده خواهد شد. به عبارت دیگر نوع وسایط نقلیه در تونل و میزان جریان هوای لازم

با توجه به مختلف بودن منبع آلودگی، وقت زیادی را طلب می کند. در این مورد، سطح آلودگی در یک وضعیت مشخص، به سیستم تهویه تونل وابسته است. متقابلاً برای تونلهای پیچیده، ممکن است منابع آلودگی متعدد و میزان جریان هوا با حالت قبل متفاوت باشد. پس از انجام محاسبات با توجه به حد مجاز سطح آلودگی (TLV)، ممکن است هشدارهایی نیز در این ارتباط در نظر گرفته شود که بیانگر اهمیت بیش از حد این موضوع است.

ج- مدل اطلاعات خروجی

اطلاعات خروجی عمدتاً عبارتند از:

- میزان تجهیزات تهویه موردنیاز
- تذکرات و هشدارها
- حدود مجاز آلودگی

میزان تجهیزات تهویه مورد نیاز در حقیقت عبارتست از میزان جریان هوای تولید شده توسط هر فن یا سیستم فن ها و یا تغییر مضاعف سیگنالها جهت عمل جت فن ها که در این رابطه در جهت تعدیل و همچنین جلوگیری از نصب موضعی فن ها، تمهیداتی از قبیل تغییر زاویه پره های فن در نظر گرفته شده است. در یک دستگاه کنترل در سطح عالی، برای مثال جهت جاگذاری پره ها، سرعت چرخش هر فن و یا تغییر جهت فن ها، محلی در نظر گرفته نشده است. این مورد آخر، توسط PLC موضعی که می بایست قسمتی از سیستم فن باشد و توسط کارخانه ای که به این امر وقوف کامل دارد، اجرا می گردد. یک سری علائم و هشدارها نیز می توانند جهت اطلاع رسانی در سیستمهای کنترلی مورد استفاده قرار گیرند که در این زمینه آنچه حائز اهمیت است، کارایی، تناسب، همبستگی، تقدم و تأخر و سلسله مراتب ارائه آنها می باشد.

در مواردیکه سطح آلودگی از حد مجاز خود، تجاوز می کند، سیستم کنترل می بایست میزان هر یک از موارد به وجود آمده را ثبت نماید. چنانچه یکی از موارد فوق به طور غیر قابل قبولی از حد مجاز خود، تجاوز کند، می بایست به منظور سازگار کردن پارامترهای مدل ترافیکی، به صورت دستی عمل کرد. البته این مداخله می بایست به صورت اتوماتیک و برنامه ریزی شده نیز مد نظر قرار گیرد. به هر حال، تجربه نشان داده است که هر تونل، الگوهای رفتاری مخصوص به خود را داشته و در طی دوره های آموزشی می بایست با توجه به آن شرایط خاص، دستکاریهایی در برنامه صورت گیرد.

۵ - ۴ - ۲ - شبکه اطلاع رسانی (خبری)

در این جا، ضرورتی جهت بحث پیرامون شبکه خبری نیست، طراحی شبکه مذکور می بایست با توجه به اطلاعات متعدد و به منظور دسترسی داشتن به ایستگاهها یا PLC در کمترین زمان و کوتاهترین مسیر، صورت گیرد.

ساختار شبکه می بایست همواره به نحوی طراحی شود که در سطح استانداردهای جهانی، تبادل اطلاعات بین واحدهای کنترلی توسط رایانه های مختلف، به بهترین وجه ممکن صورت پذیرد. در زمان افزایش میزان اطلاعات ترافیکی و انتقال آنها، می بایست ظرفیت شبکه در جهت حصول به این امر، توانایی کافی را داشته و در این ارتباط می بایست احتیاط لازم را به عمل آورد.

۵ - ۴ - ۳ - کنترل فرآیند

۵-۴-۳-۱- تجهیزات تهویه مکانیکی

سیستم تهویه مورد نظر ممکن است، سیستم طولی، عرضی، نیمه عرضی یا ترکیبی از آنها باشد. میزان جریان هوای توزیع شده در هر مقطع از تونل می بایست حداقل هوای تازه ضروری را جوابگو باشد.

الف - فن های محوری

فن های تهویه تونل اغلب از نوع فن های محوری با پره هایی با زاویه متغیر یا سرعت های کنترل پذیر بوده و اغلب مجهز به یک هواکش مجزا هستند. هر فن یا مجموعه آنها، اغلب دارای PLC هستند که امر کنترل اطلاعات مکانیکی و الکتریکی را انجام می دهد.

این تجهیزات در مواردی مثل کنترل دما، ضریب، رفتار سنجی، حفاظت در برابر بار اضافی موتور، شیوه های قطع و وصل، باز و بسته کردن دریچه های هوا، زوایای پرتاب و سرعت چرخش به منظور تامین مقدار جریان هوای لازم مورد استفاده قرار می گیرند.

ب - فن های سقفی (جت فن ها)

در سیستم های تهویه طولی حرکت هوا در طول تونل توسط جت فن ها انجام می گیرد. در تونلهای پیچیده، ممکن است علاوه بر فن های بیرونی، در مقاطع ویژه انواع پیشرفته ای برای مکش و دهش هوا در طول تونل مورد نیاز باشد.

گاهی اوقات این فن ها در کنترل مستقیم جریان هوا در داخل تونل مورد استفاده قرار می گیرند. از نقطه نظر کاری، ممکن است در کارگذاری فن ها مراحلی در نظر گرفته شود. در این راستا چنانچه تهویه کامل

تونل ضرورت نداشته باشد، سیستم کنترل اقدام به کاهش یا تبدیل تعداد فن‌ها در هر مرحله می‌کند و یا در روشی دیگر با تغییر در سرعت چرخش جت فن‌ها، تهویه مورد نظر انجام می‌گیرد. هزینه‌های سیستم با توجه به نیروی مصرفی تقریباً متناسب با توان سوم سرعت جت فن‌هاست، چرا که نیروی رانش فن‌ها متناسب با توان دوم سرعت آنهاست.

۵-۴-۳-۲ - تجهیزات اندازه‌گیری

الف - سرعت و جریان ترافیک

به دلیل اینکه ترافیک منبع اصلی ایجاد آلودگی در تونلهای راه است، لذا اندازه‌گیری پارامترها و متغیرهای ترافیکی، در نخستین گام، احتیاج به مطالعه و دقت نظر دارد. معمولاً ترافیک، با متغیرهای شدت جریان ترافیک، یا به عبارت دیگر تعداد وسایط نقلیه در واحد زمان و میانگین سرعت ترافیک بر حسب Km/h، مشخص می‌شود. سرعت ترافیک نیازمند سنجش و اندازه‌گیری است، چرا که از یک طرف این حرکت اثر پیستونی دارد و حرکت هوا متناسب با مجذور این مقدار خواهد بود و از سوی دیگر، کمیت یا میزان آلاینده‌های تولید شده تابعی از میزان سرعت می‌باشند. متأسفانه تابع نهایی بدست آمده براساس سرعت، معمولاً خطی نیست. به عنوان مثال در مورد بعضی از آلاینده‌ها، تابع حاصله، به شکل U خواهد بود.

تعداد وسایط نقلیه موجود در تونل، در یک زمان معین، بسیار مهم است. بنابراین آگاهی از چگالی ترافیک حیاتی است. به عبارت دیگر، باید تعداد وسایط نقلیه در واحد طول (کیلومتر) را به جای تعداد وسایط نقلیه در واحد زمان، که بیانگر سرعت جریان ترافیکی است، تعیین کرد. البته آلودگی کلی تولید شده را می‌توان مستقیماً از چگالی ترافیک تعیین کرد، چرا که مدل‌های آلودگی براساس متوسط کمیت وسایط نقلیه، تدارک دیده شده‌اند. البته تجهیزات اندازه‌گیری می‌بایست توانایی تشخیص وسایط نقلیه مختلف را داشته باشند، چون ماهیت و کمیت آلاینده‌ها وابسته به نوع وسیله نقلیه است. آنچه که هم‌اکنون مرسوم است، تعیین چگالی ترافیک، توسط توزیع شدت جریان ترافیک با توجه به سرعت است.

عملیات و محاسبات ریاضی میزان خطا را در مقادیر بدست آمده کاهش می‌دهند. به عنوان مثال در سرعت‌های پایین که اطلاعات حاصل از چگالی ترافیک به دقت و صحت بیشتری احتیاج دارد، این محاسبات بسیار سودمند است. لذا در زمان انتخاب تجهیزات اندازه‌گیری می‌بایست این مسئله را به دقت مد نظر قرار داد.

برای اندازه گیری ها و سنجش تکنیکهای مختلفی وجود دارد که در این زمینه می بایست از تکنیکی استفاده کرد که توانایی و شایستگی تغییر و تشخیص بین دو متغیر اصلی، شامل چگالی و سرعت را برای یک تعداد مشخص وسیله نقلیه داشته باشد.

ب - آلودگی: غلظت CO

از نقطه نظر قانونی، باید میزان غلظت CO در تونل تعیین شود. اندازه گیری میزان CO، براساس یک زمان مشخص که توانایی کالیبره شدن اتوماتیک را نیز داراست، بنا نهاده شده است.

ج - دوده

به منظور رانندگی ایمن و به دور از خطر، داشتن یک میدان دید خوب، از ضروریات می باشد. برای اندازه گیری میرایی نور چراغها و میزان انتقال یا طی مسافت نور در هوای آلوده تونل، تدابیر متعددی وجود دارد که مورد استفاده قرار می گیرد. در روشی مشابه اندازه گیری میزان CO، دوده را نیز می توان اندازه گیری کرد که آن عبارت از کنترل میانگین میدان دید با توجه به معیار تجربی است.

د - آلودگی: غلظت NO_2

اندازه گیری غلظت NO_2 با استفاده از تکنیک پیشرفته ای شبیه Chemi-Iuminescence با دقت انجام می شود. آماده سازی و تجهیز عملیات در این روش بسیار گران و پرهزینه است و به بررسی های کالیبره شده و حفظ و نگهداری دائمی نیاز دارد. نوع غیر صنعتی آن با قیمت قابل قبولی در دسترس است، اما استفاده از آن در اندازه گیریها و کنترل تغییرات ریسک بالایی دارد. از این دیدگاه و نقطه نظر، سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، که مقادیر مورد نظر را پیش بینی می کند، روش مناسبی در این زمینه است. البته در بخشی از موارد می توان به جای میزان NO_2 ، میزان NO_x را اندازه گیری کرد که در این صورت مشکلی که وجود خواهد داشت تعیین نسبت بین NO_2 و NO_x است که در این مورد مقدار آن حدود ۱۰ درصد فرض شده است.

ه - شدت جریان هوا در تونل

اندازه گیری شدت جریان هوا یک عملیات چالشی است و هیچ یک از تدبیرهای موجود در این زمینه، کاملاً رضایت بخش و قانع کننده نیستند. از آنجا که در محاسبه شدت جریان هوا، علاوه بر الگوی سرعت، آگاهی از مقطع عرضی تونل نیز مورد نیاز است، لذا تکنیک مورد استفاده برای این مورد باید از نوع تکنیکهای انتگرالی باشد.

اگرچه در تونلها اغلب از بادسنج استفاده می شود، اما بی دقتی و عدم توجه کافی در اندازه گیری، نتایج خوبی را دربر نخواهد داشت.

در غیاب یک تکنیک تلفیق نواحی^۱، میانگین مقادیر حاصل در طول یک خط عرضی را می توان به عنوان یک راه حل قابل قبول پیشنهاد کرد. استفاده از تکنیکهای اخیر مانند طرح فراصوتی^۲ که در آن، با استفاده از دو سطح (صفحه) که هر یک بر روی یکی از دیواره های تونل با یک زاویه مشخص نسبت به محور تونل (تقریباً ۴۵ درجه) نصب می شوند، با ارسال و دریافت پالس های فراصوتی کوتاه و اندازه گیری تفاوت زمانی بین حرکت دو پالس که متناسب با سرعت عددی بخشی از جریان هوای تلفیقی با مقطع عرضی تونل است، میزان جریان نسبی هوا اندازه گیری می شود. این تکنیک امکان اندازه گیری سرعت هوا در طول یک خط راست و به طور میانگین در حداقل محدوده ۱۰ متر به ۱۰ متر بر ثانیه را می دهد.

سیستم TDCS نیازمند تشخیص و اندازه گیری تغییرات میزان جریان هوا در داخل تونل، براساس تغییرات شرایط جوی و هواشناسی خارج از تونل است، لذا سرعت به تنهایی اهمیتی کمی دارد. به عبارت دیگر، این سیستم ها به متغیرهایی که در واقع پدید آورنده این تکنیکهای جذاب اندازه گیری هستند، بیشتر مرتبط می باشند.

و - میزان جریان هوای عبوری از بادبزنها

در جاهایی که فن های محوری مورد استفاده قرار می گیرند، اغلب آنها به سیستم های اندازه گیری جریان هوا مجهز می شوند که این سیستم ها توسط سنسورهای الکترونیکی قادر به اندازه گیری میزان جریان هوا در هر فن هستند. از آنجا که کنترل تهویه، تنها در برگیرنده روند تغییرات است، این روش می تواند نتایج رضایت بخشی را در صورت کالیبراسیون مناسب، در اختیار قرار دهد. این اطلاعات با کمی احتیاط، می تواند توسط سیستم کنترل، با کنترل توازن جریان هوا در داخل تونل مورد استفاده قرار گیرد که این موضوع در مورد تونلهای پیچیده بسیار جالب توجه است.

۵ - ۵ - نتیجه گیری

با توجه به موارد یاد شده و محاسبات انجام گرفته، هر یک از روشهای کنترل بر مبنای ترافیک (TDCS)، برتری ها و کاستی هایی دارند. اما آنچه که در اینجا ارزشمند و قابل بررسی است، آزمایش استفاده ترکیبی از هر دو روش خواهد بود. در هر صورت چنانچه پیچیدگی تونل مسأله مهم و قابل تعمقی باشد، سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، احتمالاً تنها راه حل حیاتی خواهد بود و هر چه منابع اطلاعاتی اولیه اعتبار و تثبیت بیشتری داشته باشند، مطمئناً سیستم کنترلی نیز تحلیل های سودمندتر و مستدل تری را با راندمان بالا ارائه خواهد داد.

مسأله سرنوشت سازی که در سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، مطرح است، مسأله آلاینده هایی است که هنوز تجهیزات اندازه گیری و سنجش آنها در دسترس نیست و یا اگر هم در دسترس قرار دارد، فعلاً در محاسبات وارد نمی شود. اما این آلاینده ها در آینده ممکن است جزو منابع مهم آلودگی قرار گیرند. هر دو سیستم کنترل، مزیت ها و کاستی هایی را دارند که در این راستا مزیت سیستم کنترل ترافیک (TDCS)، بیشتر از روش کنترل آلاینده (PDCS) است، به طوریکه:

- قابلیت پیش بینی در یک سیستم حلقه باز حاصله از روش کنترل بر مبنای ترافیک (TDCS)، بیشتر از روش کنترل بر مبنای آلاینده (PDCS) می باشد.

- زمان عکس العمل کوتاهتر سیستم با قابلیت پیشگیری احتمال وضعیت ترافیکی در تونل
- متغیرهای سرعت و چگالی، اجزاء ایده آل برای الگوهای ترافیکی نرمال در یک تونل بوده اند. بنابراین براساس آنها سیستم کنترل در سنجش ها و اندازه گیریها، قابلیت آزمایشهای تأییدی بیشتری را پیدا خواهد کرد که مسلماً این امر اطلاعات حاصله را اعتبار و اطمینانی مضاعف خواهد بخشید.

- کمترین حساسیت در مورد کمبود تجهیزات اندازه گیری
از سوی دیگر لازم به ذکر است که، سیستم (TDCS) در مقایسه با سیستم (PDCS) کمبودها و نواقصی دارد که عبارتند از:

- در محاسبات مربوطه، اثرات جوی می باید مد نظر قرار گیرد.
- مدلهای آلودگی باید به طور کامل طی سالیان مختلف مورد پیگیری و بررسی قرار گیرند.
- ارتعاش جریان ترافیکی در یک مدل دقیق، بسیار مشکل ساز خواهد بود.

References

1. Denos, C. Gazis, 1947, Traffic Science, A Wiley – Interscience Publication, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-29480- 2, 293 pages.
2. Jacques, E., 1991, A solution to the optimal setting of air flow – control devices in a ventilation network, Proceedings of the 5th US Mine Ventilation Symposium, SME, Littleton, Colorado, pp.411-418.
3. Jacque, E., 1991, Numerical Simulation of Complex Road Tunnels, Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Elsevier Science Publishers Ltd., England, pp. 467-486.
4. Jacques, E., 1994, Study of the automatic control of the longitudinal ventilation of a complex road tunnel. 8th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Mechanical Engineering Publications Ltd., London, England, pp. 943-957.
5. Jacques, E., Possoz, L., 1997, Some experience with ventilation control based on traffic data, Tunnel Control & Communication, 2nd International Conference, Ed. A. Vardy, Amsterdam, the Netherlands, pp. 235-251.
6. Kitajima K. & Ota Y., 1997, Practical performance of fuzzy control system for semi – transverse ventilation of the Tokyo port tunnel, Tunnel Control & Communication, 2nd International Conference, Ed. A. Vardy, Amsterdam, the Netherlands, pp. 91-98.
7. Kwok, E.C.S., 1994, Towards the re-engineering of monitoring and control ISBN 095200831 1 9, Tunnel Control & Communication, 1st International Conference, Ed. A. Vardy, Bassl, Switzerland, pp. 393-401.
8. Nishimori, S., Kawakami, H., & Toyoda, M., 1997, Tunnel ventilation control system applying the neural network theory, tunnel Control & Communication, 2nd International Conference, Ed. A. Vardy, Amsterdam, the Netherlands, pp. 111-122.
9. PIARC (permanent International Association of Road Congresses), 1995, XXth World Road Congress, Technical Committee on Road Tunnels, Vehicle Emissions / Air Demand / Environment / Longitudinal Ventilation, Montreal, Canada.
10. Pischinger, R., 1991, Exhaust gas legislation and exhaust gas emissions of motor vehicles: a global survey. Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Elsevier Science Publishers Ltd., England, pp. 21-51.

پیوست: مثالهایی از تغییرات روزانه در وضعیت ترافیکی و سطوح آلودگی در پنج تونل مختلف

نمودارهای پیوست، مقایسه ای از تغییرات روزانه در وضعیت ترافیکی و سطوح آلودگی ثبت شده در پنج تونل با مشخصات زیر می باشد:

۱ - تونل سودرلدر^۱ (استکهلم)

طول: ۱۵۰۰ متر

دارای دو دهانه

روش تهویه: طولی

ترافیک: ۳۹۰۰۰ خودرو در روز (روزهای کاری)

ثبت آلودگی در یک کیلومتری از مدخل تونل انجام شده است.

۲ - تونل سن کلود^۲ (پاریس)

طول: ۸۵۱ متر

دارای دو دهانه (۲×۴ خطه)

روش تهویه: طولی

ترافیک روزانه: ۳۶۵۰۰ خودرو در هر جهت

حداکثر ساعتی ترافیک: ۶۱۵۰ خودرو در هر جهت

ثبت آلودگی در میانه تونل در جهت پاریس / پراوینس انجام شده است.

۳ - تونل آمبروز پاری^۳ (پاریس)

طول: ۷۸۱ متر

روش تهویه: نیمه عرضی

ترافیک روزانه: ۲۶۰۰۰ خودرو در هر جهت

ثبت آلودگی در میانه تونل انجام شده است.

۴ - تونل لاکروا - روش^۱ در لیون (فرانسه)

طول: ۱۷۵۰ متر

دارای یک دهانه دو طرفه (۲×۲ خطه)

روش تهویه: نیمه عرضی

ترافیک روزانه: ۴۰۰۰۰ خودرو در هر جهت

حداکثر ساعتی ترافیک: ۴۰۰۰ خودرو در هر جهت

ثبت آلودگی در میانه تونل انجام شده است.

۵ - تونل مون بلان^۲ (فرانسه / ایتالیا)

طول: ۱۱۶۰۰ متر

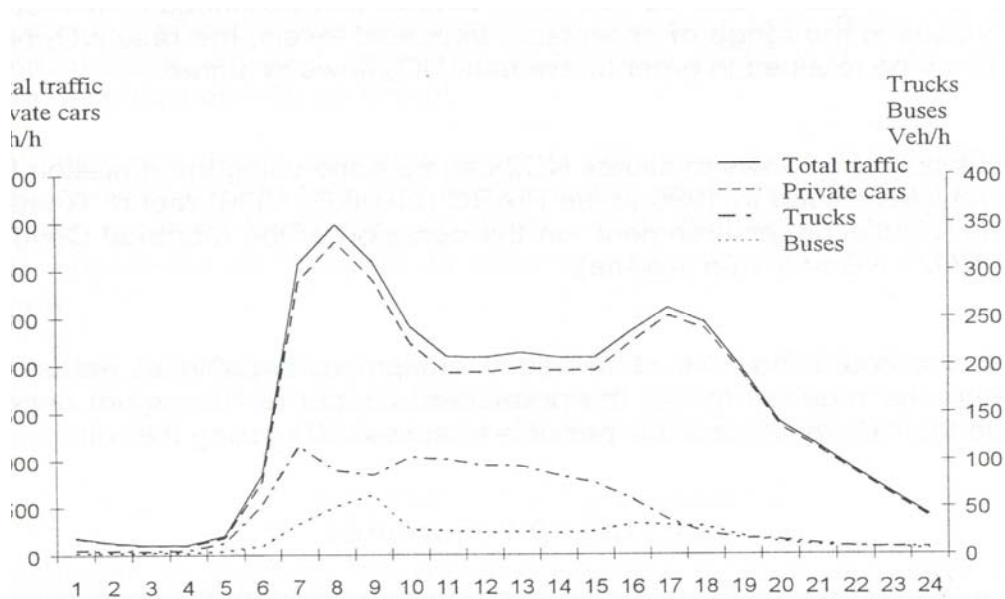
دو طرفه با دو خط

روش تهویه: نیمه عرضی

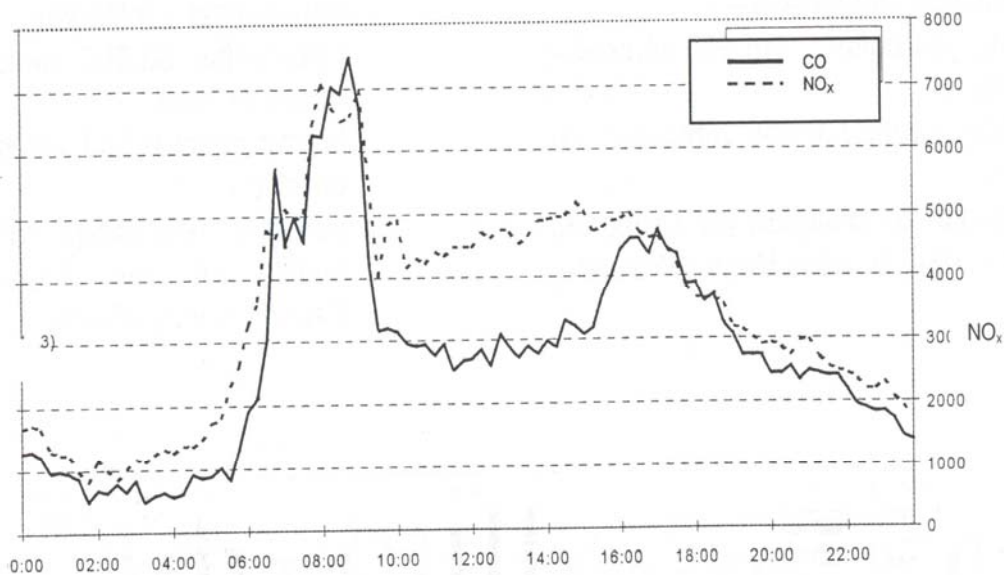
ترافیک روزانه ۵۶۰۰ خودرو شامل ۲۲۰۰ خودرو سنگین (۳۶ تن)

ثبت آلودگی در جانپناه در مدخل بخش فرانسوی انجام شده است.

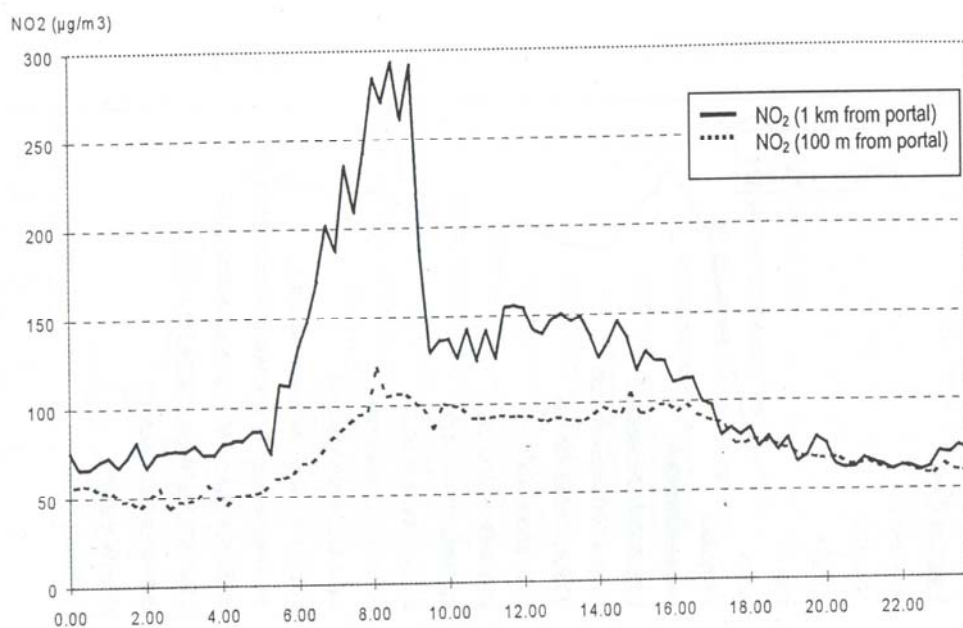
نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در تونل سودرلدز



شکل ۱- میانگین تغییرات در جریان ترافیکی طی روزهای دوشنبه تا پنجشنبه

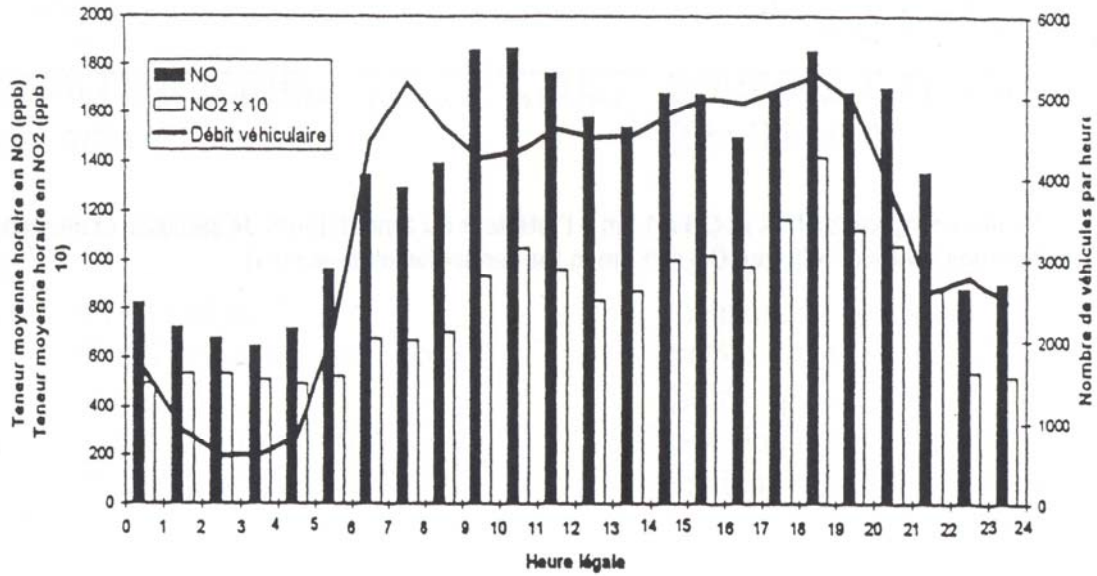


شکل ۲- میانگین میزان CO و NO_x در طول یک کیلومتر از تونل (در ایام کاری هفته)

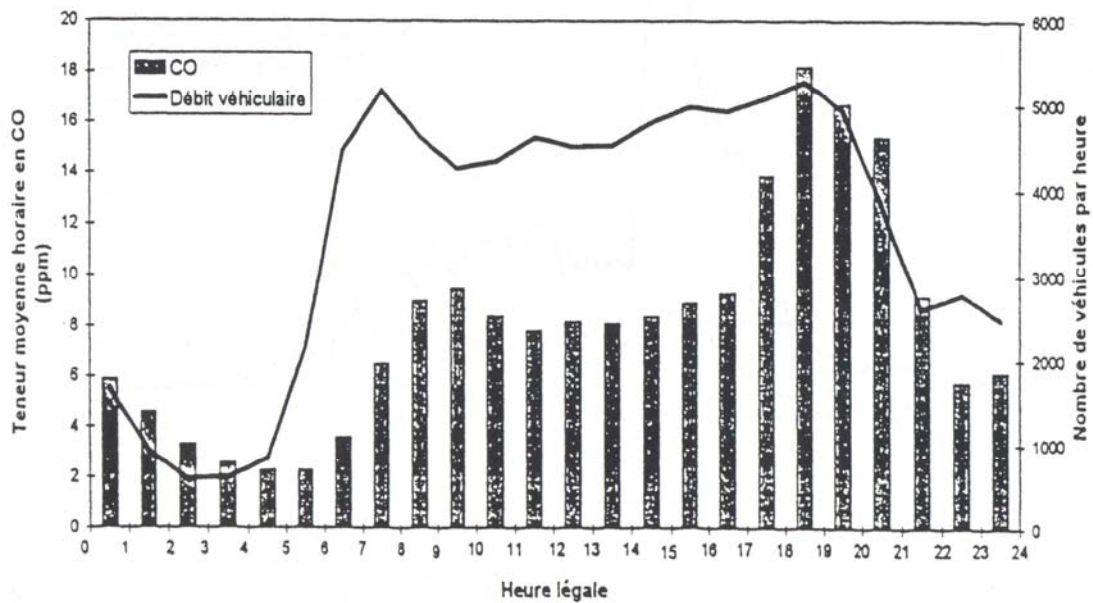


شکل ۳- میانگین میزان NO₂ در دو نقطه اندازه گیری شده (در ایام کاری هفته)

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در تونل سن‌کلود (۲۳ ژوئن لغایت ۴ جولای ۱۹۹۷)

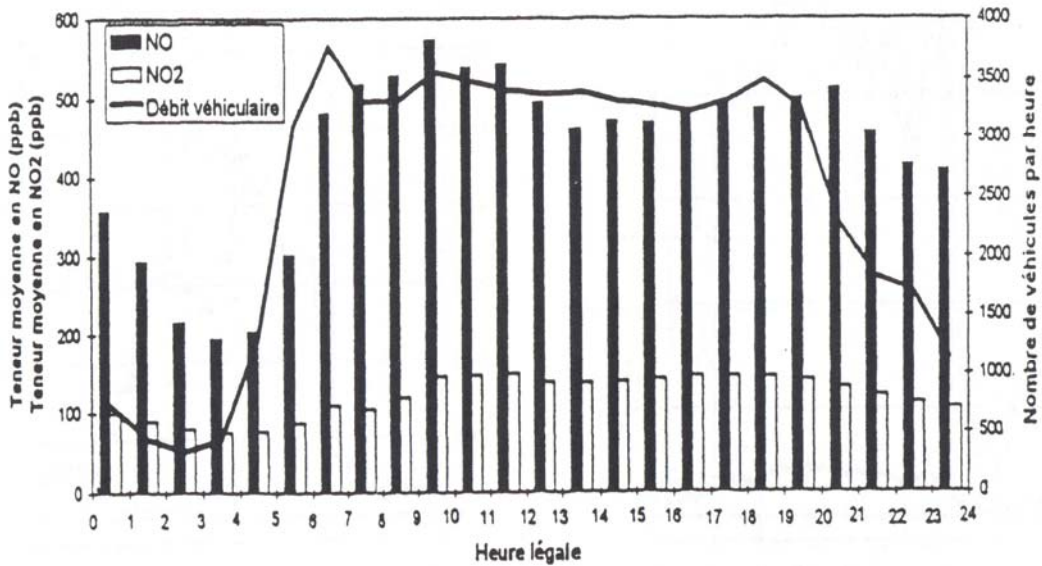


شکل ۴- پروفیل روزانه میانگین ساعتی میزان NO و NO₂

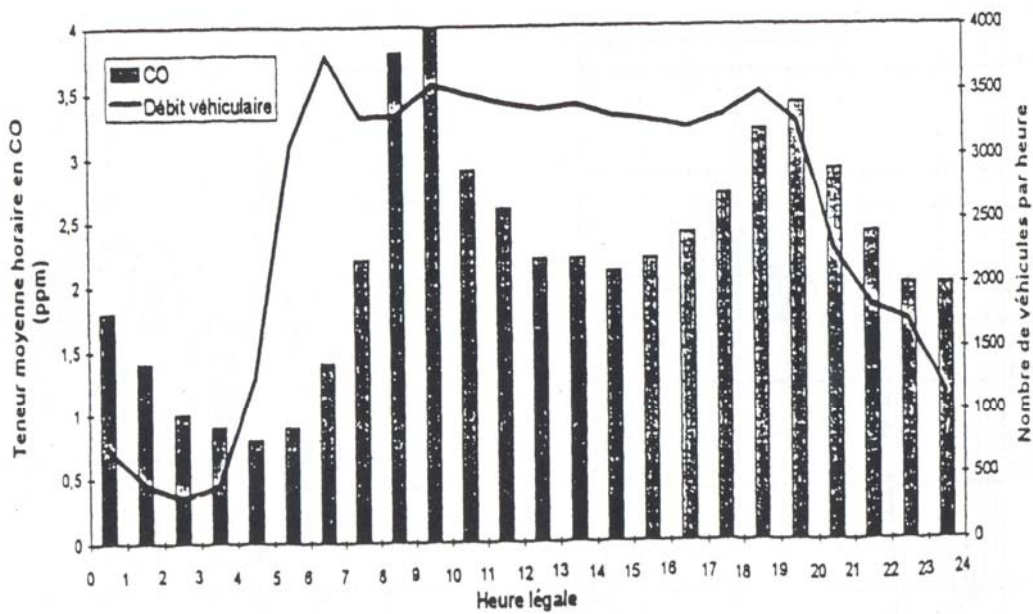


شکل ۵- پروفیل روزانه میانگین ساعتی میزان CO

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در تونل آمبروز پاری (پنجم لغایت بیست و سوم ژوئن ۱۹۹۷)

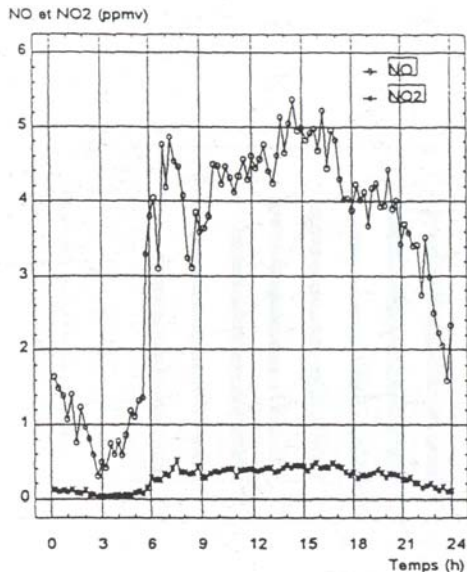


شکل ۶- پروفیل روزانه میانگین ساعتی میزان NO و NO₂

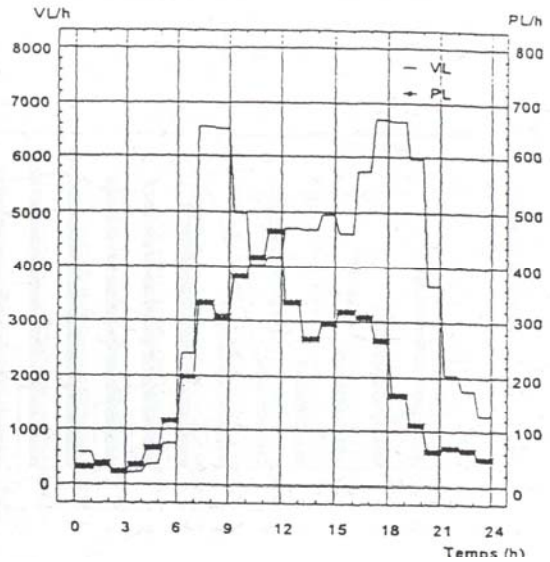


شکل ۷- پروفیل روزانه میانگین ساعتی میزان CO

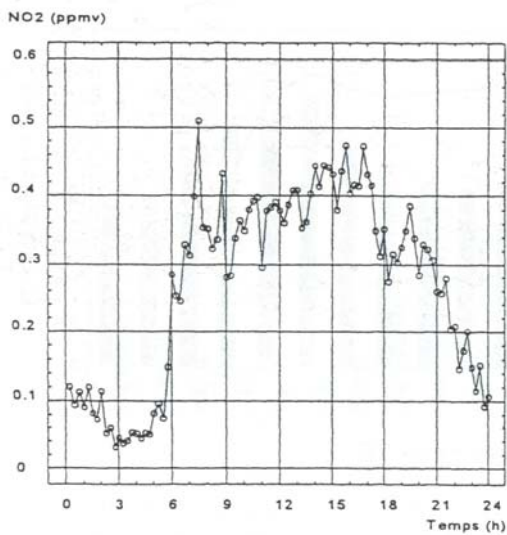
نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در تونل لاکروا - روش



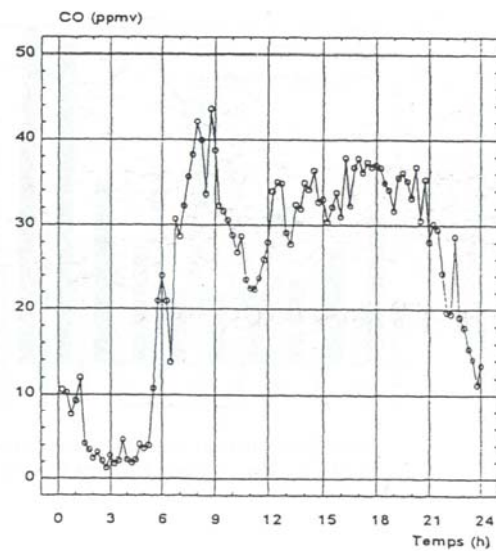
شکل ۹- NO_2 و NO تا نقطه A



شکل ۸- بار ترافیکی اتومبیل‌ها و کامیونها (دو طرفه)

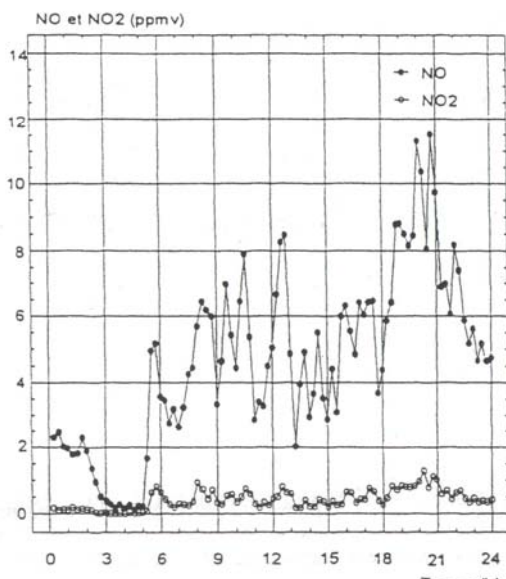


شکل ۱۱- NO_2 تا نقطه A

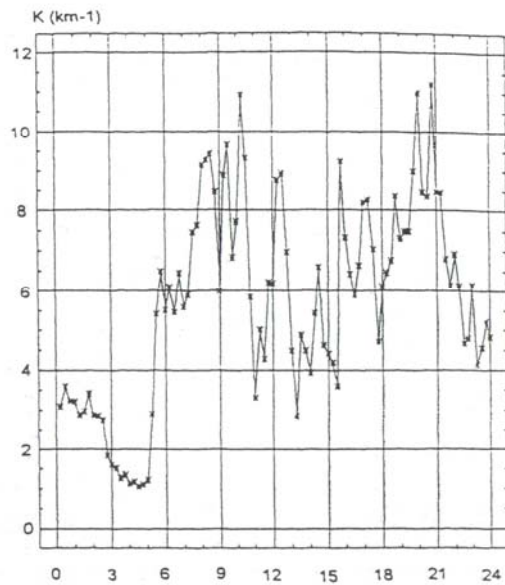


شکل ۱۰- CO تا نقطه A

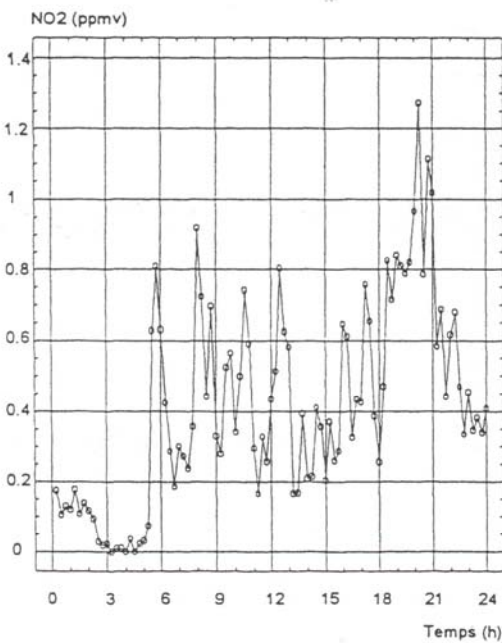
نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در تونل مون‌بلان



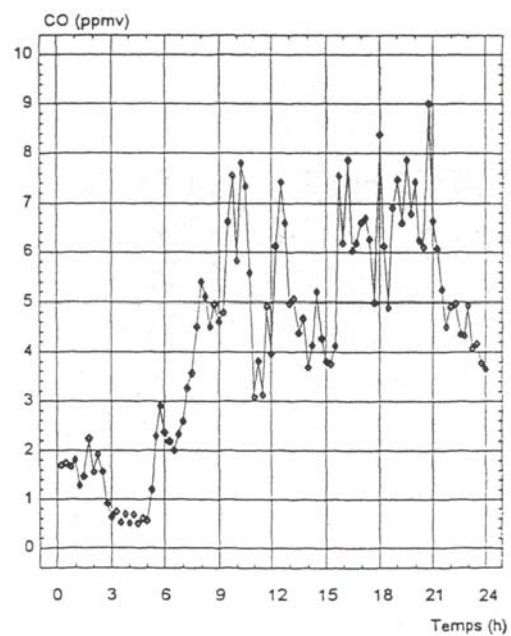
شکل ۱۳- میزان NO و NO_2 در مجرای خروجی



شکل ۱۲- میزان دوده در مجرای خروجی



شکل ۱۵- میزان NO_2 در مجرای خروجی



شکل ۱۴- میزان CO در مجرای خروجی



WORLD ROAD ASSOCIATION - PIARC

ROAD AND TRANSPORTATION MINISTRY
DEPUTY OF

TRAINING, RESEARCH AND TECHNOLOGY

POLLUTION BY NITROGEN DIOXIDE IN ROAD TUNNELS

UNIT OF
TECHNOLOGY & COMMUNICATION WITH
SPECIALIZED ORGANIZATIONS

PIARC SECRETARIAT IN IRAN

P3/C5/82/48