



نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل

"فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار"

۱۰ تا ۱۲ آبان ماه ۱۳۹۰

ATS11-05412

## تجهیزات و تاسیسات ایمنی و کنترل تونل بلند دو طبقه ادامه بزرگراه صیاد شیرازی در دوره بهره‌برداری

حمید رضا علیزاده<sup>۱</sup>، منصوره احتشامی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد معدن، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس؛ (HR\_Alizadeh@yahoo.com)

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مخابرات و کنترل، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس؛

### چکیده

تامین ایمنی تونل‌های ترافیکی شهری به دلیل ترافیک بالا و حضور تعداد زیاد مسافران همواره از اهمیت زیادی برخوردار است تا در صورت مواجهه با شرایط اضطراری، تجهیزات مربوطه ضمن اعلام هشدار به مرکز کنترل بتواند تصمیم‌های مناسبی را برای کنترل و راهبری تجهیزات بکاربرد تا ضمن تامین ایمنی حادثه‌دیدگان امکان خروج ایمن آنها تا رسیدن گروه ایمنی و نجات به محل فراهم نماید. بر اساس مطالعات انجام گرفته، جهت اتصال ادامه بزرگراه صیاد شیرازی به شبکه بزرگراهی تهران، نیاز به اجرای تونلی دو طبقه با طول حدود ۱۰ کیلومتر می‌باشد. در این مقاله تجهیزات مورد نیاز به منظور ایمن‌سازی و اجزای سیستم کنترل و ایمنی تونل بلند دو طبقه ادامه بزرگراه صیاد شیرازی در دوره بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مشخصات اصلی و فنی تجهیزات کنترلی شامل نحوه عملکرد ابزار، محدودیت‌ها، شرایط بکارگیری، تعداد ابزار مورد نیاز مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله تجهیزات کنترل بررسی شده برای سیستم کنترل و ایمنی تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی سیستم تهویه شامل ابزارهای اندازه‌گیری سرعت هوا، اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها، اندازه‌گیری دما به منظور کنترل و پایش آتش‌سوزی، تجهیزات کنترل روشنایی (فتوسل و لومینانس‌متر)، دوربین‌های پایش و دوربین‌های مجهز به سیستم پردازش تصاویر، تجهیزات شمارنده خودروها، سیستم پردازش اطلاعات، نحوه عملکرد سیستم مرکز کنترل تونل روش انتقال اطلاعات به مرکز کنترل، و ...، بررسی شده و همچنین جانمایی تجهیزات در مقطع و در طول تونل تعیین شده‌اند.

### کلمات کلیدی

تجهیزات، تاسیسات، ایمنی و کنترل، تونل، ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، دوره بهره‌برداری.

<sup>۱</sup> حمید رضا علیزاده- تهران- گیشا- کوی نصر- کوچه ملکی- پلاک ۶۱- شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس تلفن ۸۴۲۶۴۶۸۶ نمابر ۸۸۲۷۲۶۲۹

ابتدا مطالعات اولیه جهت مشخص نمودن وضعیت و نوع ترافیک در تونل، طول تونل و میزان ترافیک عبوری انجام گیرد. سپس با استفاده از جداول و استانداردهای مربوطه طبقه‌بندی فضای تونل انجام گردد. یکی از متداول ترین روش ها، جدول کلاس بندی پیارک است. در این جدول بر اساس نوع و میزان ترافیک و تعداد دهانه‌های تونلی و جهت ترافیک، کلاس تونل مشخص شده و سپس تجهیزات ایمنی مورد نیاز تعیین می شود. تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی یک تونل دو طبقه و با ترافیک یک جهته با طول حدود ۱۰ کیلومتر می باشد. با توجه به ترافیک ساعتی بیش از ۳۰۰۰ خودروی سواری در ساعت و طول کلی تونل، این تونل در کلاس ۱ قرار می‌گیرد. استفاده از تجهیزات ذیل جهت ایمن سازی تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی اجباری می‌باشد:

**روشنایی و تغذیه شامل:** روشنایی پیاده‌روها، روشنایی اضطراری و ایمنی، منابع تغذیه اضطراری

**وسایل ارتباطی شامل:** تلفن اضطراری، ارتباط رادیویی، بلندگو، ایستگاه اضطراری، دوربین مدار بسته، تابلوهای پیام متغیر  
**مدیریت ترافیک شامل:** تجهیزات مسدود کردن تونل، کنترل اضافه ارتفاع، مرکز کنترل (تجهیزات متوقف کردن اتومبیل‌ها در داخل تونل پیشنهادی می باشد).

**آشکار ساز حوادث شامل:** آشکار ساز اتوماتیک حوادث، آشکار ساز حریق، آلامر دستی، آلامر های اتوماتیک

**مدیریت حوادث شامل:** تجهیزات اطفاء حریق، آب پاش ها، منابع تأمین آب

**مقاومت حرارتی تجهیزات:** مقاومت تجهیزات و ساختار تونل

با توجه به اینکه تهویه تونل به بخش‌هایی کوچک و مجزا تقسیم شده که در هر بخش دو چاه تهویه با فاصله ۱۰۰۰ متر وظیفه تامین هوای تازه و مکش هوای آلوده را بر عهده دارند لذا در این مقاله تجهیزات سیستم ایمنی و کنترل در حد فاصل بین دو چاه تهویه و در فاصله ۱۰۰۰ متر بررسی می شوند.

#### ۴- سیستم کنترل و پایش هوشمند تونل

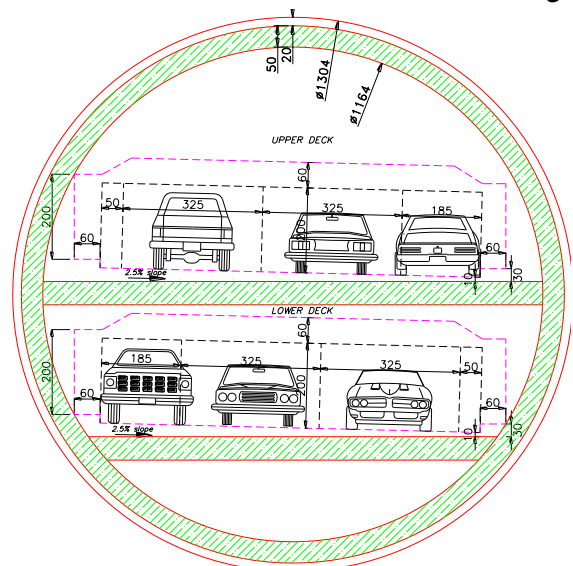
سیستم حمل و نقل هوشمند در تونل یک سیستم خودکار مدیریت تونل است که اطلاعات دریافتی از مجموعه حسگرها و دیگر اطلاعات موجود را به صورت بلادرنگ مورد پردازش قرار داده و از آنها اطلاعات مورد نیاز جهت کنترل و مدیریت حمل و نقل عمومی و خصوصی، تصادفات و موارد اضطراری را استخراج می نماید. در حقیقت ورودی‌های سیستم شامل حسگرهای آنالیز آلودگی هوا، حسگرهای دما، حسگرهای نوری و حسگرهای وسایل نقلیه، گزارش‌های ماموران پلیس و اطلاعات دریافتی از تلویزیون های مدار بسته می باشد.

مفهوم هوشمندی در این سیستم‌ها شامل ترکیب اطلاعات حسگرها، تجزیه و تحلیل داده‌های کنونی و گذشته، قابلیت تطبیق با تغییرات

بطور کلی هدف از نصب ابزارهای اندازه‌گیری و پایش در تونل، کنترل سیستم تهویه توسط پایش عوامل موثر بر سیستم تهویه مانند میزان آلودگی و سرعت جریان هوا و همچنین کنترل جریان ترافیک و حوادثی مانند تصادف و آتش‌سوزی می‌باشد. در این مقاله ابزارهای مورد نیاز سیستم کنترل تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی به منظور پایش وضعیت ترافیک، شرایط اضطراری و کنترل وضعیت تهویه با اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها و جریان هوا در بخش های مختلف تونل بررسی شده است. همچنین در مورد سیستم کنترل مرکزی که وظیفه آن دریافت اطلاعات از انواع ابزارهای کنترلی و اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل آنها و تصمیم‌گیری در شرایط اضطراری توسط نرم‌افزار کنترلی و یا اعلام به اپراتور برای تصمیم‌گیری مناسب و نمایش در نمایشگرها، نیز مواردی درج شده است.

#### ۲- معرفی پروژه

مسیر فعلی بزرگراه صیاد شیرازی در حال حاضر از بزرگراه بابایی در مرز منطقه ۴ شروع و پس از گذشتن از مناطق ۴ و ۷ به میدان سپاه در منطقه ۷ شهرداری تهران ختم می‌گردد. با توجه به اهمیت و نقش ترافیکی این مسیر که ارتباط‌دهنده مناطق مسکونی شمال شرق تهران با مرکز شهر بوده و در میدان سپاه خاتمه می‌یابد، توسعه و ادامه آن به سمت جنوب به منظور افزایش دسترسی‌ها و بهبود شاخص‌های ترافیکی در آن محدوده ضروری است. مطالعات انجام گرفته نشان دهنده امکان احداث یک تونل دو طبقه جهت رفت و برگشت خودروها در مسیر ذکر شده می باشد. در شکل ۱ مقطع تونل نشان داده شده است.



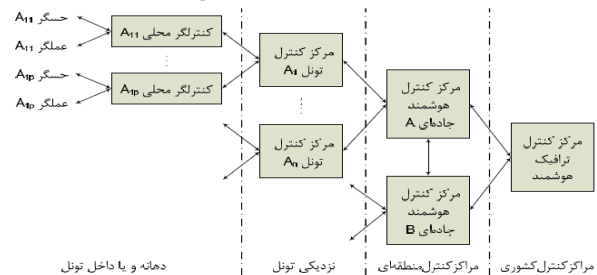
شکل ۱-۲ مقطع عرضی تونل

#### ۳- معرفی تجهیزات مورد نیاز سیستم ایمنی

جهت بررسی تجهیزات مورد نیاز سیستم ایمنی تونل لازم است در

محیط، تصمیم‌گیری با استفاده از سیستم‌های خبره و با منطق فازی و استفاده از حسگرهای دارای ریزپردازنده می‌باشد.

اطلاعات فوق به سیستم مرکز ترافیک منتقل و پس از پردازش و تحلیل به منابع خروجی جهت کنترل و مدیریت هرچه بهتر ارسال می‌شود. منابع خروجی یا عملگرها شامل تجهیزات تهویه، نورافکن‌ها، سیستم اطفا حریق، چراغ‌ها و علائم متغیر راهنمایی و رانندگی، ارسال اطلاعات به پلیس و پرسنل راهنمایی و رانندگی، نیروهای امدادی، پرسنل تعمیر و نگهداری، مراکز اطلاع رسانی راه‌ها و رانندگان و... می‌باشد. شکل ۱ شمای کلی از سیستم کنترل و پایش غیر متمرکز تونل را نشان می‌دهد. کنترل‌گرهای محلی که در دهانه و یا داخل تونل قرار دارند بطور مستقل به دریافت اطلاعات از حسگرها، پردازش اطلاعات و فرمان به عملگرهای خود می‌پردازند. مراکز کنترل هر یک از تونل‌ها در یک لایه کنترلی بالاتر با کنترل‌گرهای محلی خود در ارتباط بوده و ضمن پایش مقادیر حس شده، عملکرد کنترل‌گرهای محلی را تحت نظارت و فرمان خود دارند. سپس در یک لایه کنترلی بالاتر تمام مراکز تونل‌های یک منطقه تحت نظارت یک مرکز تصمیم‌گیری جاده‌ای می‌باشد. نهایتاً عملکرد کلی مراکز جاده‌ای تحت نظارت مراکز کنترل هوشمند کشوری می‌باشد.



شکل ۵-۱ نمای شماتیک از لایه‌های کنترل در یک سیستم هوشمند

## ۵- لزوم پایش و کنترل در تونل

به منظور کنترل آلاینده‌های داخل تونل و همچنین وضعیت ترافیک، نیاز به بکارگیری ابزارهای اندازه‌گیری و سیستم پایش می‌باشد. هدف از بکارگیری این تجهیزات تامین ایمنی مسافران در زمان استفاده از تونل و همچنین امکان خروج آنها در شرایط اضطراری به سمت مکان‌های امن می‌باشد.

### ۵-۱- آلاینده‌های داخل تونل

پایش و کنترل سه آلاینده مونواکسیدکربن، اکسیدنیترژن و دوده در تونل‌ها الزامی است. گاز مونواکسیدکربن بسیار سمی است و در عیارهای خیلی پائین نیز موجب مرگ انسان می‌شود. تراکم CO از ۲۵۰ ppm در تونل‌های بین شهری نباید بیشتر باشد که این مربوط به بدترین حالت یعنی راه بندان است.

در هوای تونل‌ها مقداری گاز اکسیدهای نیترژن وجود دارد این اکسیدها بصورت NO و NO<sub>۲</sub> می‌باشد که هر دو سمی هستند. اما

فقط اکسید نیترژن (NO) توسط خودرو تولید می‌شود که بعداً در هوا به دی‌اکسیدنیترژن با نیمه عمر یک هفته تبدیل می‌شود. مسمومیت گاز NO<sub>۲</sub> پنج برابر بیشتر از گاز NO است اما با توجه به هزینه اندازه‌گیری بالای NO<sub>۲</sub> و کم بودن قابلیت اعتماد سنجش آن، می‌توان بجای آن غلظت گاز NO را اندازه‌گیری و از روی آن میزان NO<sub>۲</sub> را محاسبه کرد.

ذرات دوده عمدتاً در اثر احتراق ناقص هیدروکربن‌ها تولید می‌شوند. این ذرات که ابعادشان در حدود قابل تنفس است، تا مدت‌ها به حالت شناور در هوای تونل باقی‌مانده و بنابر این از نظر تنفسی خطرناک هستند. خطر دیگر این ذرات آن است که این ذرات، گازهایی نظیر دی‌اکسیدگوگرد و دی‌اکسیدنیترژن را به خود جذب کرده و این مواد مضر را با خود به داخل سیستم تنفسی می‌کشانند.

### ۵-۲- سیستم کنترل سرعت هوای داخل تونل

برای کنترل تهویه در شرایط عادی و هنگام آتش‌سوزی اطلاع از میزان سرعت هوای داخل تونل و جهت آن ضروری می‌باشد. سرعت متوسط هوا در زمان آتش‌سوزی بسته به بار آتش‌سوزی دارد.

### ۵-۳- سیستم کنترل دما

در زمان وقوع حریق در تونل، تشخیص سریع و دقیق حادثه و اعلام محل آن نقش بسیار اساسی در کاهش خسارات وارده دارد. یکی از روش‌های پیش‌بینی و اطلاع از ایجاد حریق کنترل دمای داخل تونل می‌باشد.

### ۵-۴- سیستم کنترل روشنایی

تامین روشنایی مناسب و کافی در داخل تونل و کنترل میزان تغییرات آن از دهانه ورودی تا بخش میانی و سپس دهانه خروجی از مهمترین عوامل جلوگیری از خطرات و افزایش ایمنی در تونل است.

### ۵-۵- سیستم کنترل ترافیک

#### ۵-۶-۱- سرعت و تعداد خودروها

برای پایش ترافیک داخل تونل و پیرامون دهانه‌های آن حسگرهای ترافیکی و نیز سیستم تلویزیون مداربسته (CCTV) بکار گرفته شود. حسگرهای ترافیکی می‌بایست اطلاعات کافی برای محاسبه اندازه متوسط سرعت خودروها (کیلومتر در ساعت) برای هر رده خودرو (بر اساس طول خودرو)، طول متوسط خودروها در هر خط (متر)، متوسط زمان سفر در تونل (ثانیه)، تراکم خودروها (تعداد در هر کیلومتر) و نرخ تردد خودروها (تعداد در ساعت) در هر خط تونل را در اختیار قرار دهند.

#### ۵-۶-۲- سنجش اتوماتیک تصادف داخل تونل AID

سیستم‌های AID حادثه را بصورت غیرمستقیم تشخیص

می‌دهند، بدین معنا که این سیستم‌ها تلاش دارند حادثه را با توجه به پیامدهای ترافیکی آن تشخیص دهند. سیستم نظارت تصویری یکی از ابزارهای مهم سیستم خودکار تشخیص سوانح (AID) است مدیریت موثر حادثه، به طور کامل به تشخیص سریع حادثه و تأیید سریع حادثه بستگی دارد. هر دقیقه از دست رفته، خطر ابتلا به یکی دیگر از تصادفات وحشتناک را تشدید می‌کند و به شدت زمان روشن شدن علت حادثه را افزایش خواهد داد.

#### ۵-۶- سیستم کنترل ارتفاع غیر مجاز خودرو

محدودیت ارتفاع برای ورود خودروهایی با ارتفاع بیش از مقدار مجاز توسط سیستم کنترل کننده ارتفاع انجام می‌شود. این حسگر بصورت مکانیکی یا الکترونیکی عمل می‌کند.

#### ۶- انتخاب نوع و تعداد ابزار های اندازه گیری و کنترل و جانمایی آنها در تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی

##### ۶-۱- آلاینده های داخل تونل

طبق آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور در سیستم تهویه طولی با جت فن باید حداقل سه حسگر منواکسیدکربن و سه حسگر دود، در طول تونل نصب گردد. از آنجائی که حسگرهای CO و دید علاوه بر استفاده در تهویه به عنوان حسگر های کمکی تشخیص آتش‌سوزی نیز استفاده می‌گردند (در کنار حسگر دما) توزیع آنها در طول تونل ضروری است. از دو سیستم سنجش آلودگی مرئی و نامرئی هوا با استفاده از الکترونیک نوری و فن‌آوری اندازه‌گیری گازهای نامرئی با اشعه مادون قرمز بدون پراکندگی، برای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، فن‌آوری الکترونیک نوری انتخاب شد. زیرا دارای طول عمر بالا، استهلاک کم، دقت بالا، قابلیت تکرارپذیری زیاد، قابلیت کار در دامنه وسیع دما و رطوبت، سرعت پاسخ سنجش بسیار زیاد و هزینه نگهداری پایین است و نیاز به قطعات مصرفی ندارد.

برای حسگر اندازه‌گیری دید، تنها حسگرهای دید که از نوع انتقال سنج هستند برای استفاده در تونل توصیه می‌شود. برای اندازه‌گیری انتقال نور در هر نقطه از تونل باید دو واحد فرستنده/گیرنده و منعکس کننده در راستای تونل و رو بروی هم با فاصله حدود ۱۰ تا ۱۲ متر از یکدیگر قرار گیرند.

برای تونل‌های دارای سیستم تهویه طولی با جت فن، با توجه به اینکه در حالت خاموش بودن جت فن‌ها تراکم آلودگی در قسمت میانی و در حالت روشن بودن آنها تراکم آلودگی در مدخلی از تونل که هوا از آن خارج می‌شود می‌باشد، حسگرها باید در قسمت‌های میانی و انتهایی تونل (حدود ۲۰۰ متر در داخل تونل) نصب گردند. با توجه به این پیکره بندی، طبیعتاً سیستم تهویه ابتدا به علت افزایش بیشتر خروجی حسگرهای میانی وارد عمل می‌شود و در حین کار با توجه به مقدار خروجی حسگرهای انتهایی که خروجی آنها از بقیه

حسگرها بیشتر است، به کار خود ادامه خواهد داد.

با توجه به متوسط فاصله بین دو چاه تهویه (۱۰۰۰ متر) تعداد سه دستگاه سیستم سنجش آلودگی برای هر بخش توصیه می‌شود. اولین ابزار از محل چاه دهش هوای تازه ۲۰۰ متر فاصله داشته و سنسور بعدی در فاصله ۵۲۵ متری از چاه دهش هوا و سومین سنسور نیز در فاصله ۸۵۰ متری از محل چاه دهش هوای تازه نصب می‌شود. در این تقسیم‌بندی فاصله اولین سنسور از چاه تهویه دهش هوا ۲۰۰ متر و فاصله سومین سنسور از چاه مکش هوای آلوده ۱۵۰ متر می‌باشد و سنسور دوم در حد فاصل دو سنسور ذکر شده قرار داده می‌شود. در صورت تغییر فاصله بین چاه های تهویه، فواصل ذکر شده رعایت می‌گردد.

در مورد موقعیت نصب این سنسورها، با توجه به اینکه حرکت خودروها در تونل که موجب جریان های پیچشی در پشت خودروها می‌شود و نیز حرکت باد بعلاوه اثر پیستونی و همچنین تهویه طبیعی و یا مکانیکی تونل که موجب می‌گردد تا تراکم ذرات غبار و آلودگی‌ها در سطح مقطع تونل تقریباً یکسان باشد از اینرو ارتفاع قرار گرفتن دستگاه سنجش حائز اهمیت نیست ولی پیشنهاد می‌شود این دستگاه‌های سنجش در ارتفاع ۳/۵ تا ۴/۵ متر از کف تونل نصب گردند. همچنین در صورتیکه امکان‌پذیر باشد، برای تعمیر و نگهداری راحت‌تر بهتر است حسگرها را در تورفتگی‌های مقطع تونل قرار داد. برای اطمینان از اینکه خروجی حسگر معرف غلظت واقعی باشد، نباید حسگر در محلی بسیار نزدیک به فن‌ها و یا دمنده های هوای تمیز قرار گیرد. در صورت محدود بودن فضای عرض تونل، اینگونه حسگرها می‌توانند به سقف تونل نصب شوند.

#### ۶-۲- حسگر اندازه گیری سرعت هوای داخل تونل

تمامی تونلهایی که تهویه مکانیکی دارند باید به یک بادسنج در درون تونل مجهز شوند. آگاهی از جهت و سرعت هوای داخل تونل‌ها، برای مدیریت سریع سیستم تهویه بسیار ضروری می‌باشد این کار توسط بادسنج صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا دو سیستم مکانیکی و غیر مکانیکی استفاده می‌شوند.

سیستم مکانیکی با توجه به ولتاژ ایجاد شده توسط یک دینام که به محور بادسنج متصل است سرعت هوا را اندازه می‌گیرند. در صورتیکه بادسنج مجهز به محور خروجی باد باشد می‌تواند جهت باد را نیز نشان دهد. بادسنج‌های ملخی بر این اساس کار می‌کنند. ویژگی این نوع بادسنج قیمت ارزان آن می‌باشد. دقت این بادسنج ۲٪ کل دامنه است، ولی اگر سرعت باد کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه باشد خطای آن خیلی زیاد است.

سیستم غیرمکانیکی که بر پایه امواج آلتراسونیک کار می‌کند، یک گیرنده و یک فرستنده وجود دارد که با توجه به مدت زمان ارسال و دریافت پالس‌های آلتراسونیک، سرعت و جهت هوا مشخص می‌شود. حسگر با ارسال امواج مافوق صوت از دو طرف و دریافت آن

در دو طرف و محاسبه شیفت فرکانسی امواج دریافتی، تندی باد اندازه می‌گیرد. بادسنج باید بتواند تندی باد را از ۲۰ - تا ۲۰+ متر در ثانیه با دقت ۲٪ اندازه بگیرد باد سنج نصب شده در درون تونل باید بیش از ۵۰ متر از دو سر تونل فاصله داشته باشد تا داده‌های شدید و نامنظم خارج از تونل در سنجش سرعت باد داخل تونل خطا ایجاد نکنند. بادسنج را باید در جایی که بیشترین فاصله را با جت فن‌ها و یا هواکش‌ها از دو طرف داشته باشد نصب کرد. بادسنج نباید در تورفتگی داخل تونل نصب شود. براساس موارد ذکر شده سرعت‌سنج نوع مکانیکی برای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی توصیه می‌شود. بر این اساس یک بادسنج در بخش میانی از حد فاصل دو چاه تهویه دهش و مکش نصب می‌شود. این بادسنج در فاصله ۶۰ متری از دهانه دهش جت فن‌ها نصب شده در تونل نصب می‌شوند.

### ۳-۶- حسگر اندازه‌گیری دما در تونل

برای اندازه‌گیری دما با دقت  $\pm 1$  درجه برای محیطی که می‌تواند بین ۳۰ - تا ۶۰ درجه سانتیگراد تغییر کند، بهترین روش‌های موجود به ترتیب استفاده از حسگرهای مکان پیوسته دامنه پیوسته (روش DTS با فیبر نوری)، مکان گسسته دامنه پیوسته (روش DTS با حسگر نیمه هادی) و مکان پیوسته دامنه گسسته (روش LHD) می‌باشد. در روش مکان پیوسته اندازه‌گیری دما در تمامی نقاط طول تونل انجام می‌گیرد در حالیکه در حالت مکان گسسته حسگرها در طول یک سیم با فواصل خاص قرار گرفته‌اند. همچنین دامنه پیوسته به این معناست که مقدار پیوسته دما اندازه‌گیری می‌گردد در حالیکه در دامنه گسسته مقدار دما اندازه گرفته نمی‌شود بلکه خروجی حسگر بصورت قطع و وصلی بوده و پس از افزایش دما از یک مقدار معین وصل می‌گردد. از بین حسگرهای فیبر نوری، نیمه هادی و حسگر LHD حسگر نیمه هادی مکان گسسته دامنه پیوسته (روش DTS) یا سیستم سنجش خطی دما (LIST) برای اندازه‌گیری دما و تغییرات آن در طول تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی توصیه می‌گردد. در فواصل ۸ متر یک حسگر دما از نوع ترمیستور و یک مدار الکترونیک برای تبدیل دما به یک سیگنال دیجیتال روی سیم قرار داشته باشد. همچنین از کابل‌های چهارسیمه که قابلیت حذف نویز را دارند استفاده شود. برای هر ۴۰۰ متر نیز یک واحد سنجش دما بکار گرفته می‌شود. این حسگر بصورت تک سره در طول تونل و در قسمت مرکزی سقف نصب می‌شود.

### ۴-۶- حسگر کنترل روشنایی در بیرون و داخل تونل

تامین روشنایی مناسب و کافی در داخل تونل از مهمترین عوامل جلوگیری از خطرات و افزایش ایمنی است. سیستم کنترل روشنایی شامل ۲ قسمت اساسی آشکارسازی فتوالکترونیک (فتوسل‌ها) و سیستم کنترل می‌باشد. سنسورهای آشکارسازی از سه فتوسل تشکیل شده‌اند و بایستی بر روی مقادیر ۲۵۰۰ ، ۱۵۰۰۰ ، ۲۵۰۰۰ لوکس تنظیم شوند. با استفاده از ترکیب این فتوسل‌ها بایستی بتوان

سطوح روشنایی بیشتر از ۲۵۰۰۰ لوکس روشنایی روز آفتابی (LEVEL 1)، از ۱۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ لوکس روشنایی روز ابری (LEVEL 2)، از ۲۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ لوکس روشنایی عصر و صبح (LEVEL 3) و کمتر از ۲۵۰۰ لوکس شب هنگام (LEVEL 4) زیر را آشکارسازی کرد. فتوسل‌ها را در جلوی مدخل تونل و در فاصله ۵۰ متری از دهانه نصب می‌کنند. با استفاده از این سنسورها شدت نور بیرون به پانل کنترل مرکزی منتقل می‌شود. فتوسل یا لومینانس‌متر نور محیط بیرون را دریافت می‌نماید، سیگنال‌های ناشی از این سنسورها به صورت آنالوگ می‌باشد، سپس این سیگنال از طریق سیم به PLC واقع در ایستگاه‌های کنترل از راه دور ارسال و در آنجا به صورت ورودی‌های دیجیتال در خواهند آمد و از این ایستگاه‌ها به مرکز کنترل تونل ارسال می‌شود. پس از آن مرکز کنترل داده‌های دریافتی را پردازش کرده، دستورات کنترلی لازم را جهت روشن و یا خاموش کردن چراغ‌ها صادر می‌کند. این دستورات از مرکز کنترل تونل به ایستگاه‌های کنترل از راه دور و از آنجا به مدارات روشنایی ارسال می‌شود. یک سیگنال که نشان‌دهنده وضعیت چراغ‌ها باشد به مرکز کنترل ارسال می‌شود تا وضعیت مدارات روشنایی مشخص شود. به منظور کنترل روشنایی در وضعیت اضطراری، تغذیه تمامی حسگرها، مدارهای واسط، پردازشگرها و کامپیوترهای سیستم‌های پایش و کنترل استفاده شده در تونل (اعم از روشنایی و غیره) و همچنین تجهیزات اتاق کنترل تونل باید توسط سیستم تامین بی‌وقفه برق (UPS) انجام گردد. به علاوه UPS وظیفه تامین دست کم یک دهم روشنایی مربوط به نور مورد نیاز در شب را دارد. این نور اضطراری روشنایی کافی را برای تخلیه امن تونل به هنگام قطع برق اصلی فراهم می‌کند ولی برای ادامه فعالیت تونل مناسب نیست و در صورت عدم وجود ژنراتور اضطراری، تونل باید بسته شود. برای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، در هر یک از دهانه‌های ورودی و خروجی تونل نیاز به نصب سه عدد فتوسل می‌باشد. همچنین در منطقه آستانه (یا تطابق) توصیه شد که یک دستگاه لومینانس‌متر نصب گردد.

### ۵-۶- کنترل ترافیک

با استفاده از حسگرهای ترافیکی می‌توان اندازه متوسط سرعت خودروها (کیلومتر در ساعت) برای هر رده خودرو (بر اساس طول خودرو) ، طول متوسط خودروها در هر خط (متر)، متوسط زمان سفر در تونل (ثانیه)، تراکم خودروها (تعداد در هر کیلومتر) و نرخ تردد خودروها (تعداد در ساعت) در هر خط در تونل را اندازه‌گیری نمود. انواع حسگرهای کنترل ترافیک مانند حلقه‌های القایی و یا حسگر پیزوالکتریک نیازمند نصب در زیر جاده، حسگرها با امواج الکترومغناطیس (لیزر، مادون قرمز، میکرو ویو) و یا صوتی بدون تماس با جاده، حسگرهای مافوق صوت، حسگرهای مادون قرمز لیزری و غیر لیزری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سیگنال‌های ویدئویی دوربین کنترل ترافیک به عنوان ورودی

برای واحد تشخیص حوادث استفاده می‌شود. عامل کلیدی در سیستم آشکارساز اتوماتیک حوادث، پردازشگر تصویر ویدئو (VIP) می‌باشد. وسایل نقلیه عبوری از این محدوده‌ها شناسایی شده و VIP این تصاویر ویدئویی را برای تولید داده‌های ترافیکی و آلام‌ها تجزیه و تحلیل می‌کند. از طریق تجزیه و تحلیل بلادرنگ تصاویر دوربین‌ها، سیستم کنترلی در تونل با توجه به ماژول‌هایی از قبیل خودروهای متوقف، رانندگان در مسیر اشتباه، ایجاد صف، حرکت کند خودروها، اشیاء مزاحم در مسیر تونل و... قادر به تشخیص تمام حوادث عمده در کمترین زمان ممکن خواهد بود. این روش در کوتاهترین زمان ممکن به طور جدی می‌تواند به کاهش تاثیر حادثه و جلوگیری از حوادث ثانویه گردد. سیستم نظارت تصویری (CCTV) یکی از ابزارهای مهم سیستم خودکار تشخیص سوانح (AID) است.

با توجه به محدودیت ارتفاع برای تردد خودرو در طبقه پایینی تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، ورود خودروهای با ارتفاع غیر مجاز به تونل منجر به ایجاد خسارات فیزیکی و ترافیکی شده و ایمنی کاربران را تهدید می‌کنند، از این رو می‌بایست از ورود این خودروها به داخل تونل جلوگیری نمود. سیستم تشخیص ارتفاع غیرمجاز خودرو (Overheight Vehicle Detection System) باید خودروهای با ارتفاع بلندتر از حد مجاز قابل عبور از تونل را تشخیص داده و بلافاصله آلامی را به مرکز کنترل تونل ارسال کند. سیستم خودکار کنترل تونل باید علاوه بر اطلاع اپراتور، چراغ‌های خطر را در مسیر حرکت خودرو روشن کرده و تابلو پیام متغیر را برای اطلاع راننده نسبت به فرمان توقف خودرو فعال کند. همچنین سیستم خودکار کنترل باید دوربین‌های CCTV را روی خودرو با ارتفاع غیر مجاز زوم کند تا اپراتور به راحتی آنرا شناسایی نماید. حسگر سیستم تشخیص ارتفاع غیر مجاز باید براساس ارسال و سنجش بازتاب نور باشد و از دو واحد فرستنده-گیرنده دیود نوری مادون قرمز و یا نور قرمز و یا هر دو استفاده شود.

برای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی حسگرهای کنترل ترافیک از نوع القایی انتخاب توصیه شد. بر این اساس در دهانه‌های ورودی و خروجی تونل و برای هر یک از طبقات بطور مجزا نیاز به نصب این حسگر می‌باشد. استفاده از دوربین‌های کنترل ترافیک مجهز به سیستم پردازشگر تصویر ویدئو (VIP) جهت آشکارسازی حوادث در طول تونل انجام خواهد گرفت. این سیستم در فواصل ۵۰۰ متری در طول تونل و در قسمت سقف یا دیوارها نصب می‌شوند. لازم به ذکر است که برخی از دوربین‌های سیستم CCTV مجهز به سیستم پردازشگر تصویر ویدئو (VIP) می‌گردند و برای حسگرهای آشکارساز حوادث نیاز به دوربین خاصی نیست.

۶-۶- سایر سیستم‌های ارتباطی (تلفن اضطراری،

دگمه فشاری آلام، سیستم رادیویی، بلندگو،

تابلوهای متغیر خبری و چراغ‌های راهنمایی)

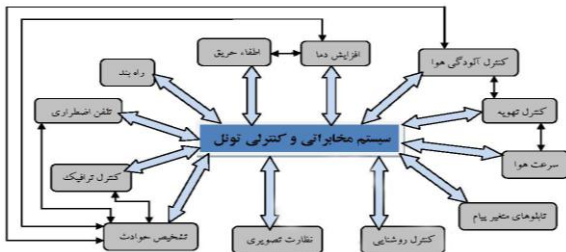
سیستم تلفن اضطراری یکی از مهمترین سیستم‌هایی است که برای ارتباط سریع و آسان کاربران تونل در مواقع خطر با اتاق کنترل تونل در طول تونل نصب می‌شوند. تجهیزات کنترل و مدیریت برای سیستم تلفن‌های اضطراری شامل یک اینترفیس Front End (FEI) می‌باشد، اپراتور از طریق کامپیوتر تلفن اضطراری می‌تواند سیستم را کنترل کند. سیستم اینترفیس FEI از طریق یک خط سریال RS-232 به مرکز کنترل وصل می‌شود. FEI بایستی دو پورت برای سیگنال‌های صوتی داشته باشد که یکی از آنها به یک میکروفن، برای استفاده اپراتور وصل می‌شود و دیگری به یک دستگاه ضبط صدا متصل می‌گردد. کابل‌های استفاده شده برای تلفن‌ها بایستی از نوع ۴ رشته‌ای مخصوص تلفن باشند. همچنین اینترفیس FEI دارای یک پورت خروجی می‌باشد که آن را به کامپیوترهای اضطراری متصل می‌کند. دگمه فشاری آلام نیز راه حل مناسب دیگر برای ارتباط با اپراتور تونل است. در صورت بکارگیری از تلفن اضطراری، دگمه‌های فشاری آلام را می‌توان در کنار آن نصب نمود.

در صورت استفاده از سیستم CCTV باید کنترل‌گر این سیستم، سیگنال خروجی دگمه‌های فشاری آلام در حوزه دید خود را نیز دریافت نماید تا بتواند دوربین را بطور خودکار روی آن زوم کرده و تصویر مربوطه را با اولویت بالا بر روی نمایشگر نشان دهد.

در دهانه و طول تونل در فواصل ۲۰۰ متر یک دستگاه تلفن اضطراری نصب می‌شود. این تلفن‌ها در سمت راست مسیر حرکت خودروها تعبیه می‌گردند. در دهانه ورودی و خروجی هر یک از تونل‌ها نیز یک دستگاه تلفن اضطراری نصب می‌گردد. در مجاورت هر تلفن اضطراری یک دگمه فشاری اعلام خطر نصب می‌شود. بطور معمول تلفن اضطراری و دگمه فشاری آلام دهنده درون یک جعبه هوا بند نصب می‌شود تا گردوغبار هوای تونل باعث خرابی تجهیزات نشود. در محل تمامی دسترسی‌ها شامل چاه‌های تهویه و نجات، چاه‌های نجات و دسترسی طبقات نیز تلفن اضطراری نصب می‌گردد. برای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی سیستم رادیویی با استفاده از کابل‌های هم محور متشعشع و یا به عبارت دیگر تغذیه‌کننده‌های نشستی که در طول تونل تعبیه می‌شوند، نصب شود. این سیستم کل تونل را پوشش می‌دهد. استفاده از بلندگو جهت اطلاع‌رسانی در موقعیت‌هایی از جمله چاه‌های نجات و دسترسی طبقات توصیه می‌شود. استفاده از تابلوهای پیام متغیر (VMS)، تابلوهای متغیر اعلام سرعت مجاز (Variable speed limit signs)، چراغ‌های راهنمایی ورودی تونل نشان‌دهنده باز و بسته بودن تونل، علائم کنترل خط عبوری (LANE CONTROL SYSTEM)، علائم قابل تغییر نشانگر سرعت مجاز و تابلوهای اطلاع‌رسانی خروجی‌های اضطراری الزامی می‌باشد. قبل از هر یک از دهانه‌های ورودی تونل‌ها از تابلوهای پیام متغیر (VMS) استفاده می‌شود. در هر یک از دهانه‌های ورودی تعداد دو تابلو پیام متغیر نصب می‌شود. چراغ‌های راهنمایی ورودی تونل نشان‌دهنده باز و بسته بودن تونل در هر یک

کنترل بر اجزا و دستگاه‌های نصب شده در تونل، اعمال استراتژی‌های مختلف برای کارکرد تجهیزات با توجه به شرایط (تهویه، روشنایی)، جست‌وجو و آشکارسازی حادثه، کنترل وضعیت باز و بسته بودن تونل از طریق اپراتور و نمایش وضعیت کلی تونل خلاصه کرد. شکل ۴ ارتباط بین تجهیزات و دستگاه‌های نصب شده در تونل با یکدیگر و با سیستم کنترل مرکزی را نشان می‌دهد.

سیستم‌های کنترل تونل معمولاً از چهار لایه ترتیبی تشکیل می‌شوند. پایین‌ترین لایه سیستم کنترل، لایه چهارم، شامل ابزارهای اندازه‌گیری، حسگرها، عملگرهای روشنایی و تهویه، کنترل‌کننده‌های ترافیکی، آشکارسازهای محیطی، سیستم‌های ارتباطی و غیره می‌باشد که در فضای داخلی و بخش‌های ورودی و خروجی تونل نصب شده‌اند. این لایه با استفاده از کابل‌ها و رابط‌های ورودی و خروجی دیجیتال و رابط‌های ورودی آنالوگ به لایه سوم سیستم کنترل متصل می‌شود. لایه سوم ایستگاه‌های کنترل از راه دور هستند. ایستگاه کنترل از راه دور به عنوان یک واسطه بین سنسورهای نصب شده در لایه چهارم سیستم و مرکز کنترل تونل می‌باشد. تعدادی از تجهیزات که به ایستگاه کنترل از راه دور متصل می‌شوند شامل تابلوی کنترل جت‌فن‌ها، تابلوی کنترل چراغ‌های روشنایی، سنسورهای دید و مونواکسیدکربن، سنسورهای اندازه‌گیری سرعت هوا، آشکارسازی حریق، چراغ‌های ترافیکی و تابلوهای هشداردهنده می‌باشند. وظایف ایستگاه کنترل از راه دور شامل ایجاد ارتباط بین مرکز کنترل تونل و تجهیزات نصب شده در تونل، ایجاد یک سطح کنترل ایمن در سطوح پایین‌تر، یعنی زمانی که مرکز کنترل از کار افتاده است، به هنگام در آوردن منظم حالت‌های تجهیزات و آلارم‌ها می‌باشند.



شکل ۱-۱۰ ارتباط بین تجهیزات تونل با یکدیگر و همچنین با سیستم کنترل مرکزی تونل

لایه دوم سیستم کنترل تونل، مرکز کنترل تونل می‌باشد. این قسمت مرکز کنترل کامپیوتری سیستم و نرم‌افزار مربوطه را جهت مدیریت تونل دربر می‌گیرد. این مرکز کنترل از راه دور ارتباط کامپیوتر مرکزی را با ایستگاه‌هایی که بایستی کنترل شوند برقرار می‌کند. مرکز کنترل از راه دور به وسیله یک خط اختصاصی به مرکز کنترل تونل متصل می‌شود. لایه دوم شامل رابط سیستم با اپراتور، ایستگاه‌های اپراتوری، سیستم صفحات نمایشگر تصویری بزرگ، مانیتورهای تلویزیون مداربسته و پردازنده مرکزی می‌باشد. لایه اول که بالاترین سطح کنترلی است مرکز کنترل جاده‌ای

از دهانه‌ها نصب می‌شود. علائم کنترل خط عبوری (LANE CONTROL SYSTEM) در طول تونل و در فاصله بین دو چاه تهویه یک عدد نصب می‌شود. علائم قابل تغییر نشانگر سرعت مجاز (Variable speed limit signs) در دهانه‌های ورودی و در طول تونل در حد فاصل بین دو شفت تهویه دو عدد (در هر ۵۰۰ متر یک عدد) نصب می‌شود. تابلوهای اطلاع‌رسانی خروجی‌های اضطراری در محدود تمامی خروجی‌های اضطراری شامل چاه‌های فرار و دسترسی طبقات نصب می‌شود.

## ۷- سیستم نظارت تصویری با دوربین مداربسته (CCTV)

هدف از استقرار سیستم نظارت تصویری (CCTV)، ایجاد پوشش کامل نظارت تصویری محدوده داخلی تونل و مسیرهای ورودی و خروجی آن است تا اپراتورهای مستقر در مرکز کنترل محلی به سرعت از ابعاد مختلف رویدادها و سوانح با خبر شده و بتوانند مناسب‌ترین اقدام را در ارتباط با این رویدادها در دستور کار خود قرار دهند. همه دوربین‌ها به یک ماتریس سوئیچینگ متصل شده و از آنجا از طریق یک تک خط تلفن ویژه به سرور دوربین مداربسته و مانیتورها وصل می‌شوند. معمولاً هر کدام از این سوئیچ‌ها قابلیت اتصال به ۸ دوربین را دارند. سوئیچ‌های ۸ تایی دارای ۱۶ ورودی و ۱۶ خروجی هستند. خروجی سوئیچ‌ها به مانیتورهای روی پانل اپراتور و سرور دوربین مداربسته متصل می‌شوند. یک خروجی دیگر نیز از سوئیچینگ ماتریس گفته شده به راک حاوی ماجول‌های پردازش تصویر انتقال می‌یابد این راک وظیفه آشکارسازی حوادث و تصادفات را داراست، بر روی هر کدام از این راک‌ها چند برد پردازش تصویر ویدئویی (VIP) نصب شده است.

از پارامترهای طراحی سیستم دوربین مداربسته می‌توان به استفاده از سیگنال‌های ویدئویی استاندارد، سنسورهای مورد استفاده در دوربین‌های با تکنولوژی‌های پردازش تصویر (استفاده از سنسورهای CCD به دلیل عمر زیاد آن، مصرف انرژی کم، کارکرد طولی خوب، نسوختن دوربین، حساسیت خوب و وابسته نبودن کار آنها به حرارت)، نیازمندی‌های اپتیکی، قاب دوربین‌ها و قرار دادن آنها درون محافظ بر اساس شرایط کاری، ثابت یا متحرک بودن دوربین، امکان نمایش چندین تصویر بطور همزمان توسط مالتی پلکسر (Multiplexer) یا (Digital Video Recorder) DVR و توانایی نرم افزار سیستم دوربین مداربسته اشاره کرد. با توجه به محدودیت ارتفاع در طبقه پائین تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، در این طبقه فواصل دوربین کمتر از ۷۰ متر و برای طبقه بالا فاصله دوربین‌ها ۱۰۰ متر توصیه می‌گردد.

## ۸- سیستم کنترل تونل

مشخصه اصلی سیستم کنترل تونل را می‌توان در قالب نظارت و

می‌باشد. این مرکز وظیفه نظارت و کنترل همزمان تونل‌های موجود در یک مسیر و جاده‌های منتهی به تونل‌ها را برعهده دارد.

## ۹- جمع بندی و نتیجه گیری

بر اساس آنچه ذکر گردید به منظور کنترل ایمنی تونل در دوره بهره‌برداری نیاز به بکارگیری تجهیزات اندازه‌گیری و نرم‌افزارهای پردازش اطلاعات می‌باشد. نقش نرم‌افزار تحلیل کننده اطلاعات ورودی به مراتب هم‌پایه تجهیزات کنترلی می‌باشد. نرم افزار جامع SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition System) به عنوان یک لایه کنترلی سطح بالا وظیفه نظارت بر کنترلرهای سطح پایین را داشته و همچنین اطلاعات سیستم را جهت استفاده اپراتور از طریق لایه اول فراهم می‌کند. به واقع SCADA بر روی کنترلرهای لایه پایین تر از خود نظارت می‌کند. در تمامی حالات بخش مرکزی سیستم SCADA مبتنی بر یک ساختار با قابلیت جایگزینی است به طوری که اگر بخشی از مدار دچار اشکال شود به سرعت جایگزین می‌گردد. از نقطه نظر فنی مرکز کنترل SCADA بایستی بر کارکرد سیستم‌های مختلف زیر و کنترلرهای آن‌ها نظارت داشته باشد:

- منابع تغذیه
- کنترلرهای تهویه
- کنترلر سطوح روشنایی
- سیستم‌های شنیداری و تلفن اضطراری (SOS)
- دوربین‌های مداربسته و آشکارساز حوادث ویدیویی
- آشکارسازهای ترافیکی
- واحد کنترل ترافیک
- سیستم اعلام حریق
- سیستم اطفاء حریق

## مراجع

- [۱] احتشامی، منصوره. علیزاده، حمیدرضا و همکاران؛ طرح مقدماتی سیستم مخابراتی وکنترلی تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، 1046 EN TC GRP 0281 B0 ، شرکت مهندسين مشاور هندسه پارس- سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران ، ۱۳۸۹ .

از مزایای کاربردی این تکنولوژی می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- افزایش دقت و کیفیت در بهره‌برداری ، کنترل مصرف انرژی، افزایش عمر تجهیزات صنعتی
- دریافت گزارشات لحظه‌ای از کلیه فعالیت‌های سیستم و همچنین سرعت عمل در تعمیر و نگهداری بلادرنگ
- جلوگیری از بروز خطاهای انسانی
- صرفه جویی در تامین، انتقال و توزیع منابع انرژی
- کمک به پیش‌بینی دقیق نیازها قبل از وقوع در تنگناها (مدیریت بحران)

سیستم پایش و کنترل SCADA باید سه سطح کنترلی زیر را ارائه دهد:

وضعیت خودکار: در این وضعیت سیستم کنترل بر اساس اطلاعات مربوط به پایش محیط و داده‌های ترافیکی تصمیم‌گیری می‌کند.

کنترل دستی از دور: در این وضعیت اجزا هر سیستم بطور دستی از اتاق کنترل فرمان می‌گیرند.

کنترل دستی محلی: در این وضعیت هر یک از زیرسیستم‌ها از محل قرارگیری سیستم مربوطه در تونل توسط تکنسین مربوطه و از طریق یک صفحه HMI(Human Machine Interface) فرمان می‌گیرد. این وضعیت هنگام تعمیر و نگهداری هر زیرسیستم و یا به هنگام از کار افتادن سیستم SCADA بکار گرفته می‌شود.

با توجه به تعداد زیاد سیستم‌ها و حجم بالای داده‌ها، باید نرم‌افزاری جامع و یکپارچه که توانایی برقراری ارتباط و ایجاد هماهنگی بین حسگرها و عملگرها و کلیه سیستم‌ها را داشته باشد، بکار برده شود.