

# کارگاه آشکارسازی وسیله نقلیه

جزوه شرکت کننده

نوشته

پروفسور دن میدلتون

مدیر برنامه

ریک پارکر

عضو تحقیق مهندسی

با همکاری

پروفسور توماس اربانیک - مدیر آژانس آسوشیت

پروفسور بورلی کان - مدیریت بخش

پرفسور کوین بالک - مدیر مرکز ترانس لینک

دبی یاسک - متخصص تحقیقات مشاوره ای

انستیتو حمل و نقل تگزاس

سیستم دانشگاه A&M تگزاس

ایستگاه کالج ، تگزاس ۳۱۳۵ - ۷۷۸۴۳

# کارگاه آشکارسازی وسیله نقلیه

تهیه و ترجمه: بزازان، دفتر فن آوری اطلاعات

## رفع مسئولیت

مرکز تحقیقات عالی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند دانشگاه A&M تگزاس (ITS RCE) بخشی از راه‌اندازی این کارگاه را حمایت کرده است. شرکای سرمایه‌گذار ITS RCE عبارتند از: مدیریت بزرگراه‌های فدرال، بخش حمل و نقل تگزاس، مسئولان ترانزیت شهری بخش هریس در تگزاس، مسئولان ترانزیت منطقه‌ای کورپوس کریستی در دالاس، ترانزیت سریع ناحیه‌ای و انستیتو حمل و نقل تگزاس (TTI). شرکای سرمایه‌گذار مسئولیت حقوقی در مورد محتوای این جزوه یا استفاده آن را نمی‌پذیرند. این کارگاه با همکاری بخش تگزاس انستیتو مهندسان حمل و نقل تگزاس بر پا شده است.

## تشکر و قدردانی

توافق همکاریانه مدیریت بزرگراه‌های فدرال و انستیتو حمل و نقل تگزاس و دانشگاه A&M تگزاس پشتیبان ایجاد این کارگاه بوده است و بخش حمل و نقل تگزاس نیز از دیگر پشتیبانان محسوب می‌شود.

## فهرست مطالب

۲	..... رفع مسئولیت
۳	..... تشکر و قدردانی
۴	..... فهرست مطالب
۷	..... فهرست شکل‌ها و جدول‌ها
۹	..... فصل ۱ : شرح اجمالی کارگاه
۹	..... ۰ - ۱ معرفی
۹	..... ۱-۱ هدف
۹	..... ۲-۱ محتوا
۱۱	..... ۳-۱ گردش میدانی محل آزمون
۱۳	..... فصل ۲ : چهارچوبی برای ارزیابی آشکارگرها
۱۳	..... ۰ - ۲ معرفی
۱۳	..... ۱-۲ سابقه کار
۱۳	..... ۱-۱-۲ تحقیق گاید استار مینه سوتا
۱۴	..... ۲-۱-۲ تحقیق شرکت هواپیماسازی هیوز
۱۴	..... ۳-۱-۲ تحقیق JPL
۱۵	..... ۲-۲ نیازهای آشکارسازی در بزرگراهها
۱۵	..... ۳-۲ نیازهای آشکارسازی در تقاطعها
۱۶	..... ۴-۲ چرا ارزیابی آشکارگر لازم است؟
۱۶	..... ۵-۲ چهارچوب ارزیابی آشکارگر
۱۶	..... ۱-۵-۲ معیار ارزیابی
۱۸	..... فصل ۳ : مقایسه فن‌آوری‌ها
۱۸	..... ۰ - ۳ معرفی
۱۹	..... ۱-۳ حلقه‌های القایی
۲۰	..... ۱-۱-۳ حلقه‌های اره بریده استاندارد
۲۱	..... ۲-۱-۳ حلقه‌های اجرا شده
۲۲	..... ۲-۳ آشکارگرهای صوتی

۲۲	..... آشکارگر اسمارت سونیک	۱-۲-۳
۲۴	..... آشکارگر SAS-I اسمارتک	۲-۲-۳
۲۶	..... آشکارگرهای مادون قرمز فعال	۳-۳
۲۶	..... شوارتز الکترواپتیک (SEO)	۱-۳-۳
۲۷	..... آشکارگرهای مادون قرمز غیرفعال	۴-۳
۲۷	..... آشکارگر مادون قرمز غیرفعال زمینس	۱-۴-۳
۲۸	..... آشکارگرهای مغناطیسی	۵-۳
۲۸	..... ریز حلقه‌های M۳	۱-۵-۳
۳۲	..... آشکارگرهای پیزوالکترونیک	۶-۳
۳۲	..... شرکت Measurement Specialties (MSI)	۱-۶-۳
۳۳	..... آشکارگرهای راداری	۷-۳
۳۳	..... آشکارگر آکیوویو	۱-۷-۳
۳۴	..... آشکارگرهای RTMS	۲-۷-۳
۳۵	..... آشکارگر راداری ولن	۳-۷-۳
۳۶	..... آشکارگرهای تصویر ویدئویی	۸-۳
۳۶	..... اتواسکوپ ۲۰۰۴	۱-۸-۳
۳۷	..... ترافیک ویزن نستور	۲-۸-۳
۳۸	..... ویدئو ترک ۹۰۰	۳-۸-۳
۴۱	..... یافته عمومی مربوط به VID	۴-۸-۳
۴۱	..... خلاصه یافته‌های آشکارگرها	۹-۳

#### فصل ۴: تجارب حلقه‌های القائی..... ۴۳

۴۳	..... معرفی	۰-۴
۴۳	..... تجربه‌ها	۱-۴
۴۳	..... بخش پاریس	۱-۱-۴
۴۵	..... بخش لافکین	۲-۱-۴
۴۵	..... شهر آریلینگتون	۳-۱-۴
۴۶	..... دیگر ایالات	۴-۱-۴
۴۷	..... پیشرفت‌هایی در فن آوری حلقه	۲-۴
۴۸	..... IVS-2000	۱-۲-۴
۴۸	..... حلقه هوشمند پیک ایدریس (Peek Idris)	۲-۲-۴

#### فصل ۵: خلاصه و نتیجه..... ۴۹

۴۹	..... مقدمه	۰-۵
----	-------------	-----

٤٩	١-٥ خلاصه.....
٤٩	١-١-٥ ملاحظات دقت و هزینه .....
٥٢	٢-١-٥ سهولت نصب و تنظیم.....
٥٢	٣-١-٥ دیگر ملاحظات .....
٥٣	٢-٥ نتایج.....
٥٤	مراجع.....

## فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

- شکل ۱-۱ رئوس کارگاه ..... ۱۰
- شکل ۲-۱ بستر آزمون SH 6 در ایستگاه کالج ..... ۱۱
- شکل ۱-۳ تیرک و قفسه‌های محل آزمون TTI ..... ۱۸
- شکل ۲-۳ طرح محل آزمایش ..... ۱۹
- شکل ۳-۳ SAS-1 نصب شده روی بازوی تیرک ..... ۲۴
- جدول ۱-۳ نرخ خطای شمارش SAS-1 بر SH6 در شرایط آب و هوایی خشک ..... ۲۴
- جدول ۲-۳ نرخ خطای شمارش SAS-1 بر SH6 در شرایط آب و هوایی مرطوب ..... ۲۵
- شکل ۴-۳ هیستوگرام سرعت SAS-1 در مقایسه با RTMS ..... ۲۵
- شکل ۵-۳ ریزحلقه‌های زیر SH6 ..... ۲۹
- شکل ۶-۳ کانال نصب ریزحلقه‌های M۳ ..... ۲۹
- شکل ۷-۳ محل نصب ریزحلقه زیر پل ۶۰FM ..... ۳۰
- جدول ۳-۳ میزان خطای شمارش ریزحلقه در SH6 ..... ۳۰
- جدول ۵-۳ میزان خطای شمارش ریزحلقه در پل FM60 ..... ۳۰
- شکل ۸-۳ هیستوگرام سرعت ریز حلقه در مقایسه با رادار RTMS ..... ۳۱
- جدول ۵-۳ توزیع خطای RTMS ..... ۳۴
- جدول ۶-۳ توزیع خطای RTMS ..... ۳۶
- جدول ۶-۳ توزیع خطای ترافیک ویژن نستور در SH6 ..... ۳۸
- شکل ۹-۳ نصب دوربین پیک در ۴۰ فوتی بالای جاده ..... ۳۹
- جدول ۸-۳ میزان خطای شمارش ویدئوترک در روز بر SH6 در آب و هوای خشک ..... ۳۹
- جدول ۹-۳ میزان خطای شمارش ویدئوترک در روز بر SH6 در آب و هوای مرطوب ..... ۳۹

- شکل ۳-۱۰ هیستوگرام سرعت ویدئوترک در مقایسه با RTMS..... ۴۰
- جدول ۵-۱ ارزیابی کمی آشکارگرها در بزرگ راهها ۶ خطه..... ۵۱
- جدول ۵-۲ راهنمای کاربردی برای انتخاب آشکارگر در بزرگ راه..... ۵۲



## فصل ۱ : شرح اجمالی کارگاه

### ۱ - معرفی

نیازهای مدیریت ترافیک آینده و جمع‌آوری داده‌ها به وسیله آشکارگرهای مختلف شامل حلقه‌های القایی برآورده می‌شود. دو مشکل اصلی در سیستم‌های حلقه باید بیان شود. اول نسبت بالای خطا در بعضی حالات و دیگری این که مناسب‌ترین آشکارگرها براساس شرایط محل استفاده نیستند مثلاً در شرایطی که آسفالت مطلوب نیست یا آشکارگر در مسیر خط‌آهن است، استفاده از آشکارگر حلقه القایی مناسب نیست. اگر چه نیاز به جایگزینی حلقه وجود دارد، بعضی شرکت‌ها مایل نیستند ریسک استفاده از آشکارگرهای جدید را که کاملاً تأیید نشده‌اند، بپذیرند. هدف این کارگاه انستیتو حمل و نقل تگزاس فراهم کردن اطلاعات در مورد آشکارگرهای انتخاب شده‌ای است که اصولاً براساس آزمایش‌های تمام میدانی جمع‌آوری شده‌اند.

به علت تراکم ترافیک بزرگراه‌های شهری و تقاطع‌های مجهز به علائم راهنمایی سیستم‌های آشکارگر خارج از جاده امتیاز برجسته‌تری دارند، جایی که نمی‌توان برای نصب یا نگهداری آشکارگرها در داخل آسفالت ترافیک را بر هم زد. آشکارگرهای جدید اساساً زمان تأخیر در ترافیک را کاهش می‌دهند و همچنین در مصرف سوخت مازادی که صرف عملیات نصب و نگهداری آشکارگرهای حلقه القایی می‌شود صرفه‌جویی می‌شود. در هر حال، تکامل و سادگی نسبی سیستم‌های حلقه القایی و عدم تشابه با سیستم‌های جدید از عواملی است که شرکت‌ها را به ادامه استفاده از حلقه القایی ترغیب می‌کند.

باید توجه داشت که نیازهای آشکارسازی در تقاطع‌ها و بزرگراه‌ها از جهاتی به هم شبیه‌اند اما از جهاتی متفاوت با هم هستند، یک شباهت نیاز به تعیین **حضور** وسیله‌نقلیه است. در ابتدای‌ترین سطح، آشکارگر باید به دقت یک سیستم زمینی حقیقی عبور وسیله را شناسایی کند. تفاوتی که هم‌اکنون وجود دارد نیاز تعیین سرعت وسیله در بزرگراه‌ها است که در تقاطع‌ها نیاز نمی‌باشد.

### ۱-۱ هدف

هدف این کارگاه به اشتراک گذاشتن یافته‌های آشکارگرهای مورد آزمایش TTI و نتایج فعالیت مربوط به آن است. نمایشها و بحثهایی درباره انجام خوب یا بد آزمایشها به منظور کمک به کاهش مشکلاتی که آشکارگرهای مختلف دارند نیز انجام خواهد شد.

### ۱-۲ محتوا

شکل ۱-۱ رؤس عمومی کارگاه را نمایش می‌دهد. کارگاه تقریباً در ۴ ساعت خاتمه می‌یابد، که شامل زمان بازدیدها و استراحت می‌شود. شکل این کارگاه غیر رسمی بوده و گروهها برای ترغیب به شرکت در آن کوچک انتخاب شده‌اند.

کارگاه آشنکارسازی وسیله نقلیه

۲۲ ژوئن ۲۰۰۰

جلسه ۱ : شرح اجمالی کارگاه

الف \_ هدف

ب \_ قالب و محتوا

پ \_ گردش میدانی محل آزمون

جلسه ۲ : چهارچوبهای ارزیابی آشنکارگر

الف \_ نیازهای آشنکارسازی در بزرگراهها

ب \_ نیازهای آشنکارسازی در تقاطعها

پ \_ چه چیز اندازه گیری می شود : بزرگراه در برابر تقاطع

ت \_ چرا ارزیابی آشنکارگر لازم است.

ث \_ معیارهای ارزیابی، دقت. هزینه دوره زندگی، سهولت راه اندازی و نگهداری

ج \_ نیازمندیهای دقت (شرایط سایت، چه چیز و چگونه اندازه گیری شود)

چ \_ هزینه دوره زندگی (شامل دوام)

ح \_ نیازمندیهای سهولت راه اندازی و نگهداری

خ \_ ارزیابی درازمدت در برابر کوتاه مدت

جلسه ۳ : مقایسه فن آوریها

الف \_ حلقه های القایی: استاندارد و اجرایی

ب \_ صوتی (غیرفعال): اسمارت سونیک و اسمارتک

پ \_ مادون قرمز (فعال): شوارتز الکترواپتیک

ت \_ مادون قرمز (غیرفعال): PIR-1 زیمنس

ث \_ مغناطیسی (غیرفعال): ریز حلقه 3M

ج \_ حسگرهای پیزوالکتریک: موسسه تحقیق اندازه گیری

چ \_ رادار: PTMS، ولن، آکیووویو

ح \_ آشنکارگر سازی تصاویر ویدیویی: اتواسکوپ ۲۰۰۴، ترافیک ویژن نستور، VT-900 پیک

جلسه ۴ : درسهایی از حلقه های القایی

الف \_ پیچیدگی طرز کار آنها

ب \_ اهمیت مشخصات کافی

پ \_ نیازمندیهای نصب

ت \_ چه وقت از حلقه استفاده نشود.

جلسه ۵ : اختتام

الف \_ خلاصه

ب \_ پیشنهادهای خاص

شکل ۱-۱ رؤس کارگاه

## ۱-۳ گردش میدانی محل آزمون

گردش میدانی برای جمعه ۲۳ ژوئن ساعت ۹ برنامه‌ریزی شده است. توقف اولیه در محل آزمون بزرگراه TTI بر S.H.6 در ایستگاه کالج است. هدف از توقف نشان دادن محل آزمون و آشکارگرهای که در آنجا کار می‌کنند به شرکت‌کنندگان است. در زیر بعضی دستگاههایی هم‌اکنون در سایت کار می‌کند ذکر می‌شود: ثبت‌کننده خودکار دیتا مدل ADR-3000 پیک، آشکارگرهای تصویر ویدیو (VID) مدل ویدئوترک ۹۰۰ پیک، اتواسکوپ ۲۰۰۴ و ترافیک ویژن نستور، حسگر موج کوتاه ترافیک از راه دور (RTMS)، آشکارگر صوتی SAS-1 از اسمارتک، اتوسنس II از شرکت شوارتز اپتیک الکترو، دو کامپیوتر صنعتی و دوربین محافظ شکل ۲-۱ سایت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ بستر آزمون SH 6 در ایستگاه کالج

بزرگراه SH6 سه نوع حسگر زیر سطح آسفالت دارد: حلقه‌های القایی (هم استاندارد هم اجرایی)، ریز حلقه و حسگر پیزوالکتریک دو حسگر پیزوالکتریک در خط راست برای طبقه‌بندی و یا مطالعات وزن در حال حرکت تعبیه شده است. سیستم پروبهای ریزحلقه که برای بررسی در خط عبور S.H.6 تعبیه شده نیاز به سوراخ کردن دو قطعه کانال ۱۸ اینچی افقی و عمومی در زیر سطح راه دارد. یک دیرک ۴۰ فوتی با دو بازو، دو دوربین نظارت بر ترافیک، ۲ آشکارگر صوتی و یک آشکارگر راداری موج کوتاه را تحمل می‌کند. بقیه وسایل در محوطه‌ای فنس کشی شده شامل سه کابینت بزرگ وسایل و ایستگاه هواشناسی است.

دو سیستم آشکارگر بر روی رو گذر FM60 ترافیک بالا و پایین پل را نظارت می کنند. یک آشکارگر مادون قرمز فعال بر روی پل خط عبور راست و به سمت جنوب SH6 را نظارت می کند و چهار پروب ریز حلقه که زیر پل دسترسی دانشگاه قرار داده شده سه خط عبوری روی پل را نظارت می کند. کابل‌هایی تمام آشکارگرها و خروجیهای دوربین‌های ویدیویی به سه کابینت کنترل ترافیک وصل می کند. ایستگاه هواشناسی CRIAX از موسسه تحقیقاتی کمپیل در نزدیکی کابینتها وضعیت هوا را در زمان آزمون آشکارگرها نظارت می کند.

## فصل ۲: چهارچوبی برای ارزیابی آشکارگرها

### ۲-۰ معرفی

لازم است تفاوت‌های محیط‌های عملیاتی که آشکارگرها قرار است در آن محیط کار کنند ذکر شود. دو محیط آشکارسازی پایه بزرگراه‌ها و تقاطع‌ها هستند. اغلب تحقیقات TTI بر روی بزرگراه‌ها بوده است و بیشتر ارزیابی آشکارگرها می‌بایست بر بزرگراه‌ها صورت گیرد. آزمایش‌های طولانی مدت در شرایط آب و هوایی متفاوت به جمع‌آوری اطلاعات قابل حصول کمک می‌کند.

محیط بزرگراه‌ها با نویز فراوان محیط سختی است که نیاز به فیلتر کردن آن است تا بتوان اطلاعات مورد نظر را دریافت کرده بیشتر آشکارگرهایی که در محیط‌های غیر بزرگراهی خوب عمل می‌کند لزوماً در شرایط بزرگراهی و یا تقاطع عملکرد خوبی ندارند. جامعه حمل و نقل نباید از این که فن‌آوریهای جدید بلافاصله بهتر از حلقه‌های القایی عمل نمی‌کنند متعجب شود چون حلقه‌ها ۲۰ سال است که مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۲-۱ سابقه کار

تحقیقات آشکارگر در TTI (۱ و ۲) آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی را که ابتداً در برنامه گایدستار مینه سوتا و مطالعات شرکت هوایمایی هیوز انجام شده بود دنبال می‌کرد. فن‌آوریهای اولیه آشکارسازی که در آن برنامه‌ها آزمایش شد عبارت بود از: سیستم‌های آشکارسازی با تصاویر ویدیویی (VIDS)، مادون قرمز، مادون قرمز فعال، مغناطیس غیرفعال، رادار، پدیده دوپلر در امواج میکروویو. آکوستیک غیرفعال و حلقه‌های القایی. فن‌آوریهای آشکارسازی که ذیلاً بحث می‌شود اساساً خارجی [بدون دخالت درون سیستم] هستند اگر چه حلقه‌های القایی نیز بحث شده است. علت بررسی حلقه‌های القایی ممتاز بودن سیستم آن و استفاده آنها در تگزاس و دیگر نقاط است.

### ۲-۱-۱ تحقیق گاید استار مینه سوتا

دپارتمان حمل و نقل مینه‌سوتا و مشاوران SRF تحقیقات دو ساله‌ای را اخیراً پایان دادند که به بررسی فن‌آوری‌های آشکارگرهای خارجی می‌پرداخت و تحت حمایت گایدستار مینه سوتا انجام شد. هدف اصلی این آزمایش که ابتدا توسط مدیریت بزرگراه‌های فدرال شروع شد این بود که روش‌های ارزیابی سودمندی برای فن‌آوریهای آشکارسازی خارجی تحت شرایط مختلف تهیه کند محققان ۱۷ دستگاه از هشت فن‌آوری مختلف را همراه با VIDS آزمودند. سایت آزمایش تقاطع بزرگراهی شهری در مینه سوتا بود که هم دارای تقاطع با چراغ راهنمایی بوده است و هم شرایط خط عبوری اصلی یک بزرگراه را داشته است. آزمون دو مرحله‌ای بود، مرحله اول از نوامبر ۱۹۹۵ تا ژانویه ۱۹۹۶ و مرحله دوم از فوریه ۱۹۹۶ تا ژانویه ۱۹۹۷ به طول انجامید. (۳ و ۴ و ۵).

محققان چهار سیستم VIDS را آزمودند سه تا از آنها که در این جزوه آورده شده است عبارتند از: ترانسیت ویدئوترک ۹۰۰، سیستم حس تصویری اتواسکوپ ۲۰۰۴، و الیوپ ترافیکو ۲۰۰۰ EVA. مهمترین یافته این تحقیق این بود که بر پا کردن دستگاههای آشکارساز ویدیویی روال پیچیده‌تری نسبت به دیگر انواع دستگاهها

دارد. محل نصب دوربین در موفقیت و کارایی بهینه دستگاه اهمیت فراوان دارد. تغییر در نور از مهمترین شرایط آب و هوایی است که بر دستگاه ویدیو تاثیر دارد. سایه وسایل نقلیه و دیگر سایه‌ها و شب و روز شدن نیز دقت شمارش اثر دارد. (۵)

ترانسیت ویدئوترک ۹۰۰ دقت شمارش در حوزه ۵ درصد خط مینا در آزمون بزرگراه از خود نشان داد. زمانی که دستگاه به تقاطع منتقل شد خطاها به صورت دوره‌ای اتفاق افتاد و تا انتهای آزمون ادامه یافت. محققان دریافتند که در زمان انتقال روشنایی از روز به شب و بالعکس شمارش بیش از اندازه انجام می‌شود. اتواسکوپ ۲۰۰۴ مانند ویدئوترک ۹۰۰ از ۴ دوربین ورودی می‌گرفت و دقت حدود ۵ درصد در بزرگراه و تقاطع نشان داد. تغییر روشنایی در اتواسکوپ باعث شمارش کمتر از اندازه می‌شد. (۵)

محققان دریافتند سیستم آشکارسازی الیوپ ترافیکو ۲۰۰۰ EVA دقت بالایی در شمارش در بزرگراه‌ها دارد در حوزه ۱ درصد از خط مینا. تنظیم این سیستم به علت داشتن واسط کاربری پیچیده مشکل بود با این وجود سیستم تاثیر ناسازگاری در مقابل تغییرات آب و هوایی نمی‌پذیرفت و تنها سیستمی بود که تغییر روشنایی بر آن اثر نمی‌گذاشت. EVA ۲۰۰۰ در تقاطع آزموده نشد چون برای استفاده در این شرایط پیشنهاد نشده بود. (۵)

## ۲-۱-۲ تحقیق شرکت هواپیماسازی هیوز

شرکت هواپیماسازی هیوز آزمایش گسترده‌ای برای مدیریت بزرگراه‌های فدرال (FHWA) بر روی حسگرهای خارجی انجام داد. هدف این مطالعات تکنولوژی آشکارسازی IVHS به اضافه تعیین پارامترهای ترافیک و مشخصه‌های دقت بود انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و میدانی فن‌آوری‌های آشکارگرهای خارجی و تعیین نیازها و امکان‌سنجی برپایی آزمون‌های با آشکارگرهای ثابت از اهداف دیگر این تحقیق بود. آزمون‌ها بر روی سطوح خیابانها و بزرگراهها صورت گرفت. به منظور گوناگونی آب و هوایی محل آزمون، مکانهایی در میناپولیس، اورلاندو و تاکسون انتخاب شد. محققان قضاوتها و بررسی‌های کیفی و کمی را به منظور رسیدن به بهترین کارایی برای پارامترهای ترافیکی مختلف صورت دادند. محققان دریافتند که VIDS مرئی در میان بقیه در شمارش حجم کم و زیاد ترافیک خوب کار می‌کند و VIDS در شرایط آب و هوایی شدید کارایی خوبی ندارد.

## ۳-۱-۲ تحقیق JPL

در مطالعات دیگری که با حمایت FHWA انجام شد آزمایشگاه پیشران جت (JPL) تحقیقی را برای تعیین نیازهای فنی و عملیاتی نظارت ترافیکی و سیستم‌های آشکارسازی در محیط‌های سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS) انجام داد. گزارشی با عنوان (نظارت ترافیک و توسعه فن‌آوری آشکارسازی، توسعه حسگر، گزارش نهایی (۷)) جزئیات توانایی‌های اجرایی و عملیاتی هفت سیستم آشکارسازی را ارائه کرد. JPL بر سیستم‌های آشکارسازی لیزری، راداری و VIDS متمرکز شد و کار هیوز (۶ و ۸) را به جهت ارزیابی توانمندیهای فن‌آوری بهبود بخشید.

گزارش JPL نتایج به دست آمده از هفت سیستم است که حاصل جمع‌بندی فاز اول برنامه می‌باشد. گزارش JPL بیان می‌کند نشانه‌های از پیشرفتهای بارزی درباره اندازه‌گیری مستقیم پارامترهای لازم مورد نیاز استراتژیهای مدیریت ترافیک پیشرفته دیده می‌شود. گزارش پیش‌بینی می‌کند که بهبود فن‌آوریها ادامه خواهد

یافت ولی تذکر می‌دهد که نتایج فقط یک تصویر از سیستم خاصی را در اختیار می‌گذارد. آزمون جاده‌ای سیستم‌های انتخاب شده برای فاز دوم برنامه در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲ نیازهای آشکارسازی در بزرگراهها

آشکارگر بزرگراهی خوب باید قادر به شناسایی وسیله در حال حرکت یا متوقف در تحت تمام شرایط آب و هوایی و روشنایی باشد. معمولاً اندازه‌گیری مطلوب را سرعت وسیله، تعداد وسیله و حضور وسیله تشکیل می‌دهند. آشکارگرهای خارجی معمولاً نسبت به حلقه القایی مقرون به صرفه‌تر اند چون که هزینه بستن یک خط عبور برای نصب یا نگهداری حلقه را ندارند. در انتخاب آشکارگرها باید دقت شود چون بعضی در سرعت‌های خیلی کم و یا حالت‌های توقف و حرکت داده‌های دقیقی تولید نمی‌کنند. بعضی آشکارگرها در شمارش وسیله‌ها دقیق‌اند اما در تعیین سرعت دقت کافی ندارد و یا برعکس.

بخش حمل و نقل تگزاس در کاربردهای بزرگراهی‌اش می‌خواهد و یا لازم دارد که یک واحد کنترل محلی (LCU) به سیستم آشکارگر اضافه شود LCU یک ابزار الکترونیکی برای مدیریت ترافیک بزرگراههاست، واحد کنترل محلی داده‌ها را همزمان از چندین آشکارگر دریافت می‌کند. این واحد خروجی‌های تقویت‌کننده حلقه القایی را برای برآورد حجم ترافیک، محاسبه سرعت متوسط (با زوج حلقه القایی)، تراکم، حضور و سطح سرویس‌دهی در بازه‌های زمانی یک دقیقه‌ای دریافت میکند، LUC در سایت داخل کابینت قرار می‌گیرد و برای کنترل تعداد وسایل خروجی جاده دسترسی و یا علائم کنترلی خط عبور اصلی مورد استفاده قرار گیرد. LUC می‌تواند به صورت محلی نظارت، تنظیم شود ولی معمولاً از راه دور و توسط مرکز کنترل ترافیک به کمک یک نوع مودم تنظیم و نظارت انجام می‌شود.

## ۳-۲ نیازهای آشکارسازی در تقاطعها

یک آشکارگر در تقاطع باید فاصل کنترل‌کننده ترافیک باشد و بتواند تشخیص دهد یک وسیله در هر شرایط آب و هوایی و روشنایی در حال حرکت است یا متوقف آشکارگر باید مقرون به صرفه باشد. معمولاً اندازه‌گیری مطلوب این نوع آشکارگر حضور وسیله است. در سناریوی فعلی بخش حمل و نقل تگزاس، آشکارگرها در تمام خطوط عبوری و ۲ یا ۳ تا در یک خط لازم است (بسته به سرعت طرح و شرایط خاص محل). تمام خروجیها نیز باید تحت پوشش باشند. باید توجه داشت که نیازهای آشکارسازی در تقاطعها با انواع مختلف آشکارگرها تامین می‌شود اما استفاده از فقط یک آشکارگر واضح است که مطلوب‌تر است در این بحث فرض شده است که یک آشکارگر استفاده می‌گردد مسئله مهم در تقاطع اجتناب از حوزه بلا تکلیفی است. خصوصاً زمانی که یک وسیله‌نقلیه با سرعت زیاد به تقاطع نزدیک می‌شود دقت بیشتری در آشکارسازی آن چند صد فوت قبل از تقاطع باید صورت گیرد. استانداردهای بعضی آژانسها نیاز به آشکارگرهای عقبی (Set-Back) را (به‌اضافه آشکارگرهای تعیین حضور در پشت خط ایست) برای اجتناب از حوزه بلا تکلیفی اعلام می‌کنند. بعضی نتایج آشکارگرهای تصویر ویدیوی را در تقاطعهای دارای چراغ راهنمایی را انتخاب کرده است و در بعضی موارد VIDS می‌تواند انتخاب مناسب باشد. در سرعت پایین که آشکارسازی خیلی دور از خط ایست لازم نیست VIDS پوشش مناسبی ایجاد می‌کند. هر دوربین VIDS امکان جانشینی چند حلقه القایی را دارد. با این حال، عمل استقرار دوربین به طوری که فاصله مناسب از تقاطع را پوشش دهد همیشه در اختیار نباشد. اضافه کردن دیرک‌هایی برای

رسیدن به ارتفاع بیشتر یا نقطه مناسب می‌تواند هزینه‌های نگهداری آن قدر افزایش دهد که VIDS بیش از حد گران تمام شود.

## ۲-۴ چرا ارزیابی آشکارگر لازم است؟

در محیط تگزاس آزمایشهای کوتاه‌مدت و بلندمدت لازم است. ترکیبهای مختلف عوامل محیطی باید در دستور آزمایشها گنجانده می‌شود. در سراسر ایالت تگزاس و از تابستان تا زمستان عواملی وجود دارد که در آزمایشها باید لحاظ گردد. این عوامل عبارتند از: گرما، رطوبت، نسیم دریایی، باد، باران و برف. بنابر این حالت مناسبی باید در طراحی بستر آزمونها با شرایط کارایی ایجاد کرد که حسگرهای مختلف در زمانهای کوتاه و بلند سنجیده شود تا انجام آزمونهای تکراری کاهش یابد.

متأسفانه، آژانسهای کمی منابع مناسب آزمون آشکارگرها را در اختیار دارند. آنچه اغلب رخ می‌دهد این است که فروشنده با نصب آشکارگر برای یک نمایش کوتاه‌مدت موافقت می‌کند و یا یک آژانس یک یا دو آشکارگر را برای آزمونی کوتاه خریداری می‌کند. در هر حالت، نتایج به نفع یا به ضرر آشکارگر مورد مطالعه گمراه کننده است:

## ۲-۵ چهارچوب ارزیابی آشکارگر

این بخش موارد لازم برای انجام آزمون آشکارگر را شامل می‌شود. همچنین شامل شرایط ارزیابی مورد استفاده TTI می‌باشد. اگر کنترل‌های مناسب قبل و حین آزمون صورت گیرد نتایج گمراه کننده نخواهد بود.

### ۲-۵-۱ معیار ارزیابی

معیار اولیه بررسی هر آشکارگر سهولت راه‌اندازی و تنظیم آن، هزینه و دقت در آشکارسازی تعداد و سرعت است. برای آزمون دقت شمارش در ایستگاه کالج TTI، مبنای مقایسه صحت تمام سیستم‌های آزمون شده در SH6 استفاده از حلقه القایی و یک سیستم طبقه‌بندی بوده است. با این حال، TTI از شمارش دستی برای مبنای صحت ریز حلقه‌های 3M در زیر پل FM60 استفاده کرد فقط به این دلیل که سیستم قابل اعتمادی برای این حالت در دسترس نبود. دقت شمارش بر پایه حسگر میکروویو ترافیکی از راه دور (RTMS) در خط مبنای متوسط یک دقیقه انتخاب شد. در مقایسه هزینه، هزینه دوره زندگی مطلوبترین معیار است (به‌جای فقط هزینه اولیه) اما پیدا کردن بهترین داده‌های دقیق و موجود برای مقایسه مشکل می‌باشد. بنابر این بعضی اوقات فقط هزینه‌های اولیه تجهیزات و نصب مورد استفاده قرار گرفته است. سهولت نصب و تنظیم مبتنی بر سه چیز است:

۱ \_ مستندات همراه هر واحد

۲ \_ پشتیبانی فنی از طرف فروشنده

۳ \_ درک سیستم توسط نصب‌کنندگان

درباره ملاحظات هزینه دوره زندگی، تعیین هزینه اولیه، زمان متوسط بین دو خرابی (MTBF)، زمان زندگی سیستم و هزینه جایگزینی، هزینه‌های کنترل ترافیک، نرخ بازگشت سرمایه و ارزش اسقاطی سیستم لازم



است. عواملی چند اطمینان به اطلاعات هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و تمام آنها باید مورد توجه قرار گیرد. اغلب آنها در ناحیه‌های کشور اندکی تفاوت می‌کند و هزینه‌ها در محیط شهری با خارج شهری متفاوت باشد. همچنین هزینه اولیه هر واحد براساس تعداد خرید اولیه متفاوت است با خرید تعداد بیشتر هزینه کمتری برای هر واحد پرداخت می‌شود با این حال باید تاکید شود که این تفاوتها مانع استفاده از عامل هزینه به‌عنوان یک عامل تصمیم‌سازی نمی‌شود. در کمترین توجه، آژانس می‌تواند هزینه‌ها را به‌صورت حداقل و حداکثر برای هر آشکارگر اعلام کند. مسلماً نرخ بازگشت ثابت است اگر فرض کنیم دیگر عاملها مثل زمان خرید برای همه مساوی است. با این حال عوامل دیگر مثل MTBF برای آشکارگرهای مختلف متفاوت است. هزینه نصب برای دستگاههای با مشکلات مشابه یکسان است. برآورد هزینه نصب واقعی برای دو یا سه آشکارگر دقیق نخواهد بود ولی این رویه به انتخاب صحیح می‌انجامد.

اطلاعات دقت دستگاهها که توسط آژانسهای استفاده‌کننده ارائه می‌شود از اطلاعات فروشندگان بیشتر مورد اعتماد است فروشندگان ترجیح می‌دهند اطلاعات مقایسه اعلام کنند تا تصمیم‌گیری فقط بر پایه اطلاعات دستگاه فروشنده صورت نگیرد. حتی اگر آژانسهای مختلفی باشد اغلب آنها هزینه‌های آشکارگرها را کاملاً بررسی کرده‌اند و یا به هزینه مستند سازی تاکید نداشته‌اند. بنابر این، آژانسهایی که هزینه‌ها آشکارگرها و لوازم آنها را به‌طور دقیق دارند نادر اند و یا اگر هستند به جزئیات نیست و یا برای یک دوره طولانی بررسی نشده است، حتی تمام این عوامل نباید باعث شود تا از مقایسه هزینه‌ها مایوس شویم. اینها می‌تواند وزنی را که به نتیجه بررسی هزینه‌ها خواهیم داد تحت تاثیر قرار دهد.

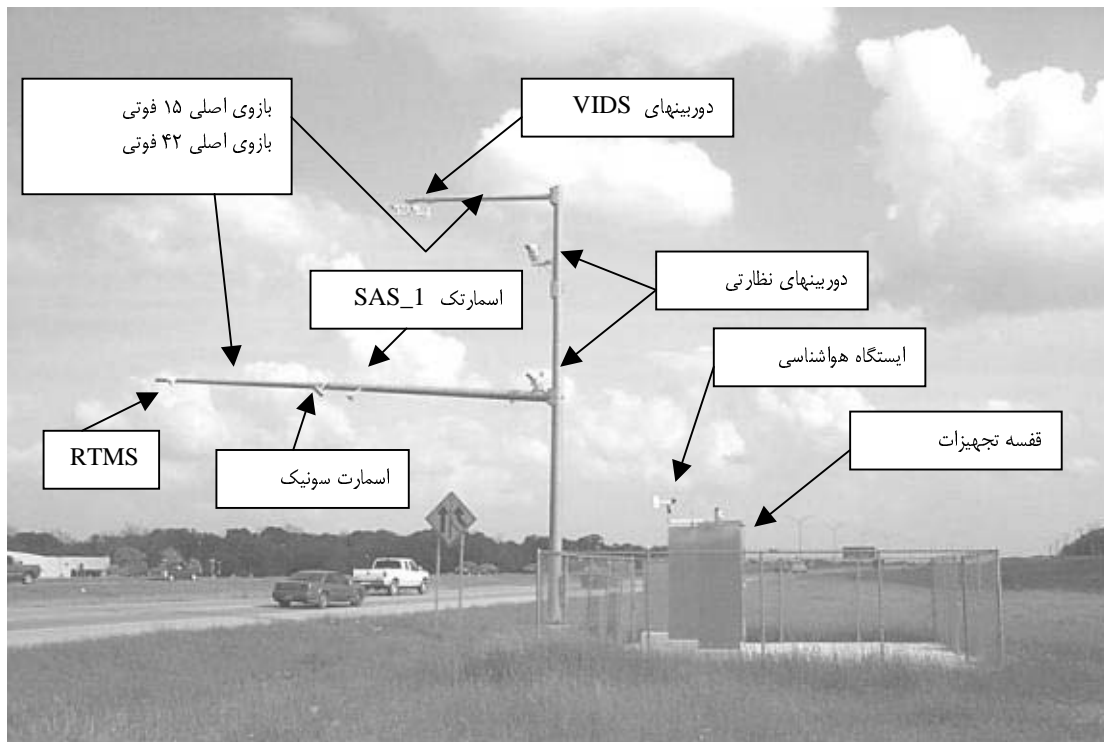
معیارهای ارزیابی دیگری برای بعضی دستگاهها باید مورد توجه قرار گیرد. برای مثال ریز حلقه 3M برای نصب در عمق کم زیر سطح آسفالت طراحی شده است (در ۱۸ اینچی زیر سطح). این شرایط پیمانکاران را از شرکت در مناقصه دور می‌کند اگر نصب اینها در قالب یک پروژه ساخت باشد مشکل برطرف می‌شود. در ناحیه از تگزاس نصب در عمق ۳۶ اینچی مطرح شد تا ساختار آسفالت سطحی دست نخورده بماند. براساس اطلاعات 3M هر پروب ناحیه آشکارسازی به صورت یک مخروط دارد که با افزایش ارتفاع سطح مقطع بزرگتری خواهد داشت. بنابر این نصب در عمق بیشتر آشکارسازیهایی نامطلوبی را برای وسایل نقلیه بلند در خطوط عبوری مجاور هم نتیجه می‌دهد.

تمام آزمونهای آشکارگرهای شناخته شده تا به امروز کوتاه مدت بوده است و حداکثر چند روز و یا چند هفته طول کشیده است. بدون انجام آزمایشهای بلندمدت اطلاعات برای مقایسه هزینه‌های دوره زندگی ناکافی است. آزمایشهای بلندمدت خوب و مشکل است از این نظر که عامل زمان چیزی است که اندازه‌گیری می‌شود. آزمایشهای بلندمدت مشکلات و خرابیهای متناوب را آشکار می‌سازد. این خرابیها می‌تواند نتیجه قطع برق و یا مشکل ارتباطی باشد. یک راه حل یک سیستم خودکار است که شرایط حالت غیرعادی شناسایی کرده به یک اپراتور خرابی احتمالی را گوشزد کند.

## فصل ۳ : مقایسه فن آوری‌ها

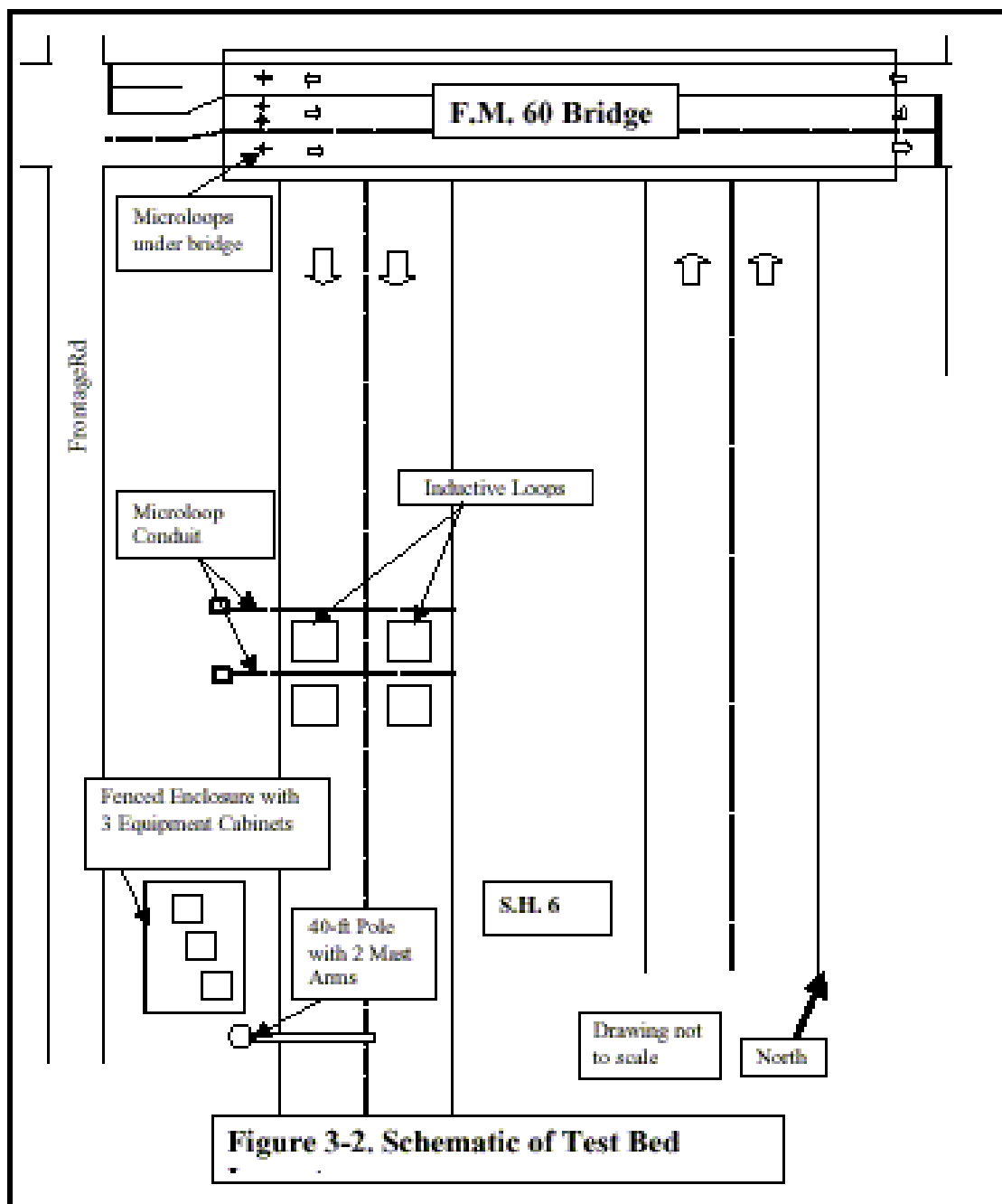
### ۳ - معرفی

شکل ۱-۳ عکس از محل آزمایش TTI را نشان می‌دهد در عکس دیرک ۴۰ فوتی و کابینت‌ها و ایستگاه هواشناسی محصور با توری سیمی نشان داده شده است. شکل ۲-۳ دیگر جزئیات آزمون در بزرگراه SH6 را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۳ تیرک و قفسه‌های محل آزمون TTI

تکنولوژی تشریح شده در زیر با حلقه‌های القایی شروع می‌شود سپس آشکارگرهای خارجی به ترتیب فهرست شده و نتایج ارزیابی هر یک تشریح می‌شود. تکنولوژی آشکارگرهای خارجی شامل آشکارگرهای صوتی، مادون قرمز، مغناطیسی، پیزوالکتریک، رادار و تصویر ویدئوی است. TTI دقت آشکارسازی حضور را برای تمام آشکارگرها آزمایش کرده است و تنها بعضی از آنها در مورد دقت سرعت مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۳-۲ طرح محل آزمایش

### ۳-۱ حلقه القایی

آشکارگرهای حلقه القایی هنوز در زمینه آشکارسازی وسایل نقلیه در بزرگراهها با وجود ظهور آشکارگرهای خارجی موفق بیشترین امتیاز را در استفاده دارند. در حقیقت آنها به کفایت دقیق هستند به طوری که گاهی مبنای مقایسه شمارش تردد قرار می گیرند. انتظار می رود که در آینده نیز از آنها استفاده گردد. این آشکارگرها در هر شرایط آب و هوایی و روشنایی و برای اغلب کاربردها بهترین اند به شرطی که نصب و نگهداری مناسبی داشته باشد. درک بهتر کارکرد آنها کارایی بهتر و طول عمر آنها را باعث می شود.

بر اهمیت کیفیت نصب و برنامه سرکشی آنها نمی‌توان بیش از حد تاکید کرد. اطمینان و عمر مفید حلقه‌ها یکی از مهمترین کارکردهای رویه نصب آنهاست. حلقه القایی در آزمایش TTI و تحقیقات قبلی ثابت ترین دقت را در آشکارسازی حضور وسیله دانسته است. حلقه‌ها در شرایط ترافیک کم و زیاد خوب عمل کرده‌اند و البته وضع هوا بر دقت آنها تاثیری نداشته است.

شاید بزرگترین مشکل حلقه‌ها محل نصب آنها در سواره‌رو است. هم اکنون حلقه‌ها در سواره‌روهایی با آسفالت نازک تا کلفت و با شرایطی بد تا عالی نصب می‌شوند. حلقه‌ها در آسفالت‌های نازک و نامرغوب نصب می‌شود در حالی که دیگر فن‌آورپها می‌توانند به‌طور قابل قبول عمل کند و زیبایی به آسفالت نیز وارد نکند. حلقه‌ها در آسفالت‌های نامرغوب نباید نصب شود چون مشکل آسفالت را بدتر کرده و آشکارگر را از کار می‌اندازد. ابتدا باید سواره‌رو را قویتر کرد و حلقه‌ها را قبل روکش نهایی نصب نمود. بدین‌گونه مشکل درزگیری آشکارگرها و مشکل آسفالت حل می‌شود.

### ۳-۱-۱ حلقه‌های اره بریده استاندارد

دو مورد خیلی مهم درباره حلقه‌های القایی نرخ دقت و خرابی آنهاست. همان‌طور که ذکر شد (اگر حلقه‌ها مناسب نصب و نگهداری شود) دقت آنها در آشکارسازی وسایل بهتر از هر آشکارگر دیگری است. با این حال، آشکارسازی سرعت هنوز بهترین نیست و نرخ خرابیها خیلی متفاوت است. تحقیقات TTI نشان می‌دهد رفع خرابی توسط دیپارتمان حمل و نقل تگزاس در بخشها خیلی متفاوت بوده ولی در بازه ۱ تا ۷ درصد در سال برای بخشهایی که مایل به تخمین بوده‌اند، اندازه‌گیری شده است. مولفان حدس می‌زنند که این میزان تا ۱۰ درصد در سال افزایش یابد. نرخهای خرابی پایین‌تر متعلق به بخشهایی بوده که کمتر مشتاق بوده‌اند و عموماً آسفالت نامرغوبی داشته‌اند یا حلقه‌های قدیمی‌تری زیر سطح سواره‌رو داشته‌اند. مثلاً در بزرگراه سن آنتونیو حلقه‌هایی که برای ۶ سال نصب شده بود با نرخ ۱ تا ۳ درصد در سال برای آن مدت خرابی داشته است.

#### ۳-۱-۱-۱ دقت

دقت تعیین حضور در حلقه‌ها بهتر از دقت سرعت آنهاست. دقت سرعت را با قراردادن سیستم حلقه‌ها در فاصله‌های ثابت از یکدیگر درون حلقه می‌توان بهتر کرد. آنچه که انجام می‌شود ایجاد ثبات میدان حلقه‌های القایی در اطراف آنهاست. حلقه‌های اره بریده جایگزاریهای مختلفی نسبت به حلقه‌های اجرا شده دارد. آشکارسازی حضور برای هر دو نوع آشکارگر با فرض یکسان بودن دیگر عوامل، مشابه است.

**دقت حضور: TTI** دقت حضور (تعداد) حلقه‌های القایی در ایستگاه کالج بر SH6 و در هوستون بر US290 آزمایش کرد. در هوستون، یک حلقه در خط گذر اصلی برای جمع‌آوری داده‌های مبنا نصب گردید. تفاضل خطای چهار ساعت مختلف با تصاویر ضبط شده عبارت بود از: ۰ درصد، ۰،۳۳- درصد، ۰،۳۲ درصد و ۰،۷۸- درصد. تفاوت خطا بین آشکارگرهای اره بریده و اجرا شده در صورتی که طراحی و نصب مناسبی داشته باشند انتظار می‌رود قابل چشم‌پوشی باشد.

**دقت سرعت:** دقت سرعت حلقه با تنظیم حساسیت تقویت کننده حلقه تنظیم می‌شود. دقت سرعت در تقویت‌کنندگان خودکار در زمان تغییر شرایط محیطی متفاوت است. TTI این تغییرات را به زودی بررسی می‌کند.

براساس تجربه‌های قبلی مولفان و نه براساس آزمایشهای علمی حلقه‌ها سرعت را با دقت ۵ تا ۱۰ درصد سرعت حقیقی تعیین می‌کند.

### ۲-۱-۱-۳ هزینه‌های دوره زندگی

هزینه‌های حلقه در بخشهای مختلف تگراس متفاوت بوده است. TTI با یک قرارداد ده ساله در تقاطع هوستون هزینه‌ها را تعیین و نرخ خرابی را معین کرد. تخمین هزینه هر تقاطع تقریباً خیلی کم خواهد بود. اما هزینه متوسط سالانه تعویض حلقه برای هر تقاطع ۳۳۵ دلار است. به علت ذات محافظه‌کارانه این تخمین عدد را به ۴۰۰ دلار برای هر تقاطع در سال برای تحلیل‌های بعدی افزایش می‌دهیم.

هزینه اولیه تقاطع چراغ‌دار هوستون تفاوت زیادی دارد. برای مقایسه‌های بعدی با سیستم‌های رقیب یک تقاطع غیرحقیقی فرض شد که در آن در خط عبور به سمت تقاطع وجود دارد و یک جزیره برای گردش به چپ در چهار مسیر تعبیه شده است. هزینه سالانه این تقاطع ۳۲۷۵ دلار است. همچنین با استفاده از اطلاعات هزینه هوستون، نصب ۱۲ حلقه در ۶ خط عبور بزرگراه هزینه اولیه ۲۷۶۰۰ دلار داشته است و یا ۲۳۰۰ دلار برای حلقه اگر هزینه تاخیر سواربها در در زمان نصب ۱۰۰۰۰ دلار در نظر بگیریم، هزینه سالانه حلقه‌ها در بزرگراه شش خطه ۶۲۹۵ دلار خواهد بود. اگر هزینه تاخیر سواربها و مصرف سوخت مازاد را برای نصب و نگهداری در نظر نگیریم هزینه سالانه با درصد خرابی ۵ تا ۱۰ درصد در سال به ترتیب ۲۵۱۰ و ۴۴۷۵ دلار خواهد بود.

بخش پاریس در تگراس حلقه‌ها لوزی ماندی را در ۲ تقاطع نصب کرد که قبلاً کنترل زمانی ثابتی داشت. هزینه کل اولیه آشکارسازی برای یک تقاطع ۳۸۲۳۴ دلار بود و برای دیگری ۳۹۵۶۰ دلار. هزینه دوره زندگی هر تقاطع یکسان خواهد بود. بنابر این فقط یک مورد محاسبه می‌شود. هزینه دوره زندگی ۴۰۵۵ دلار است.

### ۳-۱-۱-۳ سهولت نصب و نگهداری

سهولت نصب و نگهداری حلقه‌های القایی تابعی از نرم‌افزاری است که از ورودی‌های دستگاهها استفاده می‌کند. این دستگاهها شامل کنترل‌کننده‌های ترافیکی، واحد کنترل عملی (LCU) و طبقه‌بندی کننده به معنی کلی آن است. برای اکثر این قطعات فاصل کاربر قاعدتاً باید آشنا و ساده باشد. از نظر نگهداری، حلقه‌های القایی در آسفالت قرار دارند بنابر این نصب و نگهداری بیشتری را در جریان ترافیک می‌گذارد. این حالت ضعف اصلی این سیستم‌هاست و اگر نصب حلقه در آسفالت نامرغوب باشد میزان خطای بالا نیز به آن اضافه می‌شود.

### ۲-۱-۳ حلقه‌های اجرا شده

از آنجا که حلقه‌های القایی (هم اریه بریده و هم اجرا شده) مبنای مقایسه دستگاههای آزمون بوده‌اند، TTI در ثبت دقت شمارش آنها ملاحظه کار بوده است. بازبینی دقت شمارش حلقه‌ها شامل یک دوربین ویدیویی بوده است که ترافیک گذرنده از روی حلقه‌ها را ضبط می‌کرده است. سیستم حلقه شامل یک طبقه‌بندی کننده/کنترل کننده از شرکت اینترنشنال رود دینامیکس (TCC 540) بوده است که تعداد تردد در هر خط در زمانهای یک دقیقه‌ای را ثبت می‌کند. نوار ویدئو نمایش داده شده و چند بیننده ترافیک هر خط را شمارش می‌کند تا دقت سیستم TCC 540 T را تعیین کنند.

TTI حلقه‌های اجرا شده را در محل آزمون نصب کرده روی آن روکش آسفالت کشید. در نصب این حلقه‌ها لازم است که حلقه‌ها در محل مناسبی روی آسفالت قرار گیرد سپس عمل روکش با آسفالت گرم بر روی آنها انجام شود. سیمای حلقه‌ها که در خط عبور چپ نصب شده‌اند می‌بایست از خط عبور ترافیکی دیگر و شانه عبور کند بنابراین در آن زمان در معرض ترافیک بوده است. خرابی‌های تمام حلقه‌های اجرا شده فروشنده A در خط عبور چپ فرض گردید که به خاطر این بوده است که ترافیک از روی سیمهای آن عبور کرده است. پوشش محافظ برای این سیمها کافی نیست اگر چه TTI آنها را با نوارهای جاده‌ای که توسط فروشنده پیشنهاد کرده بود پوشانده بود. حلقه‌های خط عبور سمت چپ از فروشنده B در معرض همان ترافیک قرار داشت اما خرابی ملاحظه نشد. نتیجه این آزمایش چنین بود که پوشش بهتر برای سیمهای حلقه‌های در معرض ترافیک ایجاد گردد.

### ۱-۲-۱-۳ دقت

**دقت حضور:** در مقایسه با شمارش دستی حلقه‌های اجرا شده در خط عبور یک در آزمایشی ۱/۰۸ درصد در آزمایش دیگری ۰/۱۶ درصد کم شمرده است. حلقه‌های خط عبور دوم در آزمایشی ۱/۸۷ و در دیگری ۰/۳۳ درصد بیشتر شمرده است. تفاوت دقت شمارش بین حلقه‌های اره بریده و اجرا شده در صورتی که طراحی و نصب مناسبی داشته باشند انتظار می‌رود قابل چشم‌پوشی باشد.

**دقت سرعت:** TTI ارزیابی دقت سرعت حلقه‌های اجرا شده را به زودی انجام می‌دهد. براساس تثبیت بهتری که از جایگذاری سیمها حاصل می‌شود دقت سرعت در حلقه اجرا شده بهتر از حلقه‌های اره بریده باشد و در صورتی که دیگر عوامل یکسان فرض گردد. براساس تجربه‌های قبلی مولفان و نه براساس آزمایشهای علمی حلقه‌های اجرا شده سرعت را با دقت بین ۲ تا ۵ درصد سرعت حقیقی تعیین می‌کنند.

### ۲-۲-۱-۳ هزینه دوره زندگی

حلقه‌های اجرا شده به اندازه حلقه‌های اره بریده معمول نیست و به خاطر آن هیچ اطلاعات هزینه دوره زندگی در تگزاس وجود ندارد. انتظار می‌رود دوام حلقه‌های اجرا شده با فرض یکسان بودن دیگر عوامل بیشتر از حلقه‌های اره بریده باشد. هزینه اولیه حلقه‌های مرغوب ۶ در ۶ فوت با نصب ۲۰ فوت سیم حدود ۱۰۰ دلار برای هر یک توسط TTI برآورد شده است.

### ۲-۳ آشکارگرهای صوتی

TTI فقط دو آشکارگر صوتی غیرفعال را آزموده است: اسمارت سونیک TSS-1 از شرکت اینترنشنال رود دینامیکس (IRD) و SAS-1 از اسمارتک، هر دو بر روی بزرگراه آزموده شده نه تقاطع.

### ۱-۲-۳ آشکارگر اسمارت سونیک

TSS-1 اسمارت سونیک که توسط IRD در بازار عرضه شده است، حوزه آشکارسازی به اندازه ۶ در ۸ فوت در جهت ترافیک ایجاد می‌کند و همچنین دو حوزه قابل انتخاب برای خطوط عبوری در جهت تقاطع که قابل انتخاب است ایجاد می‌کند. پردازش TSS-1 در کارت کنترل کننده قادر است مقادیر جریان ترافیک مثل

حجم وسیله، اشغال بودن خطوط عبور و سرعت متوسط را در یک بازه زمان تعیین شده محاسبه کند. برق مصرفی سیستم کم و حدود ۵ تا ۶ وات است. این مقدار کم اجازه استفاده از نیروی برق خورشیدی را نیز فراهم کرده است.

### ۱-۱-۲-۳ دقت

**دقت حضور:** آزمایشهای TTI بر روی این آشکارگر خیلی محدود بود در تمام حالات شمارش مجموع وسایل در یک بازه زمانی ۱۱ ساعته ۱۵ درصد کمتر از مقدار شمارش شده توسط حلقه القایی بوده است. در مقایسه‌های ساعتی درصد کم بوده است و نهایتاً به ۲۰ درصد رسیده است. آشکارگر می‌بایست وسایل را طبقه‌بندی می‌کرده است. اما تحلیل‌گران نمی‌توانند دقت طبقه‌بندی را خصوصاً کامیون‌هایی که در سیستم مینا شمارش نشده‌اند بررسی کنند.

**دقت سرعت:** مقایسه سرعت این سیستم، فقط از یک سیستم حلقه استفاده کرده است که دقت سرعت آن دقیقاً تعیین نشده است. اسمارت سونیک نشان داد که نسبت به حلقه القایی تمایل به شمارش بیشتر دارد. مثلاً در مجموعه اطلاعات حدود ۲۰۰۰ وسیله غیر کامیون، سرعت متوسط ۴ مایل در ساعت بیشتر از سیستم حلقه در یک خط عبور بوده است. انحراف معیار برای دو سیستم دقیقاً برابر و ۷ مایل در ساعت بوده در یک نمونه کوچک از کامیونها سرعت در مقایسه با حلقه‌ها ۸ مایل در ساعت بیشتر تعیین شده بود.

### ۲-۱-۲-۳ هزینه دوره زندگی

تنها هزینه‌ای که برای اسمارت سونیک در دسترس است مربوط به هزینه اولیه می‌باشد. با این حال با استفاده از فرضهای ثابت و دانش عمومی عملکرد آشکارگرها می‌توان هزینه‌های تطبیقی برای مقایسه هزینه دوره زندگی بین آشکارگرها را محاسبه کرد. هزینه هر دستگاه صوتی ۱۴۵۰ دلار است برای حالتی که یک آشکارگر در یک خط عبور قرار گیرد. سیستم آشکارسازی کارت کنترل کننده با هزینه ۸۰۰ دلار دارد که می‌تواند ۴ آشکارگر صوتی را پشتیبانی کند. پس هزینه سیستم برای بزرگراه ۶ خطه شامل آرایه‌ای از ۶ آشکارگر با هزینه ۱۴۵۰ دلار و عمر متوسط ۵ سال و هزینه نگهداری سالانه ۲۰۰ دلار برای هر سیم و کنترل ترافیکی ۴۰۰۰ دلاری و نرخ بازگشت ۵ درصد است. هزینه سالانه ۳۸۴۱ دلار می‌شود.

### ۳-۱-۲-۳ سهولت نصب و نگهداری

سیستم اسمارت سونیک نیاز به یک آشکارگر برای هر خط عبور است که در بالای خط عبور کمی مایل به یک طرف نصب می‌شود نصب نیاز به کنترل ترافیک و یک ماشین با بالابر و یک تیرک پل مانند برای تکیه‌گاه دستگاه دارد. در زمان نصب لازم است که نصب کننده دقت بیشتری نسبت به LEDهای کنترل کننده داشته باشد چون آنها نشان می‌دهند که دستگاه‌ها چه اندازه درست کار می‌کند. دقت دیگر در نصب مادول انتقال باید صورت گیرد چون سیمهای اتصال آن باقی می‌تواند در معرض فشار بیش از حد قرار گیرد. به کمک نرم‌افزار هایپر ترمینال در ویندوز ۹۵ می‌توان دستگاه را تست و تنظیم کرد و خروجیهای آن را دید. داده‌ها در خود دستگاه ذخیره می‌شود اما اگر برق کنترل کننده قطع شود تمام اطلاعات از دست می‌رود و فقط اطلاعات نصب در حافظه باقی می‌ماند.

### ۲-۲-۳ آشکارگر SAS-1/اسمارتک

آشکارگر صوتی سیستم اسمارتک-نسخه ۱ (SAS-1) یک آشکارگر غیرفعال است (فقط می شنود) که در کنار جاده قرار می گیرد و قابلیت کنترل ۵ خط عبور را دارد. نیازهای نصب این دستگاه کمتر از اسمارت سونیک است چون در کنار جاده نصب می شود با این حال در نصب نیاز به دستگاه بالابر است و همان تکیه گاه انعکاس دهنده می تواند تکیه گاه دستگاه قرار گیرد. آشکارگر در ارتفاع ۳۵ فوتی بالای جاده باید نصب شود تا بتواند هر ۵ خط را نظارت کند. TTI آشکارگر را در ۲۰ فوتی نصب کردند چون فقط ۲ خط باید نظارت می شد و ارتفاع دیرک نیز بیش از این نبود. آشکارگر در ۲۵ فوتی در کنار جاده نصب گردید. پس از جمع آوری نتایج فروشنده پیشنهاد کرد که برای حصول دقت حضور بهتر ارتفاع به ۲۵ تا ۳۰ فوت و با فاصله کمتر از جاده نصب شود. شکل ۳-۳ آشکارگر SAS-1 را نصب شده روی تیرک اصلی نشان می دهد.



شکل ۳-۳ SAS-1 نصب شده روی بازوی تیرک

#### ۱-۲-۲-۳ دقت

**دقت حضور:** تنها عاملی که بر دقت شمارش SAS-1 تاثیر گذاشت باران بود. کارایی آشکارگر در شرایط آب و هوایی مرطوب افت کرده است که در جداول ۱-۳ و ۲-۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که فروشنده که در مراحل نصب اولیه مشارکت داشته متوجه خطایی در تنظیم حساسیت دستگاه که توسط TTI انجام گرفته بود شد این خطا احتمالاً در شمارش کمتر در شرایط بارانی دخیل بوده است. افزایش حساسیت دستگاه مشکل را حل کرد اما پس از آن شرایط آب و هوایی مرطوب رخ نداد تا این فرض بررسی گردد. شکل ۱-۳ خلاصه نرخ خطای SAS-1 را در بازه های ۱۵ دقیقه ای نشان می دهد. برای مثال، ۳۵۳ مورد از ۳۷۸ بازه که در آنها نرخ خطای SAS-1 بین صفر تا ۱۵ درصد بوده است.

#### جدول ۱-۳ نرخ خطای شمارش SAS-1 بر SH6 در شرایط آب و هوایی خشک

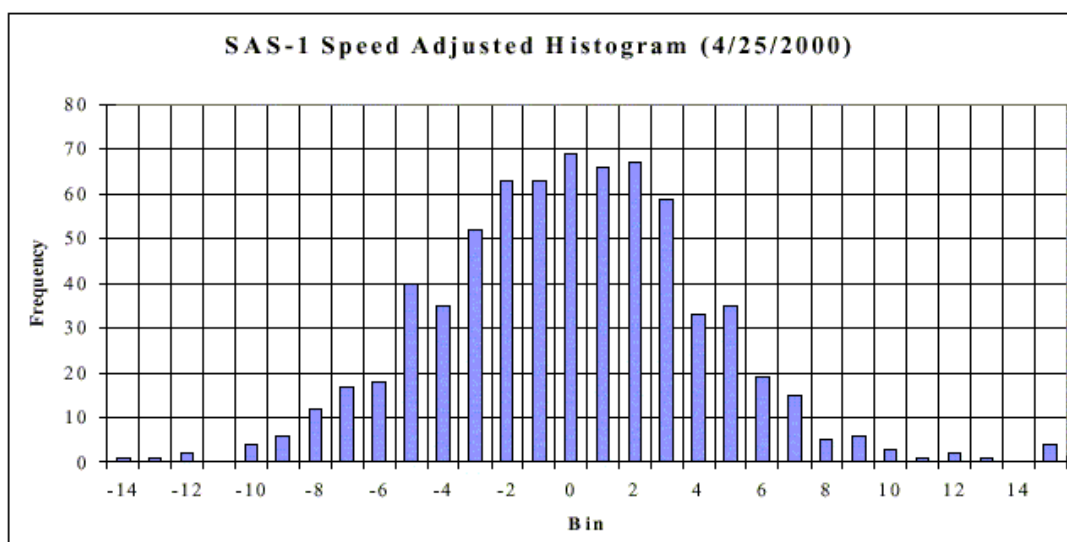
خط عبور		بازه خطا
راست	چپ	
۳۷۶ از ۳۷۸ (۹۹/۵٪)	۳۵۳ از ۳۷۸ (۹۳/۴٪)	۰ تا ۱۰ درصد
۲ از ۳۷۸ (۰/۵٪)	۲۵ از ۳۷۸ (۶/۶٪)	۱۰ تا ۲۰ درصد
۰	۰	۲۰ تا ۳۰ درصد



### جدول ۲-۳ نرخ خطای شمارش SAS-1 بر SH6 در شرایط آب و هوایی مرطوب

خط عبور		بازه خطا
راست	چپ	
۴ از ۲۰ (۲۰٪)	۴ از ۲۰ (۲۰٪)	۰ تا ۱۰ درصد
۳ از ۲۰ (۱۵٪)	۱۲ از ۲۰ (۶۰٪)	۱۰ تا ۳۰ درصد
۱۳ از ۲۰ (۶۵٪)	۴ از ۲۰ (۲۰٪)	۲۰ تا ۳۰ درصد

**دقت سرعت:** شکل ۳-۴ نمونه ای از نتایج تست سرعت در شرایط آب و هوایی خشک است که با نتایج RTMS مقایسه شده است. RTMS مبنای مقایسه تمام سرعتها در محل آزمون بوده است که به سمت ترافیک در خط عبور راست نصب گردیده است. دقت سرعت در جای دیگری بررسی شده است. در زمان باران سرعتهای SAS-1 در حدود ۱۰ مایل در ساعت در مقایسه با RTMS افزایش داشته است. سرعت متوسط در شکل ۳-۴ نشان داده شده و ۰/۵ مایل در ساعت بوده است و انحراف معیار آن ۴/۸۴ مایل بر ساعت تعیین شده است. با توجه به توزیع نرمال، این نتایج نشان می‌دهد که SAS-1 سرعت متوسط را در بازه‌های یک دقیقه‌ای حدود ۱۰ مایل در ساعت کمتر یا بیشتر در ۹۵ درصد مواقع خواهد بود.



شکل ۳-۴ هیستوگرام سرعت SAS-1 در مقایسه با RTMS

### ۲-۲-۲-۳ هزینه دوره زندگی

SAS-1 نسبتاً جدید است و اطلاعات مستند شده قدیمی در دست نیست که بتوان هزینه دوره زندگی آن را تعیین نمود. هزینه نصب این مدل هم‌اکنون ۳۵۰۰ دلار است. کابل کشی، برپایی سخت‌افزار و زمان کاری افراد برای نصب آنها حدود ۵۰۰ دلار هزینه نیازهای برپایی SAS-1 کمترین است. مولفان عمر متوسط ۵ سال با هزینه ۲۰۰ دلار برای نگهداری آن پیشبینی می‌کنند. برای یک بزرگراه ۶ خطه دو سیستم لازم است (برای هر جهت حرکت یکی) و از این بابت هزینه سالانه سیستم ۲۲۴۸ دلار خواهد بود.

### ۳-۲-۲-۳ سهولت نصب و نگهداری

کتابچه راهنما اطلاعات کاملی درباره نحوه نصب حسگرها و کابل کشی آنها به درگاه سریال کامپیوتر شخصی که برنامه راه اندازی را بر روی ویندوز دارد، تشریح می کند. نرم افزار راه اندازی به راحتی قابل استفاده است و تنظیم آن ساده است. حسگر داخل محفظه ای قرار دارد که به راحتی به یک تیرک با بازویی مناسب متصل می شود. جهت بندی دقیقی نیاز نیست اگرچه گاهی اوقات تنظیم لازم به نظر می رسد. نمونه ای از این حالت زمانی رخ داد که TTI آشکارگر را پشت بازوی اصلی نصب نمود (از جهتی که خودروها نزدیک می شوند). یک علامت خطر که در کنار بازو قرار داشت باعث گردید که آشکارگر وسایل را دو برابر شمارش کند. TTI آشکارگر را به جلوی علامت انتقال داد و مشکل برطرف شد.

### ۳-۳ آشکارگرهای مادون قرمز فعال

دستگاه های لیزری (تقویت نور بوسیله پرتو افشانی تشعشع های برانگیخته شده) به عنوان آشکارگرهای وسایل نقلیه استفاده می شود. دستگاه لیزری بالا یا در کنار جاده قرار می گیرد گیرنده در کنار فرستنده نصب می شود. تغییرات مشخصه پرتوی لیزر برای تشخیص تحرک اشیاء استفاده می شود.

### ۳-۳-۱ شوارتز الکترواپتیک (SEO)

اتونس II از SEO حسگر آشکارسازی جامع و بدون تماس است. حسگر بالای خط عبور نصب می شود و به کمک یک اسکن لیزر تعیین کننده برد مشخصات سه بعدی، وسیله گذرنده اندازه گیری می شود. سنسور اطلاعات را درون خود پردازش کرده و خروجی را مستقیماً به کامپیوتر شخصی می فرستد. سیستم دو پرتولیزر را با زاویه های ثابت و مختلف اسکن می کند. همراه با اندازه ارتفاع حسگر و زاویه های ثابت پرتوها با بکارگیری الگوریتم طبقه بندی کننده وسایل، سرعت و نوع وسیله تعیین می شود. هر حسگر به طور خودکار تنظیم می شود و نیاز به برنامه ریزی برای خروجی اطلاعات ندارد. داده ها از طریق درگاه سریال یکنواخت ارسال می شود.

### ۳-۳-۱-۱ دقت

**دقت حضور:** در یک روز آشکارگر AS II مجموعاً ۱۷۱ کامیون شمارش کرد در صورتی که سیستم حلقه ۱۴۲ دستگاه شمرد. از این مجموع ۱۳۶ دستگاه با سیستم حلقه هماهنگ شمرد شده بود. در روز دیگری، AS II ۱۱۷ کامیون و حلقه ۱۰۹ کامیون شمارش کردند. از این مجموع فقط ۹۳ مورد هماهنگ بین دو سیستم بود. تفاوت بین شمارش هماهنگ و غیر هماهنگ در این دو نمونه نشان می دهد وسایل نقلیه در هر دو سیستم به عنوان کامیون دسته بندی نشده است.

**دقت سرعت:** هم میانگین و هم انحراف معیار داده های سرعت AS II به لحاظ مقدار بیشتر از سیستم حلقه مورد مقایسه است. متأسفانه دقت سرعت سیستم حلقه تأیید نشد. سرعت متوسط AS II ۷ تا ۱۰ مایل در ساعت برای کامیونها و ۳ تا ۴ مایل در ساعت برای دیگر وسایل بیشتر بود. باید اشاره شود که سرعت های خیلی زیاد نیز توسط AS II به صورت نامعین تولید می شد.

### ۲-۱-۳-۳ هزینه دوره زندگی

اطلاعات هزینه دوره زندگی اتوسنس در دسترس نبود. AS II به تنهایی ۱۰۰۰۰ دلار برای یک خط عبور هزینه دارد اگر چه اتوسنس I با هزینه اولیه ۶۵۰۰ دلار داده سرعت و تعداد کفای و مناسبی برای کاربردهای بزرگراهی تولید می‌کند. آشکارگر باید مستقیماً بالای خط عبور نصب شود از این رو نیاز به کنترل ترافیک دارد. برای بزرگراهی ۶ خطه با فرض وجود پایه مناسب که یک AS I برای هر خط لازم است، هزینه نصب ۲۰۰ دلار برای هر دستگاه است، ۱۰۰۰ دلار هزینه کنترل ترافیک هر خط عبور و هزینه نگهداری سالانه متوسط ۱۰۰ دلار برای هر دستگاه است. در نتیجه هزینه سالیانه ۶۵۸۳ دلار برای هر دستگاه است.

### ۳-۱-۳-۳ سهولت نصب و نگهداری

AS II و AS I هر دو باید بالای خط عبور نصب شوند و نیاز به بالابر و کنترل ترافیک دارند. پس از نصب و اتصال مناسب دیگر نیازی به تنظیم دستی ندارند. نرم افزار آشکارگر قالبهای مختلفی برای خروجی داده‌ها دارد و به تنظیم و تصحیح حسگرهای مادون قرمز نیازی نیست. مودم LDM 70 که جزئی از سیستم اتوسنس است چراغهای LED متعددی دارد که کاربر را در زمان رفع اشکال یاری می‌دهد. بررسی این کارکرد به منظور کارایی بهتر سیستم ضروری است.

## ۳-۴ آشکارگرهای مادون قرمز غیرفعال

دستگاههای مادون قرمز غیرفعال با استفاده از انرژی مادون قرمز که از منطقه آشکارسازی تشعشع می‌شود حضور وسیله را شناسایی می‌کند. در دیگر تحقیقات (۳ و ۴ و ۵) این نوع آشکارگر در محلهای آزمون بزرگ راهی و تقاطعها خوب عمل کرده است و فن آوری خوبی برای کنترل ترافیک در نواحی شهری است. این آشکارگرها تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار نمی‌گیرند و به راحتی نصب و تنظیم می‌گردند.

### ۳-۴-۱ آشکارگر مادون قرمز غیرفعال زیمنس

TTI سری PIR-1 را از این نوع آشکارگرها که توسط شرکتی اقماری از زیمنس به نام سیستمهای ترافیک ایگل بررسی کرد. فن آوری شناسایی PIR بر این اساس است که هر شی در دمای بالاتر از صفر مطلق تشعشع حرارتی در ناحیه طیف مادون قرمز دارد. این فن آوری به تحرکهای داخل ناحیه فعالیت حساس است. تغییرات کم دما در زمینه کار ناشی از تغییرات آب و هوایی اندازه‌گیری نمی‌شود. برای این که آشکارگر درست کار کند باید روی پایه محکمی نصب و به درستی تنظیم شود و مسیر دید دستگاه در ناحیه شناسایی دارای مانع نباشد.

### ۳-۴-۱-۱ دقت

**دقت حضور:** در ساعات روشنایی روز دقت آشکارگر PIR-1 در محدوده ۱۰ درصدی نسبت به حلقه‌ها بود. میزان خطای آن در مقایسه با حلقه در ساعات بین نیمه شب و ۵ صبح همواره بیشتر بود اما با توجه به تعداد

نمونه کم تا حدودی اغراق آمیز است. آشکارگر در یک مورد از شش مجموعه داده شمارش کمتری انجام داد و در چهار مورد بیشتر شمارش کرد.

**دقت سرعت:** PIR-1 با پیکربندی که در اختیار TTI قرار گرفته بود داده‌های سرعت تولید نمی‌کرد.

### ۳-۴-۱-۲ هزینه دوره زندگی

کاربرد مناسب PIR-1 شمارش در بزرگراهها (یک آشکارگر برای هر خط عبور) یا تقاطعها و شاید خیابانهای فرعی باشد. آشکارگر به نحوی قابل تنظیم است که ناحیه کوچکی را که برای پوشش یک خط عبور کافی باشد نظارت کند. برپایی آن نیاز به یک کامیون دارای بالابر، کنترل ترافیک و پایه مناسب مثل تیرکِ علائم پل مانند دارد. اجزای هزینه دوره زندگی مستقیماً در دسترس نبود بنابراین این نویسندگان برآوردهای زیر را انجام دادند. هزینه اولیه ۱۱۰۰ دلار برآورد شد. و عمر ۷ سال مورد انتظار است. کابل کشی و نصب ۲۰۰ دلار برای هر دستگاه برآورد شد. و نگهداری سالانه هر دستگاه ۱۰۰ دلار هزینه دارد. هزینه سالانه برای بزرگراهی شش خطه ۱۹۴۸ دلار خواهد بود.

### ۳-۴-۱-۳ راحتی نصب و نگهداری

محققان برای تنظیم PIR-1 جهت شناسایی یک خط عبور مجبور به مشاوره با شرکت ایگل شدند. در مکان اصلی قرارگیری در SH6 آشکارگر PIR-1 نمی‌توانست فقط یک خط عبور را پوشش دهد. بنابراین محل آن به روی بازوی اصلی دیرک انتقال یافت. زاویه افقی بین آشکارگر و جاده ۴۵ درجه یا کمتر باید باشد تا یک خط عبور ترافیک شناسایی شود.

## ۳-۵ آشکارگرهای مغناطیسی

### ۳-۵-۱ ریز حلقه‌های 3M

ریز حلقه‌های 3M مدل‌های ۷۰۱ و ۷۰۲ از شرکت سیستم آشکارسازی 3M کانوگا، از میدان مغناطیسی زمین برای شناسایی استفاده می‌کند. TTI مجموعه ۴ کاناله کانوگا C800 را در یکی از سه کابینت تجهیزات کنار راه نصب نمود. این آشکارگرها با مجموعه کارت‌های نوع ۱۷۰ و TS1 و TS2 و NEMA سازگاری دارند. نرم‌افزار قادر به تولید سرعت و طول رسید و شمارش و حضور در زمان بعدی آن است. TTI پروب‌های مدل ۷۰۳ را زیر جاده SH6 و مدل ۷۰۱ را زیر پل FM60 نصب کرد. شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶ محل این سیستمها را نشان می‌دهد. پروب‌های ریز حلقه در کانالهای افقی در فاصله‌های یک فوتی در مسیر وسایل نقلیه قرار می‌گیرند. پروب‌ها تکه‌تکه به هم وصل شده و در داخل کانال به سمت محل از قبل تعیین شده انتقال داده می‌شود. شکل ۳-۷ محل نصب زیر پل FM60 را نشان می‌دهد.

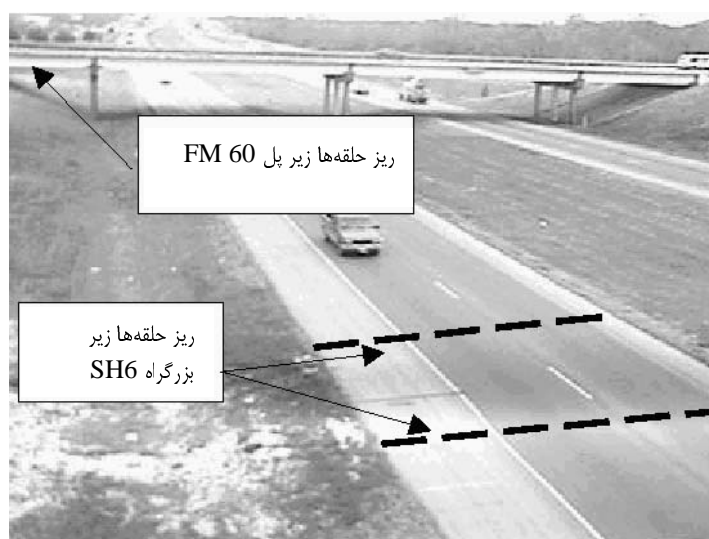
### ۳-۵-۱-۱ دقت

**دقت حضور:** TTI در دو محل ریزحلقه‌ها را نصب کرد زیر جاده اصلی SH6 و زیر پل FM60 و هدف ارزیابی ریزحلقه در پل FM60 تعیین دقت شمارش وسیله در شرایط توقف و حرکت و تاثیر فلز پل بر عملکرد

آشکارگر بود. 3M نویسندگان را مطلع ساخت که فلزات آهنی عمودی می‌تواند بر کارایی تاثیر بگذارند در صورتی که فلزات افقی موثر نیستند. تیرهای پل FM60 دارای ورقه‌های فولادی عمودی است اما پروب‌ها با نزدیکی یک فوتی این تیرها قرار داده شد. تاثیر مشهودی بر کارایی ملاحظه نشد.

**محل نصب SH6:** لازم به ذکر است که خط راست پروب‌های دوگانه و خط چپ پروب تکی داشت. اگر چه ساختار روسازی SH6 دارای بتون آرمه فولادی است اما اصولاً "افقی قرار گرفته و تاثیر زیادی بر کارایی پروب نخواهد داشت. جدول ۳-۳ خلاصه میزان خطاها است.

**محل نصب پل FM60:** مبنای ارزیابی پل بازبینی مکرر نوارهای ویدئویی برای تعیین میزان دقیق تعداد تردد بود. جدول ۳-۴ خلاصه از میزان خطاها را که براساس خط عبور برای دو زمان شمارش جدول‌بندی شده ارائه می‌دهد.



شکل ۳-۵ ریزحلقه‌های زیر SH6



شکل ۳-۶ کانال نصب ریزحلقه‌های 3M



شکل ۳-۷ محل نصب ریزحلقه زیر پل FM60

جدول ۳-۳ میزان خطای شمارش ریزحلقه در SH6

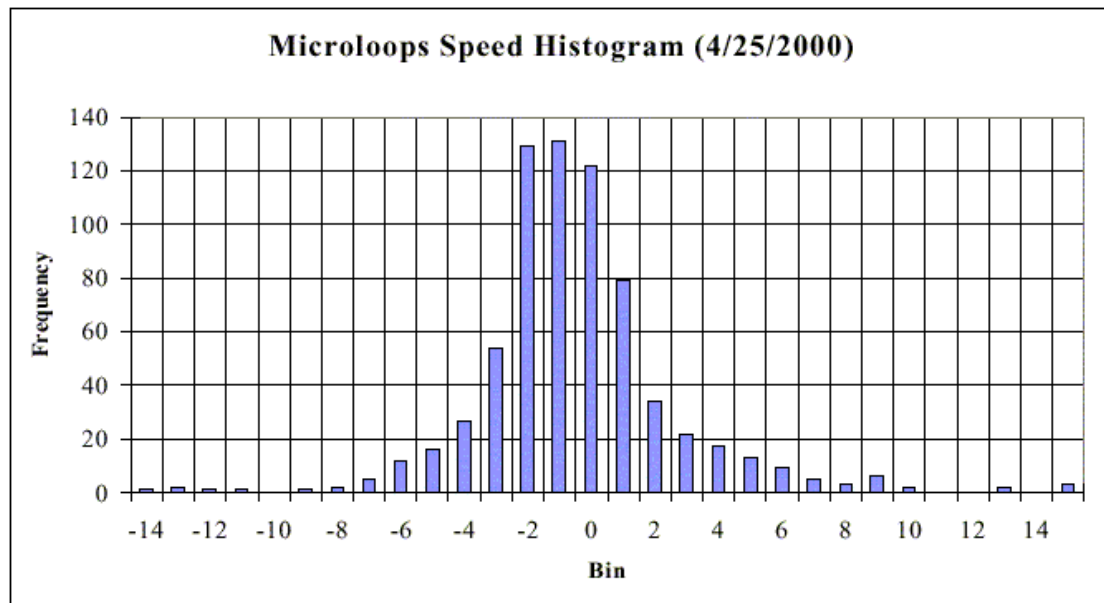
خط عبور		محدوده خطا
چپ	راست	
۴۰۴ از ۴۳۲ (۹۳.۵٪)	۴۳۲ از ۴۳۰ (۹۹.۵٪)	۰ تا ۵٪
۲۵ از ۴۳۲ (۵.۸٪)	۲ از ۴۳۲ (۰.۵٪)	۵ تا ۱۰٪
۳ از ۴۳۲ (۰.۷٪)	۰	۱۰ تا ۱۵٪

جدول ۳-۵ میزان خطای شمارش ریزحلقه در پل FM60

خط عبور			محدوده خطا
WB	چپ EB	EB راست	
۳۹ از ۲۲ (۵۶.۴٪)	۳۹ از ۳۲ (۸۴.۶٪)	۳۹ از ۲۷ (۶۹.۲٪)	۰ تا ۵٪
۱۰ از ۳۹ (۲۵.۶٪)	۶ از ۳۹ (۱۵.۴٪)	۱۱ از ۳۹ (۲۸.۲٪)	۵ تا ۱۰٪
۵ از ۳۹ (۱۲.۸٪)	۰	۱ از ۳۹ (۲.۶٪)	۱۰ تا ۱۵٪
۲ از ۳۹ (۵.۲٪)	۰	۰	۱۵ تا ۲۰٪

**دقت سرعت:** مبنای مقایسه سرعت از سیستم راداری RTMS روبرو به ترافیک خط عبوری راست اخذ شد. آماده‌سازی ریزحلقه برای آزمایش سرعت نیاز به تنظیم براساس سعی و خطا داشت فاصله واقعی پروبها ۲۰ فوت بود اما فاصله کالیبره شده درون نرم‌افزار ۲۲/۵ متر گردید. شکل ۳-۸ هیستوگرامی از تفاوت سرعتها بین ریزحلقه و رادار است. مقدار متوسط این نمونه ۰/۲۵- مایل در ساعت بود که تنظیم نزدیک را نشان می‌دهد. اثرات معیار نیز ۳/۶ مایل در ساعت بود. با توجه به تابع توزیع احتمال نرمال این نتایج آشکار می‌کند که ریز

حلقه‌ها در بازه زمانی یک دقیقه متوسط سرعت را در ۹۵ درصد اوقات ۷/۳ مایل در ساعت کمتر یا بیشتر از سرعت واقعی پیش‌بینی می‌کنند.



شکل ۳-۸ هیستوگرام سرعت ریز حلقه در مقایسه با رادار RTMS

### ۳-۱-۵-۲ هزینه دوره زندگی

اطلاعات هزینه برای ریز حلقه‌ها موجود نیست. هزینه نصب برای دو خط SM6 چندین عامل دیگر مثل سوراخ کاری، کانال کنی، جعبه‌های زمینی ریز حلقه‌ها، تقویت‌کننده‌های آشکارگرها، زمان کاری پرسنل را دارد. هزینه کنترل ترافیک به لحاظ کار در کنار جاده خیلی کم است. مجموع هزینه‌های اولیه ۹۹۰۰ دلار بود. عمر سیستم ۱۵ سال انتظار می‌رود با هزینه نگهداری ۵۰ دلار در سال، برای یک بزرگ راه شش خطه در سوراخ افقی و دو سوراخ افقی و دو پروب در هر خط هزینه سالانه سیستم ۳/۸۱ دلار خواهد بود.

### ۳-۱-۵-۳ سهولت نصب و نگهداری

نصب پروبها در کانال ساده است. پروب اول در نگهدارنده اول داخل سوراخ قرار می‌گیرد. قطعه اول طنابی دارد که برای بیرون کشیدن و نشانه‌گذاری محل پروب استفاده می‌شود. و نگهدارنده مکانهایی برای قرارگیری پروبها دارد و طول آن یک فوت است. قطعه‌های نگهدارنده به هم وصل نیستند و در داخل کانال تک‌تک قرار می‌گیرند تا در زیر جاده مرتفع شوند. آشکارگر استاندارد هم توسط کلیدها و هم نرم‌افزار قابل تنظیم است. تمامی مراحل نصب به‌خوبی مستند شده و قابل پیگیری است. تنها پارامتری که نیاز به تنظیم دارد تا دقت شمارش افزایش یابد «زمان پل» است این زمان زمانی است که «فراخوان» را برای وسایل طولیل نگهداری می‌کند و با سرعت متوسط وسیله نصب مستقیم دارد. نرم‌افزار تحت ویندوز با اطمینان کار کرده و براحتی قابل استفاده و نصب است و امکانات آن به‌راحتی فهمیده می‌شود.

## ۳-۶ آشکارگرهای پیزوالکتریک

این آشکارگرها برای تعیین نوع یا وزن وسیله استفاده می‌شود. اینها مبدلهایی هستند که نیروی فیزیکی یا وزن را به ولتاژ الکتریکی تبدیل می‌کند. حسگرهای کلاس ۱ پیزو برای تعیین وزن در حال حرکت (WIM) و کلاس ۲ برای دسته‌بندی وسایل نقلیه می‌شود. برای دسته‌بندی حسگرهای پیزو تعداد محورها را تشخیص می‌دهد در صورتی که WIM نیروی وارد بر حسگرها را اندازه‌گیری می‌کند. مشابه دیگر حسگرهای داخل روسازی راه، حسگرهای پیزو الکتریک در روسازیهای نازک یا ضعیف نباید قرار گیرد.

### ۳-۶-۱ شرکت MSI (Measurement Specialties)

TTI حسگرهای تولید شده توسط MSI در کاربردهای کلاس ۱ و ۲ آزمود. کاربردهای کلاس ۱ حسگرهای WIM موقت و ثابت را شامل می‌شود و صورتی که کاربردهای کلاس ۲ حسگرهای دسته‌بندی موقت و ثابت را شامل می‌گردید. نهایتاً وسیع‌ترین کاربرد برای استفاده حسگرهای دسته‌بندی موقت بود که در آن حالت داده‌ها برای چند روز می‌بایست جمع‌آوری می‌گردید. با دقت خاص در نصب و استفاده می‌توان حسگرها را مجدداً به کار گرفت استفاده از محافظ یا لوله‌ها محافظ در فهرست جمع‌آوری حسگرها مفید است و عمر آنها را افزایش می‌دهد. این آزمایشها با حسگر BL انجام شده و نتایج را تایید می‌کند.

#### ۳-۶-۱-۱ دقت

**دقت حضور:** TTI حسگرهای پیزوالکتریک را همراه با حلقه‌های القایی به کار گرفت. حلقه‌ها حضور وسیله را تعیین می‌کردند. حسگرهای پیزوالکتریک تعداد محورها را دقیق تعیین می‌کند اما حلقه‌ها باید باشند تا تعیین کنند محورهای شمرده شده متعلق به کدام یا چند وسیله است. بدون استفاده از حلقه‌ها دقت سیستم کاهش می‌یابد. خصوصاً در بعضی شرایط روسازی یا حالت‌های ترافیک سنگین، بعضی روسازیهای بتونی کامیونهای طولی «محورهای شبح» ایجاد می‌کند حتی اگر حلقه نیز وجود داشته باشد. در ترافیکهای سنگین یا زمانی که وسایل نقلیه نزدیک به هم حرکت کنند حسگرهای پیزو محورهای ۲ ماشین را به جای یک کامیون چهار محور، اشتباه می‌گیرد. دقت حضور برای سیستم پیزو و حلقه در محور ۸۵ تا ۹۵ درصد می‌باشد.

**دقت سرعت:** حسگرهای پیزوالکتریک محورها را به دقت تعیین می‌کند پس برای تعیین سرعت هم می‌تواند دقیق باشد. TTI دقت سرعت را آزمایش نکرده است اما تجربه‌ها نشان داده دقت سرعت قابل قبول و در محدوده مثبت و منفی ۲ تا ۴ درصد است.

#### ۳-۶-۱-۲ هزینه دوره زندگی

TTI هزینه دوره زندگی حسگرهای پیزوالکتریک را بررسی نکرده است. در آزمایش موقت آن در اواسط دهه ۹۰، عمر استفاده متفاوتی ثبت شده است. آزمایشهای جدید با حسگر BL عمر طولانی‌تری را نشان می‌دهد. هزینه اولیه سال ۱۹۹۹ برای حسگر BL در کلاس ۲ به طول ۶ فوت با کابل ۱۰۰ فوتی به تعداد ۵۰ تا ۹۹، ۲۷۰ دلار بود. برای مقایسه، طول ۱۲ فوتی با کابل ۱۰۰ فوتی ۴۳۰ دلار در سال ۱۹۹۹ بود. حسگرهای کلاس ۱ گرانتر هستند، حسگر BL کلاس ۱ به طول ۶ فوت با ۱۰۰ فوت کابل در تعداد ۵۰ تا ۹۹، ۵۱۱ دلار در سال ۱۹۹۹ بود. برای همان مقدار و طول و کابل و حسگر ۱۲ فوتی کلاس ۱ هزینه ۸۱۹ دلار در سال ۱۹۹۹ بود.



### ۳-۱-۶-۳ سهولت نصب و نگهداری

نصب حسگرهای پیزوالکتریک موقت بر روی سطح روسازی سریع و آسان است ولی نیاز به کنترل ترافیک دارد و احتمال آسیب دیدن دستگاه بالا است. برای جاده‌های چند خطه باید دقت لازم برای حفاظت کابل‌ها شود خصوصاً در خطوطی که جهت حرکت ترافیک عکس یکدیگر است. اگر وسیله‌ای دارای بخش فلزی باشد که روی جاده کشیده می‌شود امکان آسیب دیدن حسگرها زیاد است. نصب درون روسازی کار و زمان بیشتری لازم دارد. حفر یک شیار طولی پاک کردن آن و پر کردن اطراف حسگر با ملات ایوکسی از فعالیتهای نصب است. این ملات تا عبور ترافیک از روی آن نیاز به ۳۰ دقیقه زمان برای خشک شدن دارد از این رو رویه نصب خسته‌کننده و طولانی است. تخمین عمر این حسگرها ممکن نیست. TTI دو حسگر کلاس ۱ ثابت را در ۱۹۹۵ نصب کرد، اگر چه در سال ۱۹۹۸ با HMAC پوشش شد هنوز سیگنال‌های دسته‌بندی قابل قبولی تولید می‌کند.

### ۳-۷-۱ آشکارگرهای راداری

#### ۳-۷-۱-۱ آشکارگر آکیوویو

حسگر میکروویو مدل 150LX از آکیوویو وسایل نقلیه متفاوتی را در شرایط آب و هوایی مختلف تشخیص می‌دهد. آشکارگر می‌تواند در کاربردهای کنار جاده یا بر روی جاده نصب شود. برای بهترین کارایی محل نصب آشکارگر طوری باید انتخاب شود که سیگنال بازگشتی بیشترین مقدار را داشته باشد و سیگنال‌های فرعی حداقل باشد.

#### ۳-۷-۱-۱-۱-۱ دقت

**دقت حضور:** TTI دقت آکیوویو را در SH6 اندازه گرفت اگرچه آنها برای تقاطع‌ها طراحی شده‌اند. تیم تحقیق موظف بود تا آشکارگر را برای شمارش هر دو خط آماده کند و سپس با تغییر پارامترها زمانی که ماشینهای خط راست و خط چپ هم زمان حرکت کنند نتایج شمارش را تصحیح کند. آشکارگر آکیوویو در شرایط بارانی معمولی و شدید حضور دائم را نشان می‌دهد و پس از بارندگی خود را دوباره تنظیم می‌کند. در ساعات ظهر و شرایط خشک شمارش در محدوده ۱۰ درصدی نسبت به حلقه خطا داشت. آشکارگر در تقاطع نیز باید تست شود تا نتایج دقت بهتری به دست آید.

**دقت سرعت:** آشکارگر در اختیار TTI اطلاعاتی در مورد سرعت ایجاد نمی‌کند.

#### ۳-۷-۱-۲ هزینه دوره زندگی

براساس اطلاعات توزیع کننده این حسگر در نگزاس هزینه نصب و کابل کشی ۹۷۵ دلار است اما نیاز به پانل فاصل با قیمت ۱۵۰ دلار دارد. هر پانل دو آشکارگر را سرویس دهی می‌کند. کابل کشی تقریباً ۱ دلار بر فوت هزینه دارد. سازنده عمری بین ۵ تا ۱۰ سال در نظر گرفته است. پس از تنظیم کارکردهای تاخیر و حساسیت در یک محل خاص فقط یک بار دیگر می‌توان آنها را تنظیم کرد. با این اطلاعات و هزینه نگهداری سالانه ۲۰۰ دلار و عمر ۷ سال هزینه دوره زندگی برای هر دستگاه ۳۸۶ دلار خواهد بود.

### ۳-۱-۷-۳ سهولت نصب و نگهداری

پس از نصب آشکارگر آکیوویو، قادر به تنظیم و راه‌اندازی آن نبودیم. مشکل اول در سوئیچ انتخاب تبادل اطلاعات سریال بود که نیاز به تعمیر داشت. پس از نصب مجدد مشخص شد و زوج سیم کابل نیاز به روکش جداگانه دارد تا سیستم درست عمل کند. گذشته از این دو مسئله آکیوویو در شرایط بارانی شدید کار نمی‌کرد و پس از قطع باران دوباره به کار خود ادامه می‌داد.

### ۳-۲-۷-۳ آشکارگرهای RTMS

آشکارگرهای RTMS (حسگر میکروویو ترافیک از راه دور) از شرکت EIS، حسگر میکروویو جامعی است که شناسایی و نظارت به ترافیک را انجام می‌دهد. طراحی آن برای کاربردهای مدیریت بزرگراهها و کنترل تقاطع‌ها بوده است. RTMS آشکارگری است که حضور را دقیقاً تشخیص می‌دهد و علاوه بر آن حجم ترافیک، میزان اشغال خطوط عبور، سرعت، جهت، اطلاعات دسته‌بندی وسایل را در هشت ناحیه متفاوت جمع‌آوری می‌کند. اطلاعات مستقیماً به کنترل کننده داده می‌شود و با تبادل سریال به دیگر سیستمها انتقال می‌یابد. آشکارگر می‌تواند بالای جاده برای نظارت بر یک خط یا کنار جاده برای نظارت بر چند خط عبور نصب شود. تنظیم نوع کاربرد توسط کامپیوتر و یک خط ارتباطی سریال انجام می‌شود.

### ۳-۲-۷-۳ دقت

**دقت حضور:** شمارش RTMS با شمارش دو خط حلقه در SH6 مقایسه شد. شمارش‌های RTMS با حلقه خیلی نزدیک است اگر چه بیشترین جریان ترافیک در SH6 ۱۸۰۰ وسیله در ساعت برای دو خط است. جدول ۳-۵ نتایج داده‌های ۱۵ ساعت را نشان می‌دهد. TTI همچنین RTMS را در هوستون و یک بزرگ راه با حجم ترافیک بالا بررسی نمود. محل آزمون بزرگ راهی ۶ خطه بود هر خط دارای یک حلقه بود که ۶۰۰ فوت پایین‌تر از دیرک دوربین قرار داشت. محل RTMS روی دیرک با ارتفاع ۱۷ فوت از جاده بود. RTMS به شکلی تنظیم شد که سه خط را پوشش دهد و برای سه خط دیگر از یک RTMS دیگر استفاده شد.

### جدول ۳-۵ توزیع خطای RTMS

خط عبور		محدوده خطا
چپ	راست	
۶۱ از ۶۱ (۱۰۰٪)	۶۱ از ۶۱ (۱۰۰٪)	۰ تا ۵٪
۰ از ۶۱ (۰٪)	۰ از ۶۱ (۰٪)	۵ تا ۱۰٪
۰ از ۶۱ (۰٪)	۰ از ۶۱ (۰٪)	۱۰ تا ۱۵٪
۰ از ۶۱ (۰٪)	۰ از ۶۱ (۰٪)	۱۵٪

در هوستون RTMS خط عبوری ۱ را در زمان آزمایش ۵ تا ۱۰ درصد کمتر شمارش می‌کرد. در خط ۲، تا ۱۰ درصد بیشتر شمارش می‌کرد. در دو روز خط ۲ را نیز کمتر شمارش کرد ولی نه بیشتر از ۵ درصد. شمارش خط ۳ در اغلب اوقات هیچ تمایل به افزایش یا کاهش نشان نمی‌داد و خطای آن حدود ۱۰ درصد بود. فاصله تیرک تا جاده تاثیری بر کارایی RTMS ندارد. باید توجه داشت که فاصله حلقه‌ها کمی زیاد بود و امکان تعویض خط و ایجاد خطا وجود دارد.

**دقت سرعت:** دقت RTMS در حالت استفاده در کنار جاده مثبت و منفی ۱۰ درصد است اما دقت در کاربردهایی که دوربین روی خط عبور در جهت حرکت نصب می‌شود بهتر است. محققان TTI به کمک نمایندگان EIS آشکارگر رادار دوپلر RTMS را در ۲۲ فوتی بالای جاده SH6 نصب کردند. نماینده EIS آشکارگر را به جهت بهینه‌سازی دقت شمارش تنظیم کرد اما تنظیم برای سرعت هنوز نیاز بود. چند روز بعد TTI اندازه‌گیری سرعت را به کمک سیستم مادون قرمز پرولیزر II تنظیم کرد. برای این کار پرولیزر بر روی یک سه پایه در کنار جاده نصب گردید و سرعت RTMS به کمک نرم‌افزار آن قدر تنظیم شد که همسان با پرولیزر شود.

TTI مجموعه داده‌های متعددی را برای اطمینان از درستی فن‌آوری و مناسب بودن RTMS جمع‌آوری کرد. مقایسه سرعت RTMS با سیستم لیزر برای ۷۰ وسیله اندازه‌گیری سرعت خیلی نزدیکی را نشان داد. پرسنل در انتخاب وسایل دقت خاصی مبذول کردند. شرایط آنها شامل وسایلی با سرعت ثابت، وسایل در خط راست و وسایلی با فضای باز زیاد در جلوی آنها بود. ۱۵ درصد سرعت‌های اندازه‌گیری شده یکسان بود و فقط ۳۸ درصد اختلاف ۱ مایل در ساعت داشت. ۱۴ درصد ۲ مایل در ساعت اختلاف داشت و ۳ درصد ۳ مایل در ساعت. با بزرگتر شدن حجم نمونه اختلافها کمتر می‌شد و نمونه‌های بیش از ۱۰ وسیله مطلوبتر بود.

### ۲-۲-۷-۳ هزینه دوره زندگی

RTMS برای تشخیص در بزرگ راهها در حالت کنار جاده بسیار مقرون به صرفه است. هزینه دوره زندگی آزادراهی ۶ خطه با فرض یک آشکارگر برای هر جهت حرکت توسط TTI محاسبه گردیده است. هزینه اولیه آشکارگر ۳۳۰۰ دلار برای هر دستگاه است. عمر آشکارگر ۷ سال فرض شده است و هزینه نصب سیستم برای ایستگاه آزادراه ۲۰۰ دلار برای هر سیستم است. هزینه دوره زندگی سالانه با هزینه نگهداری ۲۰۰ دلار برای هر دستگاه ۱۸۸۶ دلار خواهد بود. در بعضی حالات یک آشکارگر برای هر ایستگاه در خطوط عبوری تا ۸ خط نیاز خواهد بود. در آزمون TTI حائل‌های سیمانی میانی کارایی RTMS را در سمت دور آزادراه محدود می‌کرد.

### ۳-۲-۷-۳ سهولت نصب و نگهداری

RTMS در مقایسه با دیگر آشکارگرها مشکل ساعت داخلی دارد. برنامه راه‌اندازی RTMS شمارش یک خط را انجام می‌دهد اما نرم‌افزار شمارش را برای ۶۰ ثانیه اول در بعضی زمانها انجام نمی‌دهد. نرم‌افزار در هر دو حالت کاربرد، مناسب کار است. نگهداری RTMS پس از نصب و تنظیم خیلی کم پیش می‌آید. TTI در نظر دارد آزمونهای طولانی مدتی را برای تعیین بهتر استواری سیستم در مدت زمان استفاده اجرا کند.

### ۳-۷-۳ آشکارگر راداری ولن

در بخش هوستون رادار دوپلر ولن (مدل ترکر) برای نظارت بر بزرگراه نصب شد. اجرای کامل آزمون سرعت بر روی بزرگراه انجام گرفت.

### ۱-۳-۷-۳ دقت

**دقت حضور:** نمونه‌ای از آشکارگر ولن موجود است که برای تشخیص حضور استفاده می‌شود با این حال این نمونه مورد آزمایش قرار نگرفت.

**دقت سرعت:** نتایج آزمون TTI در هوستون نشان دارد که آشکارگر راداری ولن در مقاطع ۲ و ۳ خط از بزرگراه نتایج قابل قبولی تولید می‌کند. در نمونه‌ای ۱۰۲ رسید میانگین اختلاف ۰/۰۲- مایل بر ساعت و انحراف معیار ۱/۵۱۵ مایل بر ساعت بود. نود و دو درصد مقایسه‌های زوجی وسیله در محدوده ۲ مایل بر ساعت بود(۹).

### ۲-۳-۷-۳ هزینه دوره زندگی

هزینه اولیه و دوره زندگی در دسترس نیست.

### ۳-۳-۷-۳ سهولت نصب و راه‌اندازی

آشکارگر ولن به راحتی نصب و نظارت می‌شود. این آشکارگر خروجی سرعت را به کمک LCD نمایش می‌دهد اما تعیین آن که سرعت متعلق به کدام وسیله است مشکل است. عموماً آشکارگر سرعت کامیون را قبل از سرعت ماشین تعیین می‌کند بنابراین پرسنل اجرایی سعی بر جداسازی کامیونها برای مقایسه سرعت کردند. تعیین سرعت نزدیک شدن در مقایسه با سرعت دور شدن با مجموعه‌ای از کلیدها قابل انجام است.

## ۸-۳ آشکارگرهای تصویر ویدئویی

TTI چندین آشکارگر تصویر ویدئویی (VIDS) را آزموده اما بر روی اتواسکوپ ۲۰۰۴ و ترافیک ویژن سنتور و ویدئوترک ۹۰۰ متمرکز شده است. هر سه در محل آزمون ایستگاه کالج بررسی شده‌اند و آزمونهای محدودی در هوستون بر ای نستور و اتواسکوپ انجام گرفت.

### ۲۰۰۴ اتواسکوپ ۱-۸-۳

TTI اتواسکوپ ۲۰۰۴ را در هوستون آزمود. روند آنالیز داده، شمارش وسایل در یک خط عبور در زمانهای یک دقیقه را جمع‌آوری کرد تا یک بازه ۱۵ دقیقه‌ای بسازد و با مقایسه آنها با مقادیر حلقه به اتمام رسید.

### ۱-۱-۸-۳ دقت

**دقت حضور:** جدول ۳-۶ خلاصه آخرین آزمونهای TTI را نشان می‌دهد محدوده خطای اتواسکوپ در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای است. در مجموع ۶۱ بازه ۱۵ دقیقه‌ای نمونه‌برداری شد. ۹۸ درصد بازه‌های خط عبور راست خطای ۵ درصد نسبت به حلقه داشت. خطا عبور چپ به همان اندازه خوب نبود و زیر ۸۷ درصد بود.

### جدول ۳-۶ توزیع خطای RTMS

محدوده خطا	خط عبور	
	راست	چپ
۰ تا ۵٪	۶۱ از ۶۰ (۹۸.۴٪)	۵۳ از ۶۱ (۸۶.۹٪)
۵ تا ۱۰٪	۱ از ۶۱ (۱.۶٪)	۷ از ۶۱ (۱.۵٪)
۱۰ تا ۱۵٪	۰ از ۶۱ (۰٪)	۱ از ۶۱ (۱.۶٪)
< ۱۵٪	۰ از ۶۱ (۰٪)	۰ از ۶۱ (۰٪)

**دقت سرعت:** TTI دقت سرعت را برای اتواسکوپ ۲۰۰۴ در آزمونهای اخیر که از آخرین نمونه تولیدات استفاده شد بررسی نکرد.

### ۲-۱-۸-۳ هزینه دوره زندگی

کمیسیون راه بخش اوکلند (RCOC)، ایالت میشیگان، بیشترین تعداد نصب سیستمهای آشکارسازی ویدئویی را در ایالات متحده دارد. RCOC هزینههای نصب و نگهداری اتواسکوپها و لوازم مرتبط به آنها را مستند کرده است. در آخرین گزارشها مبلغ مزایده برای پردازشگر ۲ کاناله ۲۵۲۰۰ دلار برای پردازشگر چهار کاناله ۲۰۱۷۵ دلار و برای پردازشگر شش کاناله ۳۶۱۷۵ دلار بود. هزینه یک دوربین به همراه واحدهای جداکننده خطی (بهمنظور بهبود سیگنال تصویری) حدود ۲۵۰۰ دلار برای هر دوربین بود. با محاسبه مقدار متوسط مقادیر RCOC می توان انتظار داشت ۵/۰۵ دلار هزینه نگهداری ماهانه دوربین و ۲۶/۷۱ دلار هزینه نگهداری پردازنده باشد. هزینه سالانه سیستم برای آزادراهی شش خطه (یک دوربین برای هر مسیر حرکت با استفاده از دیرکها یا تکیه گاههای موجود) ۴۵۰۸ دلار خواهد بود.

### ۳-۱-۸-۳ سهولت نصب و نگهداری

نصب کننده، موارد متعددی را برای کامپیوتر نصب نمود. اولین قدم ایجاد ارتباط سریال RS232 با اتواسکوپ بود. تنظیمات مربوط به کاربر داده شد مانند: ویدئو، زمان، واحد اندازه گیری، طول و عرض جغرافیایی، برش زمانی، پارامترهای تله سرعت، پارامترهای اختلاس سرعت، سطح سرویس دهی و تنظیمات اتواسکوپ، سپس کاربر به منوی دوربین مراجعه می کرد و برای هر خط عبور در تصویر ویدئویی محل حسگرهای حضور و شمارش را می کشید. برای جلوگیری از مسدود شدن آشکارگرها به هم متصل می شوند و نهایتاً تله سرعت رسم می شود. آخرین قدم ذخیره سازی فایل آشکارگر و ارسال آن به اتواسکوپ است در نتیجه راه اندازی پیچیده است و برای حصول کارایی تجربه لازم است.

### ۲-۱-۸-۳ ترافیک ویژن نستور

حسگر هوشمند نستور به نام ترافیک ویژن، سیستم آشکارسازی ویدئویی است از نرم افزار و سخت افزار کامپیوتری برای تشخیص الگو. این سیستم بر اساس برنامه های هوشمند شبکه عصبی عمل می کند که تصویر را دیده و تصاویر را تشخیص می دهد. سیستمهای ترافیک ویژن به کمک شبکه عصبی نستور و تراشه شتابدهنده تشخیص NI4000 نشان داده که می تواند اطلاعاتی در بزرگراهها ایجاد کند که هیچ سیستم رقیبی قادر نیست. ترافیک ویژن در گستره وسیعی از کاربردها استفاده می شود مثل نظارت بر بزرگراهها، دریافت عوارض، تقاطع راه آهن، مطالعات ترافیک و جاده، طرحهای اجتماعی. براساس اطلاعات فروشنده، بیش از ۱۲ نوع داده تولید می شود که شامل شمارش سرعت تا تغییر مسیر و اشغال مسیر و دسته بندی وسایل نقلیه است.

### ۱-۲-۸-۳ دقت

**دقت حضور:** جدول ۳-۷ نتایج شمارش نستور را در محل آزمون نشان می دهد. نتایج مربوط به دوره زمانی ۲۴ ساعته است. خطاهای در شب و زمان تغییر روشنایی بدتر از زمان روشنایی است. برای مشخص کردن این نکته درصد متوسط خطا از ۷ صبح از ۷ عصر ۱/۸+ درصد برای خط عبور راست و ۴/۸+ درصد برای خط عبور چپ بود.

**دقت سرعت: TTI** دقت سرعت برای ترافیک ویژن نستور را بررسی نکرد.

### جدول ۳-۶ توزیع خطای ترافیک ویژن نستور در SH6

خط عبور	محدوده خطا	
	راست	چپ
۳۶ از ۶۱ (۵۹٪)	۴۱ از ۶۱ (۶۷.۲٪)	۰ تا ۵٪
۷ از ۶۱ (۱۱.۵٪)	۱۲ از ۶۱ (۱۹.۷٪)	۵ تا ۱۰٪
۴ از ۶۱ (۶.۶٪)	۵ از ۶۱ (۸.۲٪)	۱۰ تا ۱۵٪
۱۴ از ۶۱ (۲۳٪)	۳ از ۶۱ (۴.۹٪)	۱۵٪

### ۲-۲-۸-۳ هزینه دوره زندگی

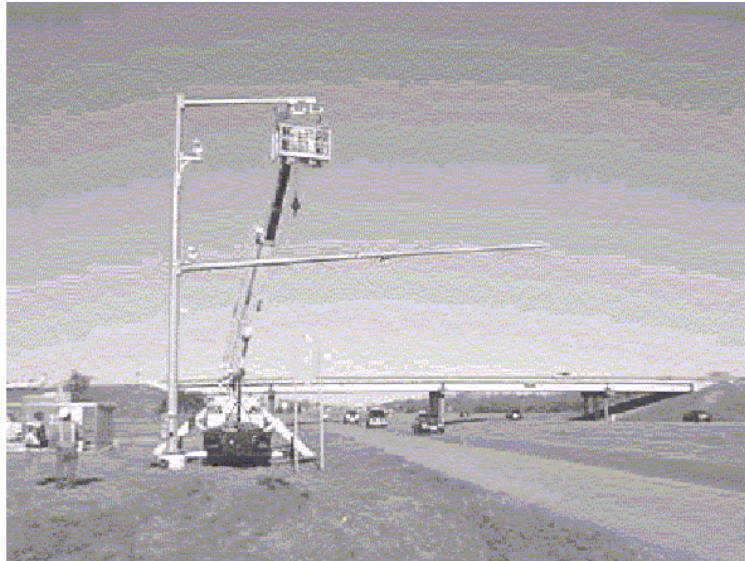
هزینه اولیه سیستم نستور تقریباً ۲۰۰۰۰ دلار است. هزینه‌های طولانی‌مدت برای تعیین هزینه دوره زندگی در دسترس نبود. پیش‌بینی می‌شود که به‌مانند اتواسکوپ هزینه سالانه ۴۵۰۸ دلار محاسبه شود.

### ۳-۲-۸-۳ سهولت نصب و نگهداری

کامپیوترهای نستور حرارت زیادی تولید می‌کند از این رو فن‌هایی باید در کابینت قرار داشته باشد. مسئله دیگر کند کار کردن ساعت کامپیوتر است که تقریباً در هر ساعت ۵ ثانیه می‌باشد و راه حل آن نصب کارت مربع زمانی است. TTI نقاط مرجع بر روی جاده را اندازه‌گیری کرده و آنها را برای تنظیم به دستگاه وارد نمود. نرم‌افزار کامل مناسب کار بر طراحی شده است. سیستم نستور به همراه نرم‌افزار کاربردی برای کمک به مراحل نصب ارائه می‌شود که باعث شده تنظیم خیلی ساده و سریع انجام شود. نصب کننده باید یک نقطه مرجع را روی زمین اندازه گرفته و این فاصله و ارتفاع دوربین را به سیستم وارد کند. یک مشکل راه‌اندازی از نظر تحقیق این است که کامپیوترها باید به هم شبکه شوند تا کاربر با آنها تبادل اطلاعات کند. هر واحد هیچ صفحه کلید یا صفحه نمایش برای این منظور ندارد. تمام تنظیمات به کمک کامپیوتر شبکه از راه دور صورت می‌گیرد.

### ۳-۱-۳ ویدئوترک ۹۰۰

ویدئوترک ۹۰۰ از شرکت پیک (Peak) سیستمی برای تشخیص و ردیابی وسایل نقلیه به کمک تصاویر ویدئویی است. دوربین استفاده شده در این سیستم از سری TC590 فیلیپس با وضوح تصویر CCD تک رنگ است و از لنز قالب 1/3 اینچی با عمق زوم ۸ میلی‌متر استفاده می‌کند. دوربین دارای لنز اتوماتیک و فیلتر مادون قرمز است. TTI دوربین پیک را در ۴۰ فوتی بالای جاده بر روی بازوی اصلی ۱۵ فوتی نشان داده شده در شکل ۳-۹ و ۱۹ فوت دورتر از خط عبور خارجی (اندازه‌گیری شده با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جاده) نصب کرد.



شکل ۳-۹ نصب دوربین پیک در ۴۰ فوتی بالای جاده

### ۳-۸-۱-۳ دقت

**دقت حضور:** دقت شمارش در تاریکی نسبت به ساعات روشنایی بدتر بود (فروشنده اعلام کرده بود که روشنایی جاده لازم است). بنابر این نتایج جدول ۳-۸ بازه زمانی بین ۷ صبح و ۵:۳۰ عصر است. شمارش آشکارگر کارایی کمتری در باران و شب دارد افت دقت در جدول ۳-۹ بیشتر ناشی از روسازی تر شده است (بازتاب چراغهای ماشین) و نه بخاطر کاهش دید چون میزان بارندگی کم تا متوسط بود. تنظیم توسط کارشناسان پیک از راه دور باعث شد تا دستگاه خطای افزایش شمارش ثابتی در شب داشته باشد.

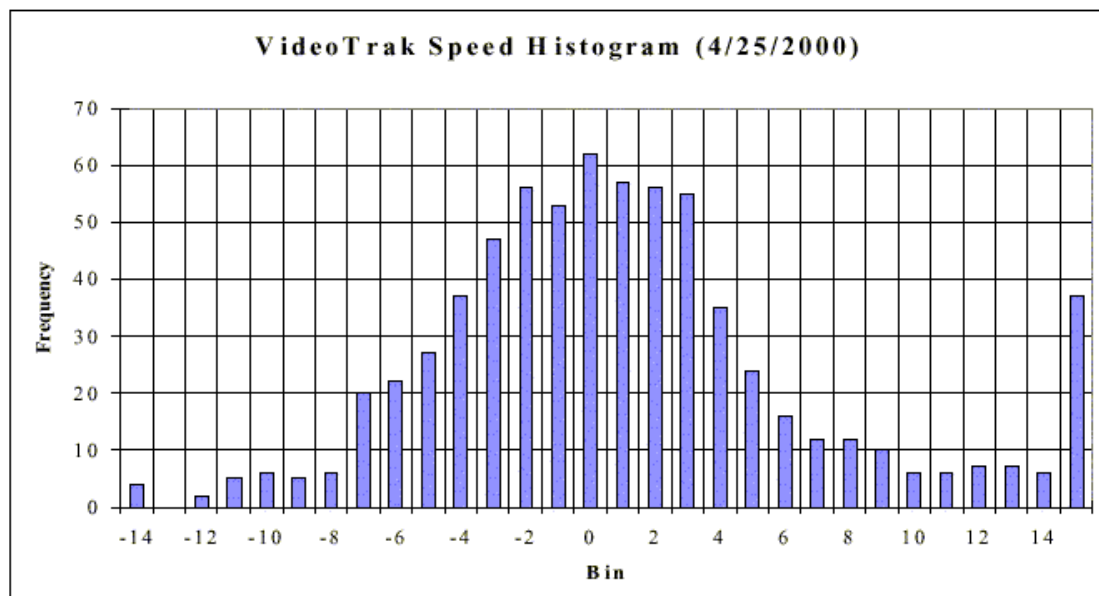
### جدول ۳-۸ میزان خطای شمارش ویدئوترک در روز بر SH6 در آب و هوای خشک

خط عبور		محدوده خطا
چپ	راست	
۲۶۸ از ۲۹۴ (٪۹۱.۳)	۲۷۸ از ۲۹۴ (٪۹۴.۶)	۰ تا ۱۰٪
۲۲ از ۲۹۴ (٪۷.۵)	۱۶ از ۲۹۴ (٪۵.۴)	۱۰ تا ۲۰٪
۴ از ۲۹۴ (٪۱.۳)	۰	۲۰ تا ۳۰٪

### جدول ۳-۹ میزان خطای شمارش ویدئوترک در روز بر SH6 در آب و هوای مرطوب

خط عبور		محدوده خطا
چپ	راست	
۱۸ از ۱۸ (٪۳۳.۴)	۹ از ۲۰ (٪۴۵)	۰ تا ۱۰٪
۱۸ از ۱۸ (٪۳۳.۴)	۸ از ۲۰ (٪۴۰)	۱۰ تا ۲۰٪
۱۸ از ۱۸ (٪۳۳.۴)	۲ از ۲۰ (٪۱۰)	۲۰ تا ۳۰٪
۰	۰	۳۰ تا ۴۰٪
۰	۱ از ۲۰ (٪۵)	۴۰ تا ۵۰٪

**دقت سرعت:** نتایج سرعت در ویدئوترک میانگین  $1/4+$  مایل در ساعت و انحراف معیار  $6/9$  مایل در ساعت را نشان می‌دهد چون سرعت مثل شمارش نتایج بدتری در ساعات شب داشت (احتمالاً به‌خاطر عدم روشنایی جاده) داده‌هایی برای آن ساعت فراهم نشد. داده‌ها و نتایج برای شرایط روز و آب و هوای خشک به جز یک روز است. کارایی در هنگام باران بدتر از آب و هوای خشک بود. هیستوگرام زیر مقایسه ویدئوترک و RTMS است میانگین همچنین نشان می‌دهد که سرعت معمولاً بیشتر ثبت شده است. ستون بلند در منتهی‌علیه راست شکل ۳-۱۰ تواتر سرعت بالای ۱۴ مایل در ساعت را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ هیستوگرام سرعت ویدئوترک در مقایسه با RTMS

### ۲-۳-۸-۳ هزینه دوره زندگی

هزینه اولیه پردازشگر آشکارساز ویدئوترک ۹۰۰ برای TTI ۱۰۰۰۰ دلار بود و ارتقاء نرم‌افزار برای TTI هزینه‌ای نداشت. هزینه معمول پردازشگر باید بیشتر از مقداری که TTI پرداخته باشد احتمالاً حدود ۲۰۰۰۰ دلار، هزینه زمان شده توسط پرسنل برای راه‌اندازی و تنظیم سیستم ۱۵۰۰ دلار برآورد شده است. دوربین، لنز، پوشش، کابلها و دیگر اجزای لازم با ۱۷۰۰ دلار هزینه در مجموع ۱۳۲۰۰ دلار می‌شود با فرض آن که پایه و عمل و نصب دوربین آماده باشد. هزینه سالانه برای آزاد راه ۶ خطه به‌اضافه هزینه ۲۰۰۰۰ دلاری اولیه پردازشگر در دوربین و هزینه‌های نگهداری RCOC و عمر ۱۰ ساله ۳۸۶۱ خواهد.

### ۳-۳-۸-۳ سهولت نصب و نگهداری

سخت‌افزار ویدئوترک ۹۰۰ نسبتاً راحت نصب می‌شود درگاه ارتباطی به یک کامپیوتر وصل می‌شود. نرم‌افزار ویدئوترک تحت ویندوز مستندات نصب سخت‌افزار و مشاهده تصاویر دیجیتال دارد. پیکره‌بندی نرم‌افزار یکی از مشکلترین تنظیمات در بین ابزارهای آزمون شده بود. مستندات نرم‌افزار شامل راهنمایی‌های لازم به‌پراتور برای تنظیم اکثر پارامترها تعریف نوار ردگیری و مناطق شناسایی نبود برای شمارش صحیحتر نبود. نرم‌افزار تحت ویندوز به راحتی قابل نصب و استفاده بود اما هر از گاهی متوقف می‌شد.



### ۳-۱-۴ یافته عمومی مربوط به VID

یافته‌های عمومی مربوط به سیستم VIDS بدست آمده که منحصر به یک محصولات خاص نیست. یک محل استقرار دوربین که توسط فروشنده پیشنهاد می‌شد با سیاست بخش حمل و نقل تگزاس یا محل‌های نصب موجود مغایر بود. دوربینهایی که دقیقاً بالای خط عبور نصب می‌شوند بهترین نتایج را می‌دهند. بخش حمل و نقل مایل نبود که دوربین روی خط عبور بزرگراه نصب شود بنابراین این دقت VIDS کمتر از حد مطلوب بود. در تقاطعها، دوربین بر روی پایه چراغها و به کمک بازوهای بالابرنده در ارتفاع مناسب نصب می‌شود. دوربین اتواسکوپ به نحو خاصی باید چرخیده و جهت داده شود تا زاویه نسبتاً تندی با سطح افق داشته باشد که بتوان کارایی بهینه از آن گرفت. سیستمهای ردیابی از زاویه‌های بازتر استفاده می‌کنند.

حداکثر خطوط عبور برای یک دوربین بدون انسداد، ۳ خط است. وسایل نقلیه بلند کوچکترها را می‌پوشانند و یا در خط مجاور هم شمارش می‌شوند. بنابراین این نصب کنندگان نباید سعی در پوشش بیش از ۳ خط عبور با یک دوربین نمایند. این مطلب هم برای بزرگراهها و هم برای تقاطعها یکسان است.

نوع و کیفیت حسگر ویدئویی (دوربین) دقت کل سیستم را دیکته می‌کند. دوربین تک رنگ ۱۰ برابر حساستر به نور است تا دوربین رنگی، بنابراین برای سطوح با روشنایی کم یا در شب دوربین تک رنگ بهتر عمل می‌کند و وضوح تصویر بالاتری نسبت به دوربین رنگی دارد. بدون دیافراگم اتوماتیک، تغییرات محدود شرایط فوری خروجی‌های بی‌فایده‌ای برای VID تولید می‌کند. همچنین فیلتر مادون قرمز درخشندگی نور خورشید و یا چراغهای جلوی ماشین را گرفته دقت تشخیص را افزایش می‌دهد.

### ۳-۹ خلاصه یافته‌های آشکارگرها

دقت، هزینه دوره زندگی و سهولت استفاده برای تصمیم‌سازان به‌منظور انشعاب مناسبترین سیستم آشکارسازی اهمیت دارد. حلقه‌های القایی چندین سال مورد استفاده بوده است، بنابراین مهندسان ترافیک نباید انتظار داشته باشند. آشکارگرهای خارجی جدید بدو در همه حالات جانشین حلقه‌ها شوند. آشکارگرهای خارجی فایده‌های در مقایسه با حلقه‌ها دارند اما هیچکدام دقت یکسان در تمام شرایط آب و هوایی و نوری ندارند حتی اگر به‌خوبی نصب و نگهداری شوند. مورد مهم دیگر و قابل توجه درباره پتانسیل فن‌آوریهای جدید سازگاری پروتکل‌های انتقال اطلاعات حسگرهای مختلف آنهاست.

دو مسئله اصلی درباره حلقه‌ها باید اشاره شود. اول میزان خطای نسبتاً بالا در بعضی تشخیص‌های آنهاست و دیگری این که آنها مناسبترین آشکارگر برای محل‌هایی خاص مثل روسازیهای نامناسب، سازه‌ها و خطوط راه‌آهن نیستند. هم‌اکنون یک آشکارگر یافت نمی‌شود که نیازهای آشکارسازی و جمع‌آوری داده‌ها هم برطرف کند. در ترافیکهای سنگین شهری نصب و نگهداری سیستمهای داخل روسازی هم پرهزینه و هم خطرناک برای پرسنل نصب و نگهداری است. پاسخ این معضل قضاوت مهندسان را در این مورد لازم دارد که آیا دقت حاصل می‌شود و تا چه حد و اندازه.

اختیارهای ماندنی دیگری درباره آشکارگرها در مقابل حلقه‌ها وجود دارد. آژانسها تحقیقات و آزمایشهای دیگران را برای بهترین تصمیم‌گیری نیاز دارند. تحقیق TTI مستندات تحقیقات در دسترس را بررسی نمود و

آزمونهای میدانی به منظور تعیین سطح کارایی بعضی از این سیستمها اجرا کرد. این کار تنها شروع ایجاد یک پایگاه دانش درباره بعضی از این سیستمهای جدید است. این مواد باید اغلب براساس تغییرات سیستم موجود و اختراع سیستمهای جدید به روز شود. سطح مهارت مورد نیاز و حجم تنظیمات لازم برای این حسگرهای جدید در موردی هستند که باید جهت بررسی کامل هر سیستم خارجی در نظر گرفته شود.

## فصل ۴: تجارب حلقه‌های القایی

### ۴-۰ معرفی

حلقه‌ها با وجود تولید آشکارگرهای خارج از جاده متعدد هنوز ممتازترین آشکارگر برای تشخیص در بزرگراه‌ها هستند. انتظار می‌رود حلقه‌ها تا چند سال پیش رو ماندنی باشند. اگر حلقه‌ها به خوبی و مناسب نصب و نگهداری شود و شرایط روسازی جاده خوب باشد حلقه‌ها برای اکثر کاربردها بهترین حسگر در تمام شرایط آب و هوایی و روشنایی هستند. فهم بهتر عملکرد حلقه باعث بهبود کارایی و طول عمر استفاده آن می‌شود. ضمیمه خلاصه‌ای از تحقیق قدیمی TTI درباره حلقه‌های القایی دارد.

### ۴-۱ تجربه‌ها

#### ۴-۱-۱ بخش پاریس

در ۹۸ تقاطع از ۱۷۶ تقاطع بخش پاریس سیستم راه اندازی شده است. یکی از تقاطع‌ها حلقه‌های اجرا شده دارد. مشکلی که بخش با پروسه اره برش دارد در گوشه‌ها است. زمانی بخش گوشه‌ها را با دریل یک و یک چهارم سوراخ کرد. هدف گرد ساختن گوشه‌ها و کم کردن شباهت توده روسازی با عایق سیم حلقه بود. بخش روش دیگری به کار گرفت که در آن گوشه‌ها با ابزار اتوماتیکی برداشته می‌شد. در هر حال پیمانکار مواد بیشتری بر می‌داشت و حفره بزرگی ایجاد می‌کرد که با مواد پر می‌شد. این حالت ناحیه‌ای تضعیف شده ایجاد می‌کرد که تبدیل به حفره‌ای می‌شد که عدم کارایی حلقه‌ها را باعث می‌گردید. بخش هم اکنون به برشهای ۴۵ درجه در گوشه‌ها بازگشته است. مشکل برشهای قطری طول برش بیشتر و ایجاد مثلث‌های به هم پیوسته است که نهایتاً از هم جدا شده و دوباره ایجاد حفره و عدم کارایی حلقه را به دنبال دارد.

نود درصد عدم کارایی حلقه عوامل غیرطبیعی مثل آسیب رساندن شرکتهای خدماتی به حلقه‌ها و یا خراش دادن سطح سواره‌رو آزاد راه است. یک راه حل برای ده درصد خطاهای طبیعی استفاده از داکت (duct) برای حلقه است. وضعیت مشکل دیگر حلقه‌ها (بدون داکت) که باعث ایجاد یک خطا در هر سه بار در است تداخل بین آسفالت و بتون در محل‌هایی مثل شانه‌هاست که روسازی جاده بتونی و شانه آسفالتی است. داکت این مسئله را از حالت مشکل خارج ساخته است.

تقویت کننده‌های حلقه می‌توان منبع مشکلات باشند. بخش مشکلاتی با تقویت کننده‌های سیستم آشکارگر داشت. واحد نصب شده در قفسه نسبت به حرارت حساس بود و با تغییر حرارت تشخیص نادرست می‌داد. بعضی اوقات حضور را اعلام می‌کرد و تا زمانی که دستی راه اندازی نمی‌شد آن حالت را نگه می‌داشت. مشکل دیگر آنها تنظیم حساسیت برای ترافیک با سرعت بالا خصوصاً کامیون‌های بزرگ است، مشکل زمانی رخ می‌دهد که حساسیت برای تشخیص کامیون به اندازه کافی بالا تعریف شده است و آشکارسازی خطایی رخ می‌دهد که احتمالاً بخاطر هم‌شنوایی بین کارتهای آشکارگرهای دو کاناله است. پرسنل ممکن است زمان زیادی صرف تنظیم حساسیت کنند گاهی بر عکس کردن قطبیت حلقه در قفسه مجاور حلقه برای حل مسئله کافی نیست.

بخش در حال تهیه تقویت کننده‌های بهتر است، آنها نصب را با تنظیم حساسیت در سطح متوسط شروع می‌کنند و آن را آنقدر بالا می‌برند تا کامیون را تشخیص دهد.

این بخش حلقه‌ها را در جهت عقربه‌های ساعت بست و ورودی هر حلقه را نشان زد. در قفسه قطبیت برای خطوط عبوری کنار هم برعکس شد، اغلب پیمانکاران نشانه زدن را درک نمی‌کردند چون به نظر می‌آمد بدون این کار نیز حلقه درست کار می‌کند و نیازی به سری کردن آنها نیست (ورودی به سیم سفید به حلقه A و وصل سیم سیاه حلقه A به ورودی سفید حلقه B و سیم سیاه حلقه B به خروجی). در هشتاد درصد مواقع استفاده از تکنیک عکس کردن قطبیت برای خطوط عبور مجاور مشکلات را کاهش می‌دهد.

حلقه‌ها عموماً سری به یکدیگر وصل می‌شوند در این حالت خاصیت القایی افزایش می‌یابد. اگر چندین حلقه به یک کابل ورودی وصل شود خاصیت القایی به یک عامل تبدیل می‌گردد. تقویت کننده‌های حلقه محدوده خاصیت القایی بین حدود ۲۰ میکرو هانری تا ۲۰۰ میکرو هانری دارند. ورودی حلقه برای هر متر دارای ۰،۲۲ میکرو هانری خاصیت القایی است. قاعده اصلی این است که خاصیت القایی حلقه‌ها از کابل ورودی بیشتر باشد. یافته این بخش کارایی عالی در محدوده ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو هانری بوده است. گاهی خاصیت القایی ۱۵۰۰ فوت کابل از حلقه‌ها بیشتر می‌شود و به ۳۳۰ میکرو هانری می‌رسد. بدین منظور قبل از هر تغییری، پارامترهای مختلف در قفسه بررسی می‌شود. کارمندان در فرمهایی که خود تهیه کرده اند فرکانس، خاصیت القایی، مقاومت، عامل Q تزریق و دلتای L را ثبت و در قفسه برای استفاده بعدی قرار می‌دهند.

بخش این مقادیر را با محکی که از موسسه توسعه تقاطعها خریده است و ILA-550 نام دارد چک می‌کند و قیمت آن حدوداً ۸۰۰ دلار است. این دستگاه حسگری ذغالی دارد که با وصل شدن به محک، میدان مغناطیسی را اندازه می‌گیرد. نمونه ای دارای سربند توان (power header) در جایی که خیلی به کار می‌آمد خوب عمل نکرد. محک، میدان مغناطیسی را کمی بیش از سربند توان نشان می‌داد که باید برعکس می‌بود. پس از اعلام موضوع به مسئولین، آنها دریافتند که دستگاه نامناسب سیم پیچی شده است. بخش هم اکنون یک محک دارد اما در نظر دارد یک یا دو دستگاه دیگر خریداری کند.

اتصال سیم حلقه‌ها به واحد با دقت باید انجام شود تا مشکلی با مرور زمان ایجاد نشود. زمانی بخش از نوعی پوشش چسبی برای محافظت از اتصال و پوششهای سیمها استفاده کرد. مشکل این فن آوری استفاده زیاد از سیم و برشهای طولانی برای اتصال آنها بود که باعث اسراف و کم آمدن سیم برای اتصالات بعدی بود. بخش سپس از محصول DBY-6 از 3M استفاده کرد که مومی غیر رسانا است. هم اکنون فقط انتهای سیم برای ایجاد اتصال جدید بریده می‌شود.

همچنین یکبار در بخش، انتهای داکت حلقه و پوشش سیمها در محل اتصال درون محفظه قرار گرفت با این وجود داکت رطوبت را خارج می‌کرد بنابراین در رویه، داکت برش داده شده و با فاصله نسبت به سیم اتصال قرار گرفت. اگر رطوبت جذب شده تخلیه نگردد در محل اتصال مشکلاتی بروز خواهد کرد. چراغ تقویت کننده حلقه در این حالت چشمکهای غیر منظم زده و به خطا حضور وسیله را اعلام می‌کند. پوشش 3M برای درزگیری استفاده شده و اتصال را محافظت می‌کند.

مشکل دیگری که این بخش با پیمانکاران داشت اتصال سیم زمین بود. هدف اتصال به زمین قفسه‌ها بود با این حال در نقاط اتصال سیمهای پوشش دار اگر عایق بندی نداشته یا پوشش آنها خرابی داشته باشد می‌تواند

اتصال به زمین ایجاد کند. شیارها سرانجام آب را به داخل خود هدایت می کنند بنابراین لازم است که دو سر حلقه‌ها و سیمهای آنها و هم داکت حلقه قبل از نصب عایق بندی شود.

حلقه‌های اجرا شده فقط در یک تقاطع نصب گردیده است. روسازی این تقاطع به خاطر زیبایی با آجر انجام شده بود و حلقه‌ها باید زیر آجر نصب می شد. نصب شامل برداشتن آجرها، نصب آشکارگر و جایگذاری آجرها بود. این حلقه‌ها ۸ سال بدون مشکل در حال کارکردن هستند.

## ۴-۱-۲ بخش لافکین

اغلب مشکلات حلقه‌ها در بخش لافکین به علت آسفالت نازک یا عمیات شیارزنی است. هیچ شهری در بخش بیش از ۵۰۰۰۰ نفر جمعیت ندارد یعنی بخش نصب و نگهداری همه آشکارگرها را بر عهده دارد. مشخصات فنی مورد استفاده شامل برش به عمق ۳ اینچ است اما ضخامت آسفالت در تمام شهرها کمتر از ۳ اینچ است و بخش مجبور شد برای آنکه برش به مواد لایه‌های اساس نرسد، برش کمتر از ۳ اینچ را انتخاب کند.

مرحله نصب حلقه‌ها برای رسیدن به موفقیت نهایی بسیار مهم و حیاتی است. پروسه با سوراخ کردن گوشه‌ها با مته یک و یک چهارم اینچی بهبود داشته است. مورد مهم دیگر سختی سیمها است. نصب در خطوط میانی دقت بیشتری برای سیمهای آزاد در زمان تکمیل عملیات نصب لازم دارد. از پیمانکاران خواسته شد تا از عبور بر روی سیمهای آزاد جلوگیری کنند. تراشه‌های ناشی از برش ذاتاً برنده اند و می توانند با قرار گرفتن روی سیم و فشار ناشی از عبور عایق بندی سیم را از بین ببرند. اگر آزمایشهای مگر (megger) مشکلات عایق بندی را آشکار ساخت پیمانکاران باید حلقه را مجدداً اجرا کنند. نتایج آزمایشهای مگر معمولاً در قفسه نگهداری می شود.

## ۴-۱-۳ شهر آرلینگتون

مشخصات فنی نصب مورد استفاده شهر آرلینگتون (اصولاً برای کاربردهای اعلانی) بعضی از جزئیات نصب حلقه را بیان می دارد که انجام آنها کارایی بهتر و عمر بیشتر حلقه را باعث می شود. بعضی از این جزئیات عبارت اند از پهنای حلقه، فاصله از حلقه‌های دیگر، خط عبور اصلی و کناری، عمق برش، اجرای گوشه‌ها، پاک کردن برش اری، جهت قرار دادن سیمهای حلقه و روالهای آزمون حلقه (۱۰).

حلقه‌ها در وسط خط عبور قرار می گیرند. پهنای حلقه بیش از ۶ فوت و کمتر از ۴ فوت نخواهد بود. اگر کمتر از ۴ فوت شود خل تنظیم نمی شود و اگر بیش از ۶ فوت شود عمل شناسایی به درستی انجام نمی شود. پهنای حلقه‌ها همچنین به پهنای خط عبور بستگی دارد. آرلینگتون از حلقه با پهنای ۴ فوت برای خطوط عبور با عرض کمتر از ۱۰ فوت و حلقه‌های با عرض ۵ فوت برای خطوط عبور با پهنای بیش از ۱۰ فوت استفاده کرد. فاصله بین حلقه‌ها در خطوط مجاور کمتر از ۴۸ اینچ نیست فاصله از خط محور وسط ۳۶ تا ۴۸ اینچ و ۳۶ تا ۴۲ اینچ از کناره‌ها است. عمق برش دز سیمان یک تا یک و یک چهارم اینچ و در آسفالت یک و نیم تا دو اینچ است. گوشه‌های برش اری با مته سوراخ و یکنواخت می شود تا عایق بندی خراب نشود. شیار با آب تحت فشار یا هوای فشرده پاکسازی می شود. سیم کشی با علامت گذاری شروع سیم با نوار زرد و حرکت در جهت عقربه ساعت انجام می شود. حلقه ۶ فوت در ۶ فوت در سیمان و آسفالت چهار دور می خورد. بیش از پوشش دادن

فرکانس و خاصیت القایی در جعبه کنترل تست می شود. مقادیر مطلوب برای مقایسه در مشخصات فنی آمده است. همچنین نحوه اتصالات در مشخصات فنی آمده است. در اتصالات از NC-1610 والدوم و عایق رطوبتی 3M استفاده می شود(۱۰).

## ۴-۱- دیگر ایالات

دپارتمانهای حمل و نقل ایالات اورگون، مینه سوتا، نیویورک، ایلینویز و دانشگاه واشنگتن تحقیقاتی درباره کارایی حلقه‌های القایی انجام داده اند. این تحقیقات نتایج مشابهی داشته اند. در سالهای اخیر پیشرفتهای خوبی حاصل شده است. ایالت نیویورک میزان خطای بالایی مشاهده کرد و در پی آن توصیه‌های فنی پیاده سازی کرد که مبتنی بر تجارب خود و دیگر ایالات بود. نصب کنندگان عمق برش ثابتی را اجرا می کردند و سپس لبه‌های تیز را حذف کرده و گوشه‌ها را گرد می کند. آنها در پاک کردن خاک و بقایای برش با هوای فشرده دقت زیادی اعمال می کنند. از وسایل تیز برای جا زدن رساناها در شیار استفاده نمی شود و در هر ۲ فوت با تخته‌های فوم رسانا را برای زمان پر کردن با مواد محکم می کنند. سیمها از حلقه تا جعبه در هر فوت پنج پیچ می خورد. و در جعبه کنترل با بستهایی کمی بالاتر از سطح قرار می گیرد تا تماسی با آبهای جمع شده ایجاد نشود و دقت کافی برای محافظت اتصالاتها و عایق بندی آنها در برابر رطوبت انجام می گردد.

اغلب آژانسها گزارش دادند که مشکلات نگهداری حلقه‌ها مستقیماً به خطاهای نصب باز می گردد. نظارت و بازرسی عملیات نصب بالاترین اهمیت را دارد. بازرسی ناقص باعث افزایش خطاهای نصب و فراوانی اتصالات زمین می گردد. نتایج این خطاها پس از تسویه حساب پیمانکاران آشکار می شوند و بار تعمیر آنها بر دوش آژانسهای عمومی تحمیل می شوند. داستان موفقیت ایده بازرسی و نظارت متعلق به شهر شیکاگو در ایلینویز است که ۱۸۰۰۰ حلقه را نگهداری می کند. واحد حمل و نقل ایلینویز برنامه بازرسی و نگهداری قاطعی را به اجرا گذاشت و از تعویض حلقه‌هایش کاست و اکنون تنها ۵ در صد خطا را گزارش می کنند(۱۱).

این نتایج منحصرأ مربوط است به حلقه‌های ۶ فوتی که سه پیچش #۱۴ AWG رسانای XHHW ۶۰۰۰V را محصور کرده و در داخل تیوپ نارنجی دیتکتاداکت محصول شرکت سیم کریس-تک قرار گرفته است. آنها همچنین کابل ورودی کانوگا ۳۰۰۰۳ از 3M را تعیین کرده اند. پروسه واحد حمل و نقل ایلینویز در تضمین بازرسی کامل حین نصب دقت کافی دارد. آژانس استفاده از ابزار کند را برای قرار دادن رسانا در شیار انحصاری کرده است. نوارهای پلاستیکی برای عایق بندی رسانا در محل ترکها یا ارتباط به روسازی لازم است و نوارها باید در برابر مواد پر کننده نیز عایق باشند. نوارها ۸ اینچ در اطراف ارتباطها گسترده می شوند. واحد حمل و نقل ایلینویز فهرستی از پیمانکاران مجرب و کار آموزده در نصب حلقه‌های القایی تهیه کرده است. استفاده گسترده از حلقه‌ها باعث فراوانی ماشینهای برش آسفالت شده که زمان لازم برای برش را به حدود ۱۵ دقیقه رسانده اند(۱۲).

FHWA گردشهایی علمی برای بررسی نحوه استفاده کشورهای اروپایی از سیستمهای نظارت بر ترافیک فراهم کرده است(۱۳). این گردش شامل کشورهای هلند، سوئیس، آلمان، فرانسه و بریتانیا است.

هلندی‌ها اطمینان خیلی بالایی به حلقه القایی دارند. سیستم آنها مبتنی بر مشخصاتی است که خود تهیه کرده اند پس از زمانی که متوجه شدند سیستمهای تجاری موجود نیازهای عملیاتی طولانی مدت و مطمئن آنها را

برآورده نمی‌کند. میزان خطا - تعداد حلقه‌های غیر فعال در هر واحد زمان - برای سیستم آنها ۱ در ۱۵۰۰ گزارش شده است. تمام تلاش‌های ولت برای خرید سیستم آشکارسازی حلقه منتج به مشکلات عدم اطمینان و خرابی حلقه شده است. نهایتاً آژانس مشخصات فنی اجزاء سخت افزاری و نرم افزاری آشکارگر حلقه را خود تهیه کرد. مشخصات سطح اطمینان بالا و طراحی ایمن از خطا شامل باتری‌های پشتیبان، کنترل سلسله مراتبی و سطوح خطای متوالی را در بر دارد. سه شرکت هم اکنون بر اساس این مشخصات سیستم آشکارگر حلقه تولید می‌کنند (۱۳).

همچنین در سوئیس آشکارگرهای حلقه برای نظارت و کنترل ترافیک استفاده می‌شود. میزان خطای گزارش شده بوسیله اداره آزاد راه‌های سوئیس ۵ در ۲۰۰ بوده است. این میزان از آمار آلمان و هلند بیشتر است اما از آمار معمول ایالات متحده کمتر می‌باشد. سیستم‌های آشکارسازی حلقه باید بر اساس مشخصات فنی فدرال و آزمون‌های پذیرش تجهیزات باشد. اکثر خطاها مربوط به سیستم مخابراتی و زمانبندی ساعت - قابلیت نگهداری زمان در سیستم - است. سیستم‌های آشکارگر حلقه در سوئیس با اینکه ۱۰ سال در حال سرویس دهی است هنوز خطاهای متعددی را دارد (۱۳).

بریتانیا بر خلاف آلمان، هلند و سوئیس مشخصات فنی مختص به خود ندارد. سیستم‌های موجود از تولیدکنندگان خصوصی تهیه شده که در بازار آمریکا نیز موجود است. بی شک میزان خطای مشاهده شده در بریتانیا با ایالات متحده شبیه است. بریتانیایی‌ها گزارش داده اند که در یک ماه عادی ۱۰ در صد سیستم عمل نمی‌کرده است. تمام کشورها اذعان دارند که وقتی سیستمی خریداری می‌شود و به خاطر کیفیت بالای تجهیزاتش احتمالاً هزینه اولیه بیشتری دارد نتیجه آن اطمینان بیشتر و هزینه نگهداری کمتر در زمان بیشتر است. هیچ شرکتی در باره عمر سیستم‌هایش گزارشی نداده و هم اکنون هیچ یک از کشورها قصدی برای تعویض سیستم حلقه ندارند (۱۳).

## ۴-۲ پیشرفت‌هایی در فن آوری حلقه

تلاش‌های تحقیقاتی در کالیفرنیا و دانشگاه فلوریدا استفاده فعلی حلقه‌های القایی را بهتر کرده است. هدف این تحقیقات بهبود توانایی طبقه بندی است در حالتی که حسگر محور غیر حلقه ای موجود نیست. در موردی محققین از شناسه‌های (signatures) حلقه به جای فقط تشخیص استفاده کردند. در موردی دیگر از شناسه وسیله استفاده نکرده و از گروه فاصله بین محورها به عنوان عامل اصلی الگوریتم شناسایی استفاده کردند. این فاصله کمک میکند تا تعیین حضورها در یک کامیون بلند با دقت تشخیص داده شود. این برنامه با سرپرستی دانشگاه کالیفرنیا PATH نام دارد. این برنامه روشی برای انطباق اندازه گیری‌های دو آشکارگر حلقه به کمک سخت افزارهای موجود ارایه کرده است. هر نوع وسیله یک شناسه خاص تولید می‌کند که از یک محل به محل دیگر تکرار می‌شود. این موضوع در مقایسه شناسه‌ها و رد یابی آنها در یک مسیر استفاده شده است. با تعیین زمان رسیدن وسیله میتوان زمان سفر و سرعت مربوط به وسیله را محاسبه کرد. با رسیدن به سطح مطلوب اطمینان این سیستم می‌تواند نقشه‌های سرعت مناسب برای نظارت بر ترافیک و پیش بینی زمان سفر ایجاد کند.

کاربرد دیگر «حلقه‌های هوشمند» ایجاد الگوریتم طبقه بندی دقیقتری است بر مبنای اینکه محورها و اتصالات هر وسیله یک شناسه منحصر به فرد ایجاد می‌کند. دو سیستم آشکارسازی موجود این نکته را نشان می‌

دهند. حلقه القایی حسگر سرعت و طبقه بندی کننده وسایل مدل IVS-2000 و حلقه هوشمند پیک ایدریس (Peek Idris) بیشتر در زیر تشریح می شود. مثال سوم تقویت کننده حلقه شرکت 3M است که با تعریف زمان پل (Bridge time) برای کامیونهای بزرگ کار می کند و می تواند از حلقه های استاندارد و یا ریز حلقه 3M استفاده کند. اگر پس از شناسایی اولیه در زمان پل تشخیص دیگری صورت گرفت متعلق به همان وسیله فرض می شود. برای نمونه زمان پل در بزرگ راه با سرعت بالا ۰،۳ ثانیه است. حتی اگر در این زمان تشخیص دومی برای کامیون طولیل صورت نگیرد سیستم یک وسیله شمارش می کند.

## IVS-2000 ۱-۲-۴

مدل IVS-2000 شناسه القایی وسیله را ثبت نوع و سرعت آن را به کمک شبکه عصبی تعیین می کند. آشکارگر وسایل نقلیه را در ۲۳ دسته طبقه بندی میکند که ۱۳ تای آنها استاندارد FHWA و ۱۰ تای دیگر دسته های اضافی است. آشکارگر با یک یا دو حلقه القایی ۶ فوت در ۶ فوت، ۵ فوت در ۵ فوت و یا دایره ای ۶ فوتی کار می کند که با این تعداد حلقه ادعا می شود ۸۵ تا ۹۰ درصد دقت طبقه بندی دارد. دقت سرعت مثبت و منفی ۵ درصد مایل بر ساعت برای دو حلقه و ۱۰ درصد برای یک حلقه عنوان شده است. آشکارگر دو درگاه RS-485 و RS-232 با سرعت ۹۶۰۰ باود برای ارتباط دارد و می تواند به مودم و کامپیوتر شخصی وصل شود. خروجی های این مدل عبارتند از دسته بندی، سرعت، طول، فاصله محوره ها و جهت حرکت هر وسیله. امکانات دیگر آن شامل تنظیم خودکار، تشخیص خودکار شرایط آب و هوایی و تبدیل خودکار حالت استفاده از دو آشکارگر به یک آشکارگر در مواقع خرابی است. هزینه IVS-2000 برای نظارت دو خط عبور با کمک دو حلقه حدود ۷۰۰ دلار است.

## ۴-۲-۲ حلقه هوشمند پیک ایدریس (Peek Idris)

آشکارگر حلقه هوشمند ایدریس بوسیله ردیابی و تحلیل همزمان شناسه القایی هر وسیله و استخراج شاخصهای کلیدی آن کار می کند. الگوریتم ایدریس به کمک این اطلاعات رکوردی از هر وسیله شامل طول، سرعت، شتاب و جهت را بدون در نظر گرفتن محل آن در جاده ثبت می کند. پیک ادعا می کند که سیستم ماشینهای که درب پشت برای حمل بار دارند و نیز ماشینهایی که وسیله ای را می کشند حتی اگر روی حلقه متوقف باشند می تواند از هم جدا کند. همچنین مدعی است که سیستم ماشینی را که روی دو خط عبور حرکت می کند از دو ماشینی که با یک سرعت در کنار هم روی آن دو خط حرکت میکنند می تواند تشخیص دهد. الگوریتم حلقه محور ایدریس گذر محور را تشخیص داده و می تواند محورهای دو چرخ را از تک چرخ تشخیص دهد. پیک مدعی است که دقت سیستم در اکثر حالات عملیاتی ۱ خطا در ۱۰۰۰۰ مورد است. هزینه سیستم ایدریس برای نظارت چهار خط حدود ۲۵۰۰۰ دلار است.



## فصل ۵: خلاصه و نتیجه

### ۵-۰ مقدمه

این کارگاه آشکارسازی وسایل نقلیه یافته‌های تحقیق TTI را درباره آشکارگرهای خارجی و فن آوری آنها ارزیابی کرد. بعضی از این فن‌آوری‌ها می‌تواند جانشین حلقه‌های القایی شود. مشکلات نگهداری و نصب حلقه‌ها ارزیابی سیستم‌های جدید را اجباری ساخته است. تجارب محققین و آزمایش‌های قبلی شرایط اولیه آزمون‌ها را فراهم نموده است. تمام دستگاه‌ها یا جدید اند و یا تغییراتی کرده اند که هنوز مورد آزمایش قرار نگرفته اند. آزمایش این آشکارگرها در بستر آزمون TTI برای یک آزمایش میدانی تمام عیار مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده برای تعیین دقت، سرعت و حضور وسیله بود اما هزینه نصب و سهولت تنظیم و برپایی نیز مورد توجه قرار گرفت.

### ۵-۱ خلاصه

خلاصه زیر بر اساس آخرین تحقیقات TTI است. تاکید اولیه این تحقیق بر شناسایی در بزرگ راه‌ها است اما بعضی یافته‌ها درباره تقاطع‌ها نیز کاربرد دارد.

### ۵-۱-۱ ملاحظات دقت و هزینه

- دقت و عمر حلقه مستقیماً به مشخصات فنی دقیق، بازرسی‌های متوالی و برنامه‌های آزمون بستگی دارد. نیازی فوری برای بهبود این موارد از سوی آژانس‌های مختلف وجود دارد. میزان خطای کم شده در کشورهای اروپایی که مشخصات فنی را بهبود داده اند در کشور هلند با خطای یک در ۱۵۰۰ حلقه و سویس با خطای ۵ در ۲۰۰ مشاهده شده است.
- نوع و کیفیت حسگرهای ویدیویی (دوربین) در سیستم VID دقت سیستم را تعیین می‌کند. دوربین تک رنگ ۱۰ برابر حساس تر از دوربین رنگی است از این رو استفاده از دوربین تک رنگ در سطوح روشنایی پایین یا شب توصیه می‌شود. دوربین‌ها باید با دیافراگم اتوماتیک و فیلتر مادون قرمز برای کم کردن زندگی نور استفاده شوند.
- در نمونه ای ۷۰ تایی که برای مقایسه به دقت انتخاب شد ۵۳ مورد سرعت‌های RTMS بین ۰ تا ۱ مایل در ساعت با سرعت سیستم لیزری اختلاف داشت. ۱۴ مورد ۲ مایل در ساعت و فقط ۳ مورد ۳ مایل در ساعت اختلاف داشت و هیچ موردی با اختلاف بیش از ۳ مایل در ساعت مشاهده نشد.

- در همین مجموعه داده، دسته بندی آنها در گروه‌های ۱۰ تایی و مقایسه میانگینها بین RTMS و لیزر تفاوتی را که معمولاً کمتر از ۱ درصد و هیچ وقت بیش از ۲ درصد نبود آشکار ساخت.
- آشکارگرهایی که به وضعیت آب و هوایی حساس نبودند حلقه‌های القایی، ریز حلقه 3M و RTMS بود.
- ریز حلقه 3M با دو پروب در هر خط نسبت به یک پروب در پل و بزرگراه SH 6 بهتر عمل کرد.
- ویدیوترک و SAS-1 در تشخیص سرعت در شرایط بارانی و مرطوب خیلی بد عمل کردند. ویدیوترک خطاپذیرتر بود و SAS-1 سرعت را ۱۰ مایل بر ساعت بیش از RTMS نشان می داد.
- کارایی ویدیوترک در شب غیر قابل قبول بود. یکی از دلایل نبود روشنایی علت آن بود.
- هیستوگرام رسم شده نشان می داد 3M و SAS-1 سرعت را به ترتیب در بازه ۸ تا ۱۱ مایل در ساعت در ۹۵ درصد اوقات تعیین کرده اند.
- جدول ۵-۱ اطلاعات هزینه و دقت را برای آب و هوای عالی، روشنایی خوب و نصب دقیق خلاصه کرده است. بر مبنای هزینه در هر خط عبور فن آوری رادار (RTMS) کمترین هزینه را دارد (یک RTMS برای هر جهت عبور و مرور).
- حداکثر تعداد خطوط عبور برای سیستم VID سه خط است پس هزینه نسبت به خط عبور کمینه می شود زمانی که خطوط عبور مضربی از ۳ باشد مثلاً ۶ یا ۱۲.
- حلقه بین ۴۱۸ تا ۷۴۶ دلار در هر خط عبور در یک بزرگ راه ۶ خطه هزینه دارد اگر میزان خطا به ترتیب ۵ و یا ۱۰ درصد در سال باشد. این هزینه شامل هزینه توقف ترافیک و صرف سوخت اضافی نیست.
- جدول ۵-۲ خلاصه کیفی تحقیقات TTI درباره آشکارگرهاست.

### جدول ۵-۱ ارزیابی کمی آشکارگرها در بزرگ راهها ۶ خطه

فن آوری	عمر در نظر گرفته شده	هزینه در هر خط عبور <sup>۱</sup>	دقت کاربرد مافوقی (یا تحتانی (روسازی)		دقت کاربرد کناری	
			تعداد	شمارش	تعداد	شمارش
حلقه القایی	۱۰	۷۴۶	%۹۸	%۹۵	-	-
صوتی (SAS-1)	۵	۳۷۵	-	-	%۹۰	%۹۰
مادون قرمز فعال (SEO)	۱۰	۱۰۹۷	%۹۷ <sup>۲</sup>	%۸۰	-	-
مغناطیسی (3M) <sup>۳</sup>	۱۵	۵۳۰	%۹۷	%۹۳	-	-
مادون قرمز غیرفعال <sup>۴</sup>	۷	۴۹۷	%۹۷	-	%۹۷	-
رادار (RTMS)	۷	۳۱۴	%۹۹	%۹۷	%۹۵	%۹۰
VID (اتواسکوپ)	۱۰	۷۵۱	%۹۵	%۹۰	-	-

<sup>۱</sup> هزینه تیرک و بازوها برای مادون قرمز فعال محاسبه نشده؛ هزینه کنترل ترافیک برای حلقه محاسبه شده.

<sup>۲</sup> تا %۷۷ در آب و هوای ناپایدار افت می کند.

<sup>۳</sup> دو پروب برای هر خط عبور در هر ایستگاه کنترل.

<sup>۴</sup> فقط یکی در هر خط پس فقط شمارش بدون سرعت.

## جدول ۵-۲ راهنمای کاربردی برای انتخاب آشکارگر در بزرگ راه

تأثیر آب و هوا	تشخیص جهت	نیازمندیهای نگهداری	نصب		دقت دسته بندی	تشخیص روپدید	دقت سرعت	میزان خطا	دقت آشکارسازی		هزینه دوره زندگی	
			کناری	در بالا					حجم زیاد	حجم کم		
A	A	A/C	D	D	B	B	B	A/C	A	A	A/C	فن آوری حلقه القایی
B	D	A	A	A	A	B	B	U	A	A	C	مادون قرمز فعال (SEO)
A	B	A	D	C	B	A	A	U	A	A	B	مغناطیسی (3M) <sup>۳</sup>
A	D	A	A	A	D	D	D	U	U	A	A	مادون قرمز غیرفعال <sup>۴</sup>
A	U/D	A	A	A	D	B	A/B <sub>1</sub>	A	A	A	A	رادار (RTMS)
B	D	A	A	D	D	B	B	U	B	A	A	صوتی غیر فعال (SAS-1)
B	B	C	C	C	D	A	A	B	A	A	C	VID (اتواسکوپ)

<sup>۱</sup> A: نصب در بالا؛ B: نصب در کنار

کدها: A: عالی - B: خوب - C: ضعیف - D: وجود ندارد - U: نامعلوم.

## ۵-۱-۲ سهولت نصب و تنظیم

- ویدیوترک مشکلترین سیستم از جهت نصب و تنظیم بود. بعضی آژانسها این مشکل را مانعی برای استفاده سیستم می‌دانند.
- ریز حلقه 3M/سیستم کانوگا، حلقه القایی با تقویت کننده، SEO اتوسنس II، و SAS-1 واسط کاربر مناسبی دارند و کارکردهای لازم را فراهم کرده اند.

## ۵-۱-۳ دیگر ملاحظات

- مشکل پیدا کردن سایت آزمون مناسب در هوستون و وورث نیاز به دستورالعمل تعیین بستر آزمون شهری را برای استفاده آینده تاکید می کند. عاملهای مهم عبارتند از: تیری که در جای مناسب قرار گرفته باشد، حلقه در حال کار در هر خط عبور، جای گیری خوب، سطح تخت، کمترین تغییر خط توسط وسایل نقلیه و قفسه‌های مجهز شده.
- بی نهایت مهم است که هر آشکارگر برای کار بهینه به نحو مناسب نصب شود. نصب کننده مبتدی تصور می کند نصب خوب انجام شده ولی کارایی ضعیف است چون نصب نامناسب بوده. این مشکلی عمومی با فن آوری‌های جدید است خصوصاً اگر کمی پیچیده باشند.

- در اجرای واقعی آژانس باید بی‌نظمی‌های داده‌های سرعت را به جهت حذف اختلالات نایبجا تصفیه کند. تمام آشکارگرهای آزمایش شده گاهی بی‌نظمی سرعت داشتند حتی RTMS.
- در زمان قطع برق، ویدیو ترک نیاز به راه‌اندازی دستی برای ادامه کار داشت.
- عمق کم نصب توصیه شده توسط 3M محدودیت استفاده در اکثر مکانها است مگر این که در عملیات ساخت انجام گیرد. نویسندگان پیشنهاد می‌کنند ارزیابی امکان سنجی نصب سیستم ریز حلقه 3M در عمق بیشتر صورت گیرد.
- علامت خطری لوزی شکل نزدیک SAS-1 باعث شمارش دو برابر شد به علت آن که صوت را بازتاب می‌کرد. تغییر محل آشکارگر مشکل را برطرف نمود.
- انعطاف بعضی سیستمهای آشکارسازی خارجی نسبت به حلقه‌ها باعث انتخاب آنها می‌شود خصوصاً زمانی که حوزه آشکارسازی عوض شود.

## ۲-۵ نتایج

- RTMS مقرون به صرفه تری آشکارگر برای بزرگ راه‌های چند خطه است که تا کنون آزمایش شده است. شرایط آب و هوایی و روشنایی بر آن بی‌اثر است و دقت شمارشی در حد ۹۵ درصد دارد. دقت سرعت آن برای ترافیک به سمت آن در حدود ۲ درصد است.
- ریز حلقه 3M به اندازه دیگر آشکارگرهای خارجی آزمایش شده دقیق و استوار است. با این حال هزینه دوره زندگی آنها باید ارزیابی شده و اطلاعات بیشتری جمع‌آوری گردد.
- آکیو ویو و PIR-1 برای آشکارسازی با نصب کنار جاده و در مکانی که حلقه مناسب نیست بر اساس آزمایشهای محدود انجام شده به صرفه تر است. در هدف گیری وسیله دقت باید به کار برد تا خطاهای مربوط به دیگر تغییرات ناحیه آشکار سازی ثبت نگردد.
- هزینه اولیه VIDS قابل توجه است. با این حال میتواند در تقاطعهای دارای چراغ راهنمایی جایگزین خطای حلقه خیلی زیاد است به صرفه باشد. برد دوربین با نصب در محل‌های موجود ممکن است شناسایی وسایل کم سرعت را دچار مشکل کند. اتواسکوپ مطمئن ترین و دقیق ترین VIDS ی است که توسط TTI بررسی شده است.
- آشکارگر SAS-1 باید مورد توجه بیشتر قرار گیرد و انتظار می‌رود بازنگریهای در آینده نزدیک در آن انجام شود (مثل الگوریتم تنظیم سرعت).
- ریز حلقه‌های دوتایی خیلی بهتر از تکی در یک مکان عمل کردند.

1. D. Middleton, M. Shafer, and D. Jasek, Initial Evaluation of the Existing Technologies for Vehicle Detection, Research Project FHWA/TX-97/1715-1, Research Report 1715-1, Texas Transportation Institute, College Station, TX, September 1997.
2. D. Middleton, and R. Parker. Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Freeways, Research Project FHWA/TX-00/1439-9, Research Report 1439-9, Texas Transportation Institute, College Station, TX, April 2000.
3. Minnesota Department of Transportation - Minnesota Guidestar and SRF Consulting Group, Field Test of Monitoring of Urban Vehicle Operations Using Non-Intrusive Technologies, Volume 4, Task Two Report: Initial Field Test Results, Minnesota
  1. Department of Transportation - Minnesota Guidestar, St. Paul, MN, and SRF Consulting Group, Minneapolis, MN, May 1996.
4. Minnesota Department of Transportation - Minnesota Guidestar and SRF Consulting Group, Field Test of Monitoring of Urban Vehicle Operations Using Non-Intrusive Technologies, Volume 5, Task Three Report: Extended Field Tests, Minnesota
  2. Department of Transportation - Minnesota Guidestar, St. Paul, MN, and SRF Consulting Group, Minneapolis, MN, December 1996.
5. J. Kranig, E. Minge, and C. Jones, Field Test for Monitoring of Urban Vehicle Operations Using Non-Intrusive Technologies, Report Number FHWA-PL-97-018, Minnesota Department of Transportation - Minnesota Guidestar, St. Paul, MN, and SRF
  3. Consulting Group, Minneapolis, MN, May 1997.
6. L. A. Klein and M. R. Kelley, Detection Technology for IVHS, Volume 1 Final Report, FHWA-RD-96-100, Performed by Hughes Aircraft Company, Turner-Fairbank Research Center, Federal Highway Administration Research and Development, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1996.
7. Jet Propulsion Laboratory, Traffic Surveillance and Detection Technology Development, Sensor Development Final Report, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., March 1997.
8. L. A. Klein, Vehicle Detector Technologies for Traffic Management Applications, Part 2, ITS Online, The Independent Forum for Intelligent Transportation Systems, <http://www.itsonline.com/>, June 1997.

9. G. Ritch and D. Fenno, Status Report on Operations from September 1996 to August 1997: Final Report, Research Project 7-2900, Research Report 2900-S, Texas Transportation Institute, College Station, TX, September 1997.
10. Inductive Loop Installation Standard Operating Procedures, City of Arlington, Texas.
11. A Traffic Signal Detector Loop Location Design Installation, @ Illinois Department of Transportation, District 6, Springfield, IL, November 1988.
12. Technical Memorandum, Investigation of Freeway Loop Detector Characteristics: Failure Mode and Optimal Life Cycle Performance, TxDOT Research Project 7-4918, April 20, 1999.
13. Federal Highway Administration Scanning Team, FHWA Study Tour for European Traffic Monitoring Programs and Technologies, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., August 1997.
14. D. L. Woods, J. D. Blaschke, and H. G. Hawkins, A Short Course on Traffic Signal Design. Texas Transportation Institute, College Station, TX, November 1986.
15. The Traffic Detector Handbook, Second Edition, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C., 1991.
16. D. L. Woods et. al., Induction Loop Detector Lead Length, FHWA/TX-95/1392-1, Texas Transportation Institute, College Station, TX, September 1994.
17. D. L. Woods, Texas Traffic Signal Detector Manual, FHWA/TX-90/1163-1, Texas Transportation Institute, College Station, TX, July 1992.
18. V. Bhagat and D. L. Woods, Induction Loop Detector Systems Crosstalk, FHWA/TX-94/1392-2, Texas Transportation Institute, College Station, TX, August 1994.