پروتکل بازرسی پوشش سازه‌ای دائم تونل‌های جاده‌ای و ریلی

مقاله علمی - پژوهشی

سید محمد منصورزاده*، مربی، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
امیر محجوب، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.mansoorzadeh@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۸- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۲۸-۱۱

چکیده

تونل‌ها به عنوان یکی از عناصر ضروری و غیر قابل اجتناب در صنعت حمل و نقل محسوب می‌شوند و معمولاً میزان قابل ملاحظه‌ای از سرمایه را در شبکه‌های جاده‌ای و ریلی به خود اختصاص می‌دهند. بازرسی، مقدمه تلاش برای حفظ وضعیت مطلوب و بهبود عملکرد سازه‌ای در طول عمر مفید تونل است و منتج به ارایه راهکار جهت نگهداری و تعمیر به موقع خواهد شد. به این ترتیب علاوه بر افزایش ایمنی و حفظ عملکرد مطلوب تونل، از خرابی آن نیز جلوگیری به عمل آمده و در هزینه‌های ناشی از تعمیرات اساسی و یا ساخت و بهره‌برداری مجدد تونل، صرفه‌جویی قابل توجهی می‌شود. در این راستا انجام بازرسی‌های دقیق و منظم برای شناسایی خرابی‌های سازه‌ای به‌همراه مستند سازی و تهیه برنامه زمان‌بندی شده برای تعمیر خرابی‌ها بر اساس شدت آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله پس از مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه بازرسی تونل‌ها، نتایج مطالعات موجود درباره بازرسی از پوشش سازه‌ای دائمی تونل‌های حمل و نقل ارایه می‌گردد. در ادامه پس از طبقه‌بندی و جمع‌بندی نتایج مطالعات، فرم‌هایی با فرمت مناسب برای بازرسی از این المان‌ها بر طبق مناسب‌ترین مراجع بین‌المللی ارایه می‌گردد. به‌نظر می‌رسد که پروتکل‌های "ضابطه فهرست تونل ملی" و "تامی منوال" رویه مناسبی را برای بازرسی از پوشش سازه‌ای تونل ارایه می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: بازرسی تونل، نگهداری تونل، پوشش سازه‌ای دائمی تونل، رویه بازرسی

۱- مقدمه

تونل‌ها به عنوان یکی از ابنیه فنی ضروری و اجتناب ناپذیر در حمل و نقل جاده‌ای و ریلی معمولا هزینه قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند. با گذشت زمان، این ابنیه و سایر سازه‌ها و تجهیزات وابسته به آنها از جمله لاینینگ یا پوشش سازه‌ای تونل دچار اضمحلال می‌شوند. پوشش دائمی تونل‌ها یک پوشش سازه‌ای می‌باشد که پس از اجرای پوشش اولیه یا موقت اجرا شده و انواع مختلفی (پوشش فولادی، بتنی درجا، پوشش سگمنتی و شاتکریت) دارد. بازرسی تونل به عنوان اولین گام در جهت حفظ وضعیت مطلوب بهره‌برداری، افزایش ایمنی و طول عمر مفید محسوب می‌شود که بر اساس فرایند بازرسی، می‌توان راهکارهایی جهت نگهداری و تعمیر به موقع ارایه نمود. به این ترتیب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ناشی از تعمیرات اساسی انجام می‌شود. به طور معمول بیشتر فعالیت‌های انجام گرفته برای استفاده از یک ابنیه یا سازه، در بخش‌های طراحی و اجرای آن صورت می‌گیرد ولی بهره‌برداری و استفاده کارآمد از یک سازه بدون نگهداری و بررسی مداوم وضعیت آن پس از

اتمام عملیات ساخت، مقدور نیست. اهمیت این امر با بالا رفتن درجهٔ حساسیت یک سازه و نیاز مداوم به کارآیی بدون توقف آن افزایش می‌یابد. از آنجا که تونل‌ها جزء شریان‌های اصلی حمل و نقل محسوب شده و بروز هر گونه اشکال و وقفه در عملکرد آنها می‌تواند موجب قطع ارتباط و واردآمدن خسارت اقتصادی هنگفت شود، لذا، لزوم بازرسی و ارزیابی مستمر وضع موجود سازه، اهمیتی دو چندان پیدا می‌کند. از دیدگاهی متفاوت اگر بخواهیم به بررسی میزان اهمیت بازرسی و نگهداری تونل‌ها از دیدگاه اقتصادی مهندسی بپردازیم، هزینه اولیه صرف شده برای احداث آنها صرفاً در صورت حفظ عملکرد مطلوب بلند مدت و عمر مفید کافی آنها توجیه‌پذیر است. با توجه به مراتب فوق اهمیت نگهداری و حفظ کیفیت تونل‌های ساخته شده و تعمیرات لازم، بیش از پیش محرز می‌گردد. اما این مهم بدون بازرسی و ارزیابی وضعیت سازه در هر زمان و تشخیص میزان خرابی‌ها و آسیب‌های وارد آمده به آن در طی مدت عملکرد آن غیرممکن است. می‌توان گفت میزان تأثیر مثبت عملیات نگهداری و بهسازی عملکرد یک ابنیه فنی مانند تونل، تابعی از اعتبار و دقت بازرسی و ارزیابی‌های صورت گرفته است. تجربیات نشان می‌دهد که بخش اصلی هزینه‌های نگهداری با تصمیماتی که در طول مراحل طراحی و اجرای تونل گرفته می‌شود، تعیین می‌گردد. منظور نمودن الزامات بهره برداری و نگهداری تونل در زمان برنامه ریزی و طراحی آن، بیشترین اهمیت را دارا می‌باشد. اصولاً برای برقراری تعادل بین الزامات بهره‌برداری و نگهداری در مقابل هزینه ساخت تونل، بر استفاده از تجربیات پیشین تأکید می‌شود. این کار ممکن است منجر به هزینه سرمایه‌گذاری بیشتر ولی در مقابل هزینه کل عمر کمتر شود.

علی‌رغم اهمیت غیر قابل انکار عملیات بازرسی و نگهداری تونل‌ها که بخشی از آن ذکر شد، دستورالعمل یا راهنمای جامعی در این خصوص در داخل کشور تهیه و ابلاغ نشده است. با بررسی‌های انجام شده می‌توان چنین بیان نمود که در ادارات راه استانها، به روش‌های مختلف و بسیار محدود، عملیات بازرسی، تهیه و تکمیل فرم انجام می‌شود. در این مقاله سعی بر این است که یک رویه مناسب بازرسی به همراه فرم‌های بازرسی از پوشش سازه‌ای دائمی تونل ارایه گردد.

۲- پیشینه تحقیق

بازرسی و تهیه فهرست تونل به‌عنوان برنامه‌های کاربردی توسعه تونل بزرگراه و راه آهن در ایالات متحده، از سال‌های قبل در دستور کار قرار گرفته‌اند. FHWA[1] و FTA[2] ابتکار عمل را در زمینه بازرسی اولیه، نگهداری، توان‌بخشی و مدیریت تونل‌های حمل و نقل در دست گرفته و از حامیان این موضوع بوده‌اند. این دو موسسه، به دلیل رویکرد مشترک به تونل‌های حمل و نقل، ایجاد سیستم مدیریت تونل‌های بزرگراه و ترانزیتی را در مارس ۲۰۰۱ آغاز نمودند. در این راستا به عنوان نمونه، فهرست غیررسمی تونل‌های بزرگراه و ترانزیت تکمیل شد. همچنین یک منوال بازرسی HRTTIM[3]، یک منوال تعمیر و نگهداری HRTTMRM[4]، و یک برنامه مدیریت داده‌ها برای تونل‌ها نیز تهیه گردید.

در بخش عناصر سازه‌ای در منوال بازرسی تونل HRTTIM، در مورد نواقص بتن، فولاد، شن و ماسه توضیحاتی بیان شده است. همچنین عملیاتی که باید پس از شناسایی نواقص انجام شود و نیاز به تعمیر سریع دارد، ارایه شده است. برای توصیف و رده‌بندی شرایط سازه‌ای، کدهایی در محدوده ۰ تا ۹ برای شرایط عمومی و متعاقباً برای بخش‌های خاص در تونل‌های کند و پوش[5]، تونل‌های دارای پوشش در زمین‌های نرم و تونل‌های دارای پوشش در سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. ۰ و ۹ به ترتیب متناظر با بدترین و بهترین شرایط می‌باشد. طول مقطعی از تونل که این رده بندی‌ها برای آن به کار می‌رود، بسته به شرایط تونل متفاوت است. برخی تونل‌ها دارای پانل‌هایی با شماره‌گذاری می‌باشند که این پانل‌ها، تعیین طول قسمت مورد ارزیابی را آسان می‌سازند. دیگر تونل‌ها ممکن است در قطعات ۳۰ متری (۱۰۰ فوتی) یا ۶۰ متری (۲۰۰ فوتی) مورد ارزیابی قرار گیرند. در هر حال تمام طول تونل باید مورد بازرسی قرار گیرد (HRTTIM, 2005).

مطابق با منوال HRTTMRM، تراوش آب‌های زیرزمینی از طریق درزه‌ها و ترک‌ها در تونل، عامل اصلی خرابی اجزای مختلف تونل می‌باشد. علاوه بر این، برای تونل‌های بتنی با عمر بیش از ۵۰ سال، بسیار مناسب است که بتن متخلخل و دارای هوا نبوده باشد و در نتیجه تونل‌هایی که در معرض تغییرات درجه

حرارت قرار می‌گیرند، ممکن است در اثر فعل و انفعالات ناشی از ذوب و یخ در طول سال‌ها آسیب ببیند. پس از آن که تونل‌ها طی سال‌های متمادی در معرض این شرایط قرار گرفتند، بسیار مهم و ضروری است که کارفرمایان این تونل‌ها، نگهداری پیشگیرانه منظم و کارهای تعمیری را برای برطرف کردن عیوب آغاز نمایند. تا در این صورت هر تونل به عملکرد خود به همان گونه‌ای که ابتدا طراحی شده است، بتواند ادامه دهد (HRTTMRM, 2005).

به دنبال ریزش سقف تونل کانکتور[۶] در بوستون در ایالت ماساچوست در ۱۰ ژوئیه ۲۰۰۶ و ارایه گزارش شورای ایمنی حمل و نقل ملی NTSB[۷]، نهایتا مقرر گردید تا معیارهای ملی برای بازرسی تونل‌ها تعیین گردد. FHWA با توجه به اهمیت حیاتی ایمنی تونل‌های ملی و بر اساس یک دستورالعمل قانونی، تهیه استانداردهای ملی بازرسی تونل NTIS[۸] و کتابچه‌های راهنمای مربوطه را برای انجام عملیات بازرسی در دستور کار قرارداد.

اداره بزرگراه‌های فدرال، پروتکل‌های NTIS، TOMIE[۹]، SNTI[۱۰] و NTI[۱۱] را در راستای سند بالادستی MAP-21 توسعه داد تا اطمینان حاصل شود که تونل‌ها همچنان به ارایه سطحی از خدمات ایمن، قابل اعتماد و کارآمد برای عموم مسافران خواهند پرداخت. اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های بازرسی پل در سال‌های قبل و تحقیقات اخیر در مورد تونل، منجر به تدوین فهرست جدید و برنامه بازرسی برای تونل شد (TOMIE, 2015).

پس از انهدام پل سیلور[۱۲] در اواسط دسامبر سال ۱۹۶۷، کنگره قانونی را در سال ۱۹۶۸ تصویب کرد که مقررات لازم برای تعیین استانداردهای ملی بازرسی پل (NBIS[۱۳]) را تعیین نمود.

NBISبرای اطمینان از این که پل‌های بزرگراهی از بازرسی دوره‌ای برخوردار هستند و همچنان به ارایه خدمات ایمن، قابل اعتماد و کارآمد ادامه می‌دهند، اجرا گردید. در این پروتکل به موضوعاتی از جمله روش‌ها و تکنیک‌های بازرسی یکسان، صلاحیت پرسنل، تواتر بازرسی و مستندات و گزارش حاصل از بازرسی پرداخته شد. همچنین دوره آموزش بازرسی پل به صورت جامع تهیه شد و مبنای رتبه بندی بار پل‌ها ایجاد گردید. لذا به دنبال نتایج موفقیت آمیز حاصل از NBIS، ایجاد برنامه بازرسی توسعه یافته و تهیه فهرست برای تونل‌های بزرگراهی نیز آغاز گردید.

با توجه به این که در NBIS یا کتابچه‌های راهنمای بازرسی پل، تونل‌ها مورد توجه قرار نگرفتند لذا FHWA در سال ۲۰۰۸، اقداماتی را برای اجرای استانداردهای ملی بازرسی تونل (NTIS)آغاز نمود. این روند با انتشار سند (ANPRM[۱۴]) در ۲۰۱۰ آغاز شد. سپس این روند به دنبال تصویب قانون جدید MAP-21، ادامه پیدا کرد. این قانون جدید بزرگراه‌ها، شامل مقررات مربوط به تهیه فهرست تونل و برنامه بازرسی تونل نیز بود. در ژوئیه سال ۲۰۱۳، FHWA اقدام به انتشار مکمل ANPRM تحت عنوان SNPRM[۱۵] نمود. هنگامی که NTIS در سال ۲۰۱۵ انتشار یافت، به بخشی از آیین نامه مقررات فدرال تبدیل گردید.

۳- بحث و تحلیل

در این بخش به بررسی و تحلیل پروتکل NTIS پرداخته می‌شود. همان طور که بیان گردید برای کمک به حفاظت از تونل‌ها و اطمینان از سطح عملکرد قابل اعتماد در جاده‌ها و بزرگراه‌ها، FHWA اقدام به تهیه استانداردهای ملی بازرسی تونل (NTIS)، دفترچه راهنمای عملیات نگهداری، بازرسی و ارزیابی تونل یا تامی منوآل (TOMIE) و ضابطه‌ای تحت عنوان فهرست تونل ملی (SNTI) نمود. NTIS شامل الزامات نظارتی بر آیتم‌ها و المان‌های تونل و برنامه بازرسی است و دفترچه‌های راهنمای TOMIE و SNTI براساس این الزامات تهیه و توسعه یافته‌اند. SNTI شامل دستورالعمل‌هایی برای نحوه ارسال اطلاعات و خروجی‌های بازرسی به اداره بزرگراه‌های فدرال است. TOMIE یک وحدت رویه در مورد بهره برداری، نگهداری، بازرسی و ارزیابی تونل‌ها ارایه می‌دهد. داده‌های تولید شده بر اساس این اسناد در پایگاه داده ملی تونل (NTI) نگهداری می‌شوند.

۳-۱- ضابطه فهرست تونل ملی

دستیابی به یک فهرست مناسب[۱۶] و ارزیابی وضعیت عناصر و المان‌های تونل، سنگ بنای مدیریت بازرسی تونل است. معرفی روش‌های ارزیابی عناصر برای پل‌ها، در اوایل دهه ۱۹۹۰ نمایانگر پیشرفت چشمگیر در عملکرد بازرسی زیرساخت‌ها بوده

و توسط اکثر ادارات حمل و نقل دولتی در ایالات متحده به تصویب رسیده است. متولیان پل در سراسر ایالات متحده، مزایای ارزیابی دقیق وضعیت را از طریق استفاده از اطلاعات بازرسی اولیه، اقدامات عملکردی گسترده و پیش بینی و ارزیابی اضمحلال از طریق سیستم مدیریت پل تشخیص داده‌اند. با توجه به گسترش استفاده از تکنیک‌های بازرسی سطح عناصر، ضرورت گنجاندن تونل‌های بزرگراهی در این فرآیند نیز مشخص گردیده است. ضابطه فهرست تونل ملی شامل عناصر تونل از قبیل: سیستم‌های سازه‌ای، سیویل، مکانیکی، سیستم‌های برقی و روشنایی، سیستم‌های ایمنی/ایمنی در برابر حریق، علائم و سیستم‌های محافظ می‌باشد. هدف از این "ضابطه"، چیدمان و طرح جامع موجودی و مستندسازی وضعیت تونل‌ها به نحوی است که بتواند در سراسر ایالات متحده استانداردسازی شود و در عین حال از انعطاف پذیری لازم برخوردار باشد. ضابطه فهرست تونل ملی، بر اساس روش‌های ارزیابی وضعیت سطح عناصر مطابق راهنمای AASHTO برای عناصر سازه‌ای که معمولاً شناخته شده‌اند و مطابق با آنچه که در بازرسی پل‌ها توصیه شده، ارایه شده است. این "ضابطه" برای استفاده توسط سازمان‌های ایالتی، فدرال و سایر سازمان‌ها در ثبت و کدگذاری عناصر و المان‌هایی که شامل فهرست موجودی ملی تونل باشد، تهیه شده است. با داشتن یک فهرست موجودی کامل تونل، در صورت نیاز می‌توان گزارشی دقیق از تعداد و وضعیت تونل‌های ملی به مراجع قانونی ارایه داد (SNTI, 2015).

موارد کدگذاری شده در ضابطه فهرست تونل ملی، می‌تواند به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از بانک اطلاعاتی، برای پاسخگویی و گزارش‌دهی به فدرال و همچنین به عنوان بخشی از نیاز ایالت‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این الزامات در استانداردهای بازرسی و فهرست موجودی پل و تونل ملی ایالات متحده تنظیم شده که به صورت یک بانک اطلاعاتی کامل، دقیق، سازگار و به‌عنوان پایه و اساس برای یک سیستم مدیریت تونل TMS[۱۷] کارا و مؤثر است (SNTI, 2015). سازمان‌های ایالتی، فدرال و دیگر سازمان‌ها، به استفاده از کدها و دستورالعمل‌های موجود در ضابطه فهرست تونل ملی توصیه شده‌اند. با این حال، استفاده مستقیم از آن اختیاری بوده و هر آژانس یا سازمانی ممکن است از ضابطه مخصوص به خود استفاده کند. مشروط بر آن که واژه‌ها و پارامترهای مورد استفاده توسط آنها، در قالب ضابطه فهرست تونل ملی، قابل معنی و تفسیر باشد. هنگامی که داده‌ها توسط FHWA درخواست می‌شوند، لازم است فرمت بر اساس کدها و دستورالعمل‌های موجود در SNTI باشد. هر آژانسی که از ضابطه مخصوص به خود استفاده می‌کند، باید امکان تطبیق و هماهنگ نمودن کدهای خود را با کدهای مورد استفاده در SNTI فراهم آورد. به عبارت دیگر، آژانس‌ها وظیفه دارند توانایی دریافت، ذخیره و گزارش اطلاعات خاصی در مورد تونل‌های بزرگراه را داشته باشند خواه در SNTI استفاده شده باشد یا خیر. بنابراین هرگونه درخواست از سوی FHWA برای ارسال این داده‌ها بر اساس تعاریف، توضیحات و کدهای ارایه شده در ضابطه فهرست تونل ملی و دفترچه راهنمای TOMIE خواهد بود (SNTI, 2015).

ساختار متن ضابطه فهرست تونل ملی به صورت زیر سازماندهی شده است:

بخش ۱ (مقدمه): شامل بخش‌های تاریخچه، اهداف ضابطه، ساختار، واحدها، تعاریف و علائم اختصاری است.

بخش ۲ (فهرست موجودی) شامل آیتم‌های موجودی تونل (شناسایی، سن و سرویس‌دهی، طبقه بندی، مشخصات هندسی، بازرسی، نوع سازه و مصالح سازه تونل) که بر این اساس طبقه بندی شده است تا از سهولت کافی برای استفاده توسط بازرسان تونل برخوردار باشد.

بخش ۳ (عناصر) شامل عناصر و المان‌های تونل (سازه‌ای، سیویل، سیستم‌های مکانیکی، سیستم‌های برقی و روشنایی، سیستم ایمنی در برابر حریق، سیستم‌های ایمنی، علائم و سیستم‌های محافظ) با توجه به نوع، مصالح و موقعیت فیزیکی آنها در تونل جهت ایجاد سهولت برای بازرسان تونل.

بخش ٤ (علائم آیتم‌ها و المان‌های تونل) لیستی از کلیه آیتم‌ها و عناصر موجود در SNTI شامل موارد بیان شده در بخش‌های ۲ و ۳ فوق.

بخش ۵ (نمونه کدگذاری تونل) که نشان می‌دهد چگونه می‌توان اطلاعات را از یک گزارش بازرسی گرفته و آن را به آیتم‌ها و عناصر شرح داده شده در SNTI تبدیل نمود. بخش ٦ (منابع و مراجع) لیستی از اسناد و مراجع مرتبط با بازرسی تونل

و یا مراجعی که شباهت‌های بین بازرسی پل و تونل را بیان می‌کند.

از SNTI برای تهیه و جمع آوری آیتم‌های فهرست تونل از جمله: شناسه تونل، سن و سطح خدمات، طبقه‌بندی، داده‌های هندسی، بازرسی، بارگذاری و رتبه‌بندی بار، نوع سازه و مصالح استفاده می‌شود. مطابق SNTI، تکمیل فهرست تونل نیاز به اطلاعاتی همچون نام آیتم (item name)، مشخصات (specification)، توضیحات (commentary)، مثال‌ها (examples)، قالب (format) و عدد شناسه (alpha-numeric identification) دارد. Specification شامل توضیحات مربوط به هر آیتم می‌باشد. همچنین در بخش commentary نیز تفسیر مربوط به هر آیتم ارایه می‌شود. مثال‌ها نیز برای نشان دادن نحوه کدگذاری اطلاعات در شرایط یا وضعیت‌های مختلف ارایه شده است.

۲-۳- ضابطه "تامی منوال"

تامی منوال در خصوص موارد مختلف اطلاعاتی که قرار است به عنوان بخشی از گزارش‌های اصلی تونل ثبت شود، بحث می‌کند. در این منوال روش‌های بازرسی و تهیه گزارش‌های مفصل در مورد عناصر و المان‌های تونل، ارایه شده است. این گزارش‌ها به عنوان یک مبنا برای "ضابطه فهرست تونل ملی" خواهد بود. هدف از تامی منوال، بهبود ایمنی و عملکرد تونل‌های بزرگراهی است. راهنمائی‌هایی در مورد عملکرد تونل، نگهداری، بازرسی و ارزیابی ارایه شده است که به حفظ وضعیت ایمن تونل و حفظ سطح سرویس قابل اطمینان، کمک می‌کند (TOMIE, 2015). بسیاری از تونل‌ها در ایالات متحده در دو دوره مشخص از توسعه بزرگراه‌ها ساخته شدند. اولین دوره در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ و دومین دوره، در زمان توسعه سیستم بزرگراه بین شهری در طول دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ بوده است. بسیاری از تونل‌هایی که در این دوره‌ها ساخته شده‌اند، از عمر سرویس طراحی مورد نظر فراتر رفته‌اند. براساس اطلاعات اولیه به دست آمده از فهرست اولیه تونل‌ها که به طور مشترک توسط اداره بزرگراه فدرال (FHWA) و اداره ترانزیت فدرال (FTA) انجام شد، بیش از ۳۵۰ تونل بزرگراه در ایالات متحده شناسایی گردید. تقریباً ۵ درصد از این تونل‌ها بیش از ۱۰۰ سال سن داشتند. افزایش سن و افزایش ترافیک تونل از جمله عواملی است که نشان دهنده لزوم انجام بازرسی‌های روتین برای حفظ وضعیت ایمن و ارایه خدمات قابل اطمینان در تونل‌های جاده‌های عمومی می‌باشد. منوال بهره‌برداری، نگهداری، بازرسی و ارزیابی تونل، مطابق زیر در ۵ فصل تنظیم شده است.

فصل ۱ شامل اطلاعات پیش زمینه در مورد توسعه NTIS است. در این فصل همچنین مفاهیم اساسی تونل‌های بزرگراه مانند روش‌های ساخت تونل و شکل مقاطع، انواع لاینینگ، دال‌ها و سطوح پوشیده، و سیستم‌های عملکردی تونل مانند زهکشی، تهویه، روشنایی، برق و ارتباطات بررسی شده است. فصل ۲ در مورد بهره‌برداری و عملکرد تونل‌ها می‌باشد. در این فصل یک ساختار سازمانی برای کارکنان بهره‌برداری در تونل ارایه شده است و در مورد وظایف خاص مربوط به هر یک از سمت‌های کارمندان، بحث می‌کند. روش‌های بهره‌برداری عادی، مدیریت حوادث و پروتکل‌های بهره‌برداری نیز مورد بحث قرار گرفته است. فصل ۳ در مورد نگهداری تونل‌ها با رویکردهای پیشگیری، تقاضامحور و توانبخشی می‌باشد. در این فصل دستورالعمل‌های مربوط به نگهداری المان‌های سازه، سیویل، عملکردی و دیگر المان‌های تونل ارایه شده است.

فصل ٤ نحوه توسعه برنامه بازرسی را در راستای NTIS مورد بحث قرار می‌دهد. مسئولیت‌های سازمان بازرسی تونل، صلاحیت‌های پرسنل بازرسی، اقدامات و روش‌های بازرسی و انواع روش‌های بازرسی تونل بیان می‌شود. اطلاعات مربوط به تدوین برنامه‌های ایمنی و بهداشت، تجهیزات بازرسی، نقایص معمول در تونل، عناصر و المان‌ها و موارد بحرانی نیز در این فصل ارایه شده است. فصل ۵ مربوط به ارزیابی سیستم‌های تونل است. مباحث اصلی شامل صلاحیت پرسنل، بازرسی و آزمایش‌های تکمیلی، روش‌های ارزیابی اجزای مختلف سیستم تونل از قبیل ارزیابی ریسک، طبقه‌بندی اولویت و برآورد هزینه اصلی می‌باشد. در مورد مدیریت تونل و الزامات نظارتی برای بارگذاری تونل‌های بزرگراه، نیز توضیحاتی ارایه شده است.

FHWA با همکاری مؤسسه ملی بزرگراه NHI[۱۸] یک دوره آموزشی جامع تهیه کرد که امکان اخذ گواهینامه ملی را برای بازرسان تونل فراهم نمود. پرسنل اصلی بازرسی، از جمله مدیر

برنامه و رهبران تیم، ملزم به داشتن گواهینامه یا مجوز ملی هستند. NTIS همچنین این اجازه را می‌دهد که آموزش، جایگزین صدور گواهینامه شود (TOMIE, 2015).

براساس تعریف ارایه شده در NTIS تونل عبارت از "یک جاده محصور شده برای تردد وسایل نقلیه موتوری با دسترسی وسیله نقلیه محدود به پورتال‌ها، صرف نظر از نوع تونل یا روش ساخت آن، که براساس تصمیم متولی تونل ملاحظات طراحی ویژه‌ای شامل روشنایی، تهویه، سیستم‌های محافظت در برابر حریق، و ظرفیت خروج اضطراری را دارا باشد. بدین ترتیب اصطلاح "تونل" شامل پل‌ها یا کالورت‌هایی که طبق استاندارد ملی بازرسی پل، 23 CFR Part 650 Subpart C مورد بازرسی قرار می‌گیرند، نیست.

به منظور رصد نمودن شرایط تونل‌ها در سراسر ایالات متحده و اطمینان از رعایت NTIS، FHWA یک پایگاه داده NTI ایجاد کرد که شامل کل فهرست اولیه و داده‌های بازرسی تونل می‌باشد. اطلاعات فهرست تونل و بازرسی، در گزارش سالانه به کنگره در دسترس خواهد بود. این داده‌ها همچنین امکان شناسایی و پیگیری کمبودها و نقایص تونل را فراهم می‌آورد که اطمینان از ایمنی عمومی را در پی خواهد داشت. بانک اطلاعاتی NTI یک مدل داده محور و مبتنی بر ریسک را جهت مدیریت دارایی فراهم آورده که می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های سرمایه گذاری آگاهانه مورد استفاده قرار گیرد (TOMIE, 2015).

FHWA، AASHTO و NCHRP[۱۹] به طور مشترک از دو خلاصه اجرایی اسکن تونل[۲۰] (اروپایی و بومی) حمایت کرده‌اند تا شیوه‌های نوآورانه‌ای که در سطح بین المللی و داخلی برای طراحی تونل، ساخت و ساز، بهره برداری و مدیریت اضطراری مورد استفاده قرار می‌گیرند، به کار گرفته شود. تیم‌های اسکن متشکل از نمایندگان FHWA، ادارات حمل و نقل ایالتی، یک آژانس حمل و نقل، یک متخصص مالی و یک مشاور تونل بودند. در ژوئن سال ۲۰۰۶، FHWA یک بررسی میدانی از چندین تونل در اروپا[۲۱] را انجام داد تا در مورد فلسفه طراحی و بهره برداری مورد استفاده در برنامه‌های بین المللی تونل، اطلاعاتی کسب نماید. چندین طرح خلاقانه و برنامه مدیریت اضطراری مورد بررسی قرار گرفت. مشابه اسکن اروپایی، در آگوست ۲۰۰۹ نیز نظرسنجی از چندین تونل مهم ایالات متحده[۲۲] انجام شد. هدف از این تحقیق تعیین بهترین روش‌ها برای طراحی تونل جاده‌ای، اجرا، نگهداری، بازرسی و بهره‌برداری بود. تیم اسکن درباره تونل‌های بزرگراه‌های ایالتی، منطقه‌ای و محلی تحقیق کردند.

٤- انواع روش‌های بازرسی تونل

علاوه بر بازرسی عمومی، روزانه، هفتگی یا ماهانه که توسط پرسنل بهره‌برداری و نگهداری تونل انجام می‌شود، انواع مختلفی از بازرسی‌ها وجود دارند که به طور منظم در سازه‌هایی مانند تونل‌های حمل و نقل انجام می‌شود. NTIS روش‌های بازرسی را تحت عناوین بازرسی‌های اولیه[۲۳]، دوره‌ای[۲۴]، خسارت[۲۵]، عمیق[۲۶] و ویژه[۲۷] برای تونل‌ها مطابق جدول ۱ مشخص نموده است.

جدول ۱. انواع بازرسی تونل (TOMIE, 2015)

نوع بازرسی	هدف
بازرسی اولیه	جمع آوری و بررسی سوابق پرونده بازرسی و شرایط اولیه تونل
بازرسی دوره‌ای	انجام مشاهدات جامع و پیمایش تونل در فواصل زمانی منظم
بازرسی خسارت	ارزیابی صدمات ناشی از حوادثی مانند ضربه، آتش سوزی، سیل، زلزله، بارهای لرزه‌ای و انفجار
بازرسی عمیق	بررسی عیوب و نواقص با قابلیت تشخیص کم با استفاده از تکنیک‌های بازرسی از نزدیک
بازرسی ویژه	رصد نمودن نواقص و عیوب بحرانی و تهدید کننده ایمنی

الزامات فواصل یا بازه‌های زمانی بازرسی‌های اولیه و دوره‌ای مطابق NTIS در جدول ۲ به طور خلاصه ارایه شده است. برای بازرسی‌های عمیق، وظیفه تعیین بازه‌های بازرسی بر اساس نیازهای خاص تونل، بر عهده سازمان یا تشکیلات بازرسی تونل می‌باشد. بازرسی‌های ویژه و خسارت نیز به اختیار متولیان تونل انجام می‌شود.

بازرسی اولیه

در تونل‌های جدید، بازرسی اولیه باید پس از اتمام عملیات ساختمانی و تست سیستم‌های عملکردی و قبل از باز شدن ترافیک تونل انجام شود. بازرسی اولیه باید از تعداد کافی مشاهدات و اندازه گیری‌های مورد نظر برای تعیین وضعیت فیزیکی و عملکردی تونل برخوردار باشد. این نوع بازرسی، سیستم‌های سازه‌ای، سیویل، مکانیکی، روشنایی، آتش سوزی و ایمنی، امنیتی، علائم و سیستم‌های محافظتی را پوشش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود که ثبت نتایج مطابق دستورالعمل موجود در SNTI انجام شود. بازرسی اولیه تونل، اطلاعات و شرایط پایه‌ای تونل را تعیین می‌کند و از آن برای تدقیق داده‌های اولیه فهرست تونل استفاده می‌شود. از اطلاعات پایه می‌توان برای ارزیابی تغییرات سیستم‌های تونل در طول زمان برای تشخیص روند استفاده نمود.

جدول ۲. الزامات فواصل یا بازه‌های زمانی (TOMIE, 2015)

نوع بازرسی	کاربرد	فواصل زمانی
بازرسی اولیه	تونل جدید	قبل از افتتاح و جریان ترافیک
	تونل موجود	در طی ۲٤ ماه از تاریخ مؤثر تعیین شده در NTIS *تاریخ مؤثر: ۳۰ روز پس از انتشار ضابطه
بازرسی دوره‌ای	حالت پیش فرض	هر ۲٤ ماه از طول عمر تونل
	با توجیه و تأیید	احتمالاً امکان تمدید تا ٤۸ ماه نیز وجود دارد
بازرسی عمیق	برای سیستم‌های خاص سازه‌ای و عملکردی	سطح بازرسی و تواتر آن طبق تصمیم مدیر برنامه تونل (کارفرما)

بازرسی دوره‌ای

پس از بازرسی اولیه، بازرسی‌های دوره‌ای در فواصل زمانی مشخص شده در NTIS انجام می‌شود. بازرسی‌های دوره‌ای منظم به اطمینان از ادامه خدمات ایمن، قابل اعتماد و کارآمد کمک می‌کند. این بازرسی‌ها از نظر شرح خدمات با بازرسی اولیه مشابه هستند. بازرسی‌های دوره‌ای تونل در طول زمان تغییرات تونل را ثبت می‌کند و می‌تواند برای پیش‌بینی روند و برآورد عمر مفید اجزا و المان‌ها موثر باشد. بازرسی دوره‌ای باید از تعداد کافی مشاهدات و اندازه گیری‌های مورد نظر برای تعیین وضعیت فیزیکی و عملکردی تونل برخوردار باشد. این بازرسی‌ها به منظور پوشش سیستم‌های سازه، سیویل، مکانیکی، روشنایی، آتش سوزی و ایمنی، امنیتی، علائم و سیستم‌های محافظتی انجام می‌پذیرد. پیشنهاد این است که نحوه ثبت نتایج مطابق دستورالعمل موجود در SNTI انجام شود.

بازرسی خسارت

بازرسی خسارت متعاقب حوادث طبیعی یا فعالیت‌های انسانی که به تونل آسیب می‌رسانند، انجام می‌شود. خسارت ممکن است در اثر برخورد وسایل نقلیه موتوری، آتش‌سوزی، سیل، زلزله یا

انفجار ایجاد شود. وقتی خسارت شدید رخ می‌دهد، باید تونل بسته شود تا بازرسی تکمیل شود. ممکن است به بررسی و تحلیل سازه‌ای و انجام تعمیرات اضطراری نیاز باشد و مصالح سازه‌ای ممکن است نیاز به ارزیابی داشته باشد. ایمنی پس از یک حادثه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ممکن است دستگاه‌هایی مانند دستگاه تنفس، لباس محافظ و تجهیزات تخصصی لازم باشد. کار بازرسی باید با پرسنل اورژانس هماهنگ شود. تشکیلات یا سازمان بازرسی تونل باید برنامه‌های مفصلی را تهیه کرده و تمرینات آموزشی را با پرسنل تونل پیش از وقوع این رویدادها انجام دهد.

بتن معمولاً در حادثه آتش‌سوزی عملکرد خوبی دارد. اما هنگامی که درجه حرارت از ۵۷۰ درجه فارنهایت بیشتر باشد، ممکن است آسیب دائمی ایجاد شود. با افزایش دما، بتن ممکن است تغییر رنگ دهد که باید در گزارش بازرسی ذکر شود. برای نواحی بتنی که در معرض آتش قرار دارند باید بر اساس صدای چکش تصمیم گیری و بررسی گردد. بتن باید از دیدگاه لایه لایه شدن، ترک خوردگی، اعوجاج، پوسته پوسته شدن یا هرگونه نشانه دیگری بررسی شود. استحکام عناصر تسلیح و تقویت کننده که در معرض دید باشد، باید بررسی شود.

فولاد در معرض آتش سوزی باید از نظر تغییر شکل با دقت مورد بررسی قرار گیرد زیرا تمایل به نرم شدن در دماهای بالاتر دارد. راستای مستقیم اعضا نیز باید بررسی شده و مقدار و محل آسیب باید پیمایش و ثبت شود. اعضای در معرض گرمای شدید ممکن است تغییر شکل بیش از حد و کاهش مقاومت دائمی دهند. از فولاد در معرض آتش می‌تواند نمونه برداری شده و خواص مکانیکی آن را مانند تردی و سختی آزمایش نمود. استفاده از تست مناسب غیر مخرب نیز ممکن است مفید باشد. بررسی آسیب وارده به اتصالات فولادی به دلیل بریده شدن پیچ یا شل شدن میخ‌ها و یا ترک و گسیختگی محل جوش یا سایر آسیب‌های ناشی از فشار بیش از حد حرارتی، لازم است.

پس از سیل، خاکریزها و دامنه‌های اطراف تونل ممکن است اشباع شده و این وضعیت به بی‌ثباتی دیوارها و شیب‌ها منجر شود. یک مهندس ژئوتکنیک باید پس از وقوع سیل، خاکریزها و دامنه‌های موجود در مجاورت تونل را بررسی کند. پس از وقوع سیل، خصوصاً در محیط‌های نمکی، ممکن است احتیاج به شستشوی کامل تونل باشد.

تونل‌ها معمولاً در برابر بار زلزله مقاوم هستند. با این وجود، حرکات بزرگ زمین به دنبال رویداد زلزله ممکن است منجر به آسیب گسترده به اجزای اصلی شود. بهتر است یک برنامه از پیش تنظیم شده بازرسی پس از زلزله در اختیار باشد. در پی وقوع زمین لرزه‌ای به بزرگی ۵ ریشتر یا بیشتر، باید تمام تونل‌ها تا شعاع ۱۰۰ مایلی مورد بازرسی قرار گیرند. تیم بازرسی باید موارد ذیل را بازرسی نمایند:

۱.ترک‌ها، لغزش‌ها یا گسیختگی شیب در محل تونل.

۲. ریزش یا شل شدن سنگ.

۳. کج شدن دیوارهای مجاور پرتال‌های تونل.

٤. کاشی‌های صدمه دیده یا لق.

۵. ترک یا خرابی جدید در پوشش سازه‌ای تونل یا سطح جاده.

٦. کلیه تجهیزات و اتصالات المان‌های معلق بالای تونل از قبیل سقف معلق، پنکه جت، سیستم روشنایی و علائم.

۷. عناصر سازه‌ای از جنس فولاد، بتن، چوب و مصالح بنایی

۸. افزایش غیرمعمول جریان آب درون تونل.

۹. سیستم‌های عملکردی مانند زهکشی، تهویه و روشنایی، تجهیزات ارتباطی و...

انفجار می‌تواند باعث خسارت گسترده یا موضعی شود که پیش بینی و ارزیابی این نوع آسیب مشکل است. کارشناسان جستجو و نجات شهری، مهندسین سازه، امنیتی و کارشناسان اجرای قانون احتمالاً برای اطمینان از ایمنی و ارزیابی خسارات لازم است که در صحنه باشند. سایت تونل ممکن است به عنوان صحنه جرم تلقی شود و دسترسی به سایت ممکن است توسط مقام مسئول محدود شود.

قبل از انجام بازرسی، بازرسان باید از موارد مرتبط با حادثه انفجار مانند عدم کیفیت هوا، احتمال وجود مواد خطرناک و پتانسیل خطر سوخت‌های ریخته شده و سایر مواد قابل احتراق یا خطرناک آگاه باشند. پس از یک حادثه انفجار، باید آسیب ضربه، آتش سوزی، و آسیب لرزه‌ای متعاقب آن نیز مطابق با شرایط بررسی شود. علاوه بر این، تمام پنجره‌ها و درها موجود در تونل باید برای آسیب احتمالی وارده در اثر امواج شوک مورد بازرسی قرار گیرند. سازمان بازرسی تونل، پرسنل تأسیسات تونل

و اولین پرسنل اعزامی به محل باید ملاحظات و رویه‌های مقابله با حوادث انفجاری را رعایت کنند.

بازرسی عمیق

بازرسی عمیق یک بازرسی از نزدیک می‌باشد، که بر روی یک یا چند یا تمام عناصر سازه‌ای یا سیستم‌های عملکردی انجام می‌شود. از این نوع بازرسی برای شناسایی نواقصی که به راحتی در حین بازرسی‌های اولیه، دوره‌ای یا خسارت قابل تشخیص نیستند استفاده می‌شود. بازرسی‌های عمیق ممکن است شامل تست سیستم تونل، قطعات و مصالح باشد. در این نوع بازرسی ممکن است نیاز به جداسازی و تمیز کردن قطعات تجهیزات باشد. این نوع بازرسی ممکن است تحلیل سازه‌ها یا ارزیابی سیستم عملکردی (در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر) را نیز در بر بگیرد. بازرسی‌های عمیق بر اساس یک برنامه ریزی و بر حسب نیاز تونل، نتایج حاصل از بازرسی‌های قبلی، و یا خط مشی‌های از پیش تعیین شده انجام می‌شود.

بازرسی ویژه

بازرسی ویژه، در صورت کشف عیوب بسیار مهم و نیاز به نظارت دقیق، معمولاً پس از یک بازرسی اولیه، دوره‌ای، خسارت، یا عمیق انجام می‌شود. بازرسی‌های ویژه بر اساس یک برنامه ریزی و بر حسب نیاز تونل، نتایج حاصل از بازرسی‌های قبلی، و یا خط مشی‌های از پیش تعیین شده انجام می‌شود. در این نوع بازرسی‌ها تا زمانی که نقص برطرف نشود، مؤلفه معیوب از سرویس خارج خواهد شد مگر بررسی‌های بیشتر مشخص کند که شرایط حاد نمی‌باشد و نیاز به تواتر بیشتر بازرسی می‌باشد.

۵- فرم‌های بازرسی برای پوشش سازه‌ای

SNTI به همراه TOMIE برای جمع آوری داده‌های بازرسی تونل شامل المان‌های سازه‌ای، سیویل و عملکردی درون تونل استفاده می‌شود. دو جدول اصلی وجود دارد که دستورالعمل‌های کدگذاری سطح عناصر یا المان‌ها را ارایه می‌دهند. جدول اول دارای پنج بخش است: نام عنصر یا المان، واحد اندازه‌گیری، شماره المان، مشخصات، و تفسیر. همچنین در جدول دوم، چهار حالت یا وضعیت المان ارایه شده است. قبل از تهیه فرم‌های بازرسی نیاز است که شکل و فرمت مناسبی برای آن در نظر گرفته شود تا از کارائی مناسب برای استفاده در بازرسی اطمینان حاصل شود. در این راستا، مناسب است که دو تعریف زیر را داشته باشیم.

فهرست موجودی[۲۸]: شامل آیتم‌های موجودی تونل (شناسه، سن و سرویس‌دهی، طبقه بندی، مشخصات هندسی، بازرسی، ظرفیت تحمل بار، ناوگان، نوع سازه و مصالح تونل) می‌باشند. این آیتم‌ها بر این مبنا طبقه بندی شده‌اند تا از سهولت کافی برای استفاده توسط بازرسان تونل برخوردار باشند.

عناصر[۲۹]: شامل عناصر و المان‌های تونل (سازه‌ای، سیویل، سیستم‌های مکانیکی، سیستم‌های برقی و روشنایی، سیستم‌های ضد حریق/ ایمنی/امنیتی، علائم، و سیستم‌های محافظت) با توجه به نوع، مصالح و موقعیت فیزیکی آنها در تونل جهت ایجاد سهولت برای استفاده بازرسان تونل.

مطابق شکل ۱، برای هر آیتم می‌تواند علاوه بر یک نام، یک شماره یا شناسه آیتم و یک فرمت نیز در نظر گرفته شود. همچنین هر آیتم دارای یک ویژگی و تفسیر خاص خود می‌باشد و نهایتا با مثال‌هایی تکمیل گردیده است.

تعیین فرمت بسته به نوع هر آیتم می‌تواند به روش‌های زیر انجام شود.

-فرم الفبایی (Alpha Numeric: AN#): که علامت # نشانگر تعداد حروف است. به عنوان نمونه AN2 مبین یک واژه با دو حرف است مثلا CA.

-فرم عددی (Numeric: N(X,Y)): که X نشانگر تعداد کلی ارقام و Y مبین تعداد اعشار می‌باشد. به عنوان نمونه N(2,0) مبین یک عدد دو رقمی بدون اعشاری است (مانند 10). به عنوان نمونه‌ای دیگر N(5,1) مبین یک عدد ۵ رقمی با یک رقم اعشار (مانند 1016.1) می‌باشد.

-D مبین تاریخ هر رویداد بوده و به شکل (MMDDYYYY) نشان داده می‌شود (مانند 02282013).

Inventory Item Name			
Format XX			Item ID A.#
Specification		Commentary	
Examples			

شکل ۱. فرمت کلی آیتم‌های موجودی تونل (SNTI, 2015)

شناسه آیتم، یک شاخص منحصر به فرد است که به هر یک از آیتم‌ها اختصاص داده می‌شود. آیتم شناسه با I، سن و سرویس‌دهی با A، طبقه‌بندی با C، مشخصات هندسی با G، بازرسی با D، ظرفیت تحمل بار با L، ناوگان با N، نوع سازه و مصالح تونل با S نشان داده می‌شوند. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که برای هر المان تونل دو جدول در نظر گرفته شده است. جدول اول به شرح یک عنصر اختصاص دارد که شامل ۵ بخش می‌باشد: (۱) نام المان، (۲) واحد اندازه‌گیری، (۳) شماره المان، (٤) مشخصات و (۵) تفسیر. شماره المان عدد منحصر به فردی است که به هر المان اختصاص داده شده است. مشخصات و تفسیر مربوط به هر المان، نحوه محاسبه مقدار آن المان و توضیحات لازم برای کدگذاری هر المان را ارایه می‌دهد. جدول دوم به چگونگی وضعیت المان اختصاص دارد که شامل نقایص مربوط به یک المان معین و حالت المان برای هر یک از این نقص‌ها می‌باشد.

Element Name	
Unit of Measure XXXXX	Element Number XXXX
Specification	Commentary

Condition State Definitions

Defect	Condition State 1	Condition State 2	Condition State 3	Condition State 4

شکل ۲. فرمت کلی المان‌های تونل (SNTI, 2015)

هر نقص با چهار حالت توصیفی براساس نوع ماده مرتبط است. به عنوان مثال ترک خوردگی در فولاد و بتن ممکن است رخ دهد، اما نوع ترک خوردگی متفاوت خواهد بود و وضعیت المان بیانگر این تفاوت‌ها است. شدت یک نقص می‌تواند در یک المان متفاوت باشد و با استفاده از چهار وضعیت مختلف (خوب، نسبتاً خوب، ضعیف و خیلی ضعیف) توصیف و اندازه‌گیری می‌شود. کدهای وضعیت ۱ تا ۳ به طور معمول برای هر نقص تعریف شده است. کد وضعیت ٤ برای حالتی است که شرایط نقص فراتر از حد تعیین شده در شرایط ۱ تا ۳ باشد. در وضعیت ٤، یا بررسی سازه‌ای توصیه می‌شود یا این که انجام شده است لیکن در این وضعیت کاهش مقاومت یا قابلیت سرویس وجود دارد. برای یک المان، مقدار کل آن المان، در ٤ کد وضعیت قابل سنجش است. برای مثال اگر یک تیر بتنی به طول ۱۰ فوت به ۱۰ بخش ۱ فوتی تقسیم شود، به هر بخش بر اساس نقایص موجود، یک کد وضعیت اختصاص داده می‌شود. اگر تنها در یک بخش، شکاف ۰,۰۰٦ اینچ وجود داشته باشد، لذا مقدار کل المان ۱۰ فوتی به شکل ۱ فوت با کد ۲ و ۹ فوت با کد ۱ بیان می‌شود.

مجموعه المان‌های تونل به صورت یک لیست کلی شامل موارد متعدد و متنوعی می‌باشد. به‌عنوان نمونه در شکل ۳ تنها المان‌های مربوط به پوشش سازه‌ای ارایه شده است و در ادامه جداول مربوطه ۳ تا ٦ به ترتیب برای پوشش فولادی، **پوشش بتن درجا، بتنی پیش‌ساخته** و شاتکریت ارایه گردیده است.

Elements

Structural Section

Element Type	Element #	Element Name	Unit of Measure
Liners	10000	Steel Tunnel Liner	area
	10001	Cast-in-Place Concrete Tunnel Liner	area
	10002	Precast Concrete Tunnel Liner	area
	10003	Shotcrete Tunnel Liner	area

شکل ۳. فرمت کلی المان‌های پوشش تونل (SNTI, 2015)

جدول ۳. تعیین وضعیت پوشش فولادی (SNTI, 2015)

پوشش فولادی				
شماره المان: ۱۰۰۰۰			**واحد اندازه‌گیری (متر مربع)**	
تفسیر			**مشخصات**	
ارزیابی چشمی ممکن است با نتایج آزمایش غیر مخرب یا مخرب برای همه عناصر تکمیل شود.			**مساحت پوشش تونل تابعی از طول (در امتداد خط مرکزی) تونل و محیط پوشش است.**	
چگونگی وضعیت				
حالت ٤	**حالت ۳**	**حالت ۲**	**حالت ۱**	**عیب**
وضعیتی که در آن به بازبینی سازه‌ای توصیه می‌شود یا اینکه بازبینی سازه‌ای انجام شده است و مشخص گردیده که عیب یا نقص در مقاومت و قابلیت سرویس آن المان تأثیر می‌گذارد.	**کاهش سطح یا مقطع و سطح زنگ زده مشهود است اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.**	**ظهور لکه‌های زنگ زدگی. خوردگی فولاد آغاز شده است.**	–	**خوردگی**
	ترک‌هایی که محدود نشده‌اند اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	**ترک‌های خود محدود شده یا ترک‌های محدود شده توسط سوراخ‌ها یا صفحات و یا دیگر موانع مشابه**	–	**ترک خوردگی**

	پیچ، پرچ، بست، و جوش‌های گسیخته یا شکسته شده یا زنگ‌زدگی همراه با تغییر شکل است اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	اتصال لق یا زنگ بسته بدون تغییر شکل است اما بدون جابجایی از محل خود بوده و عملکرد آن مطابق انتظار است.	اتصال بدون جابجایی از محل خود بوده و عملکرد آن مطابق انتظار است.	اتصال
	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و نیازی به کاهش آن نیست.	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و کاهش داده شده است.	–	تغییر شکل
نشت در حالت چکه کردن یا جریان آب باشد.	سطح کاملا اشباع و همراه با تراوش می‌باشد.	سطح اشباع شده ناشی از نشت موجود یا نشت‌های قبلی	سطح خشک	نشت

جدول ٤. تعیین وضعیت پوشش بتن درجا (SNTI, 2015)

پوشش بتن درجا				
شماره المان: ۱۰۰۰۱			واحد اندازه‌گیری (متر مربع)	
تفسیر			مشخصات	
چگونگی وضعیت				
حالت ٤	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	عیب
وضعیتی که در آن به بازبینی سازه‌ای توصیه می‌شود یا اینکه بازبینی سازه‌ای انجام شده است و مشخص گردیده که عیب یا نقص در مقاومت و قابلیت سرویس آن المان تأثیر می‌گذارد.	قلوه کن شدن با عمق بیشتر از ۱ اینچ و قطر بیشتر از ٦ اینچ است. ناحیه وصله شده ناسالم و دارای آشفتگی ظاهری است. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	ورقه ورقه شدن رخ داده است. قلوه کن شدن با عمق ۱ اینچ یا کمتر و قطر ٦ اینچ یا کمتر است. ناحیه وصله شده سالم است.	–	ورقه ورقه شدن/قلوه کن شدن/وصله شدگی
	کاهش مقطع قابل اندازه گیری می‌باشد. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	کاهش مقطع قابل اندازه گیری نمی‌باشد.	–	نمایان شدن میلگرد

	برآمدگی یا تبله کردن شدید همراه با لکه‌های زنگ	سطح سفید بدون برآمدگی و یا برآمدگی بدون لکه زنگ	-	/ لکه زنگ زدگی شوره زدن
	عرض ترک بیشتر از ۰٫۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا بیشتر از ۰٫۰۱۲ در بالای خط باشد یا فاصله ترک‌ها کمتر از ۱ فوت.	عرض ترک ۰٫۰۱۲ تا ۰٫۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا فاصله ترک‌ها ۱٫۰ تا ۵٫۰ فوت باشد.	عرض ترک کمتر از ۰٫۰۱۲ اینچ یا فاصله ترک‌ها بیشتر از ۵ فوت باشد.	ترک خوردگی
	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و نیازی به کاهش آن نیست.	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و کاهش داده شده است.	-	تغییر شکل
نشت در حالت چکه کردن یا جریان آب باشد.	سطح کاملا اشباع و همراه با تراوش می‌باشد.	سطح اشباع شده ناشی از نشت موجود یا نشت‌های قبلی	سطح خشک	نشت

جدول ۵. تعیین وضعیت پوشش پیش ساخته بتنی (SNTI, 2015)

پوشش پیش ساخته بتنی				
شماره المان: ۱۰۰۰۲			واحد اندازه‌گیری (متر مربع)	
تفسیر			مشخصات	
چگونگی وضعیت				
حالت ٤	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	عیب
وضعیتی که در آن به بازبینی سازه‌ای توصیه می‌شود یا اینکه بازبینی سازه‌ای انجام شده است و مشخص گردیده که عیب یا نقص در مقاومت و قابلیت سرویس آن المان تأثیر می‌گذارد.	قلوه کن شدن با عمق بیشتر از ۱ اینچ و قطر بیشتر از ٦ اینچ است. ناحیه وصله شده ناسالم و دارای آشفتگی ظاهری است. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	ورقه ورقه شدن رخ داده است. قلوه کن شدن با عمق ۱ اینچ یا کمتر و قطر ٦ اینچ یا کمتر است. ناحیه وصله شده سالم است.	-	ورقه ورقه شدن/قلوه کن شدن/وصله شدگی
	کاهش مقطع قابل اندازه‌گیری می‌باشد. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	کاهش مقطع قابل اندازه گیری نمی‌باشد.	-	نمایان شدن میلگرد
	برآمدگی یا تبله کردن	سطح سفید بدون	-	/ لکه زنگ زدگی

	شدید همراه با لکه‌های زنگ	برآمدگی و یا برآمدگی بدون لکه زنگ		شوره زدن
	عرض ترک بیشتر از ۰٫۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا بیشتر از ۰٫۰۱۲ در بالای خط باشد یا فاصله ترک‌ها کمتر از ۱ فوت.	عرض ترک ۰٫۰۱۲ تا ۰٫۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا فاصله ترک‌ها ۱٫۰ تا ۵٫۰ فوت باشد.	عرض ترک کمتر از ۰٫۰۱۲ اینچ یا فاصله ترک‌ها بیشتر از ۵ فوت باشد.	ترک خوردگی
	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و نیازی به کاهش آن نیست.	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و کاهش داده شده است.	–	تغییر شکل
نشت در حالت چکه کردن یا جریان آب باشد.	سطح کاملا اشباع و همراه با تراوش می‌باشد.	سطح اشباع شده ناشی از نشت موجود یا نشت‌های قبلی	سطح خشک	نشت

جدول ٦. تعیین وضعیت پوشش شاتکریت (SNTI, 2015)

پوشش شاتکریت				
شماره المان: ۱۰۰۰۳			واحد اندازه‌گیری (متر مربع)	
تفسیر			مشخصات	
چگونگی وضعیت				
حالت ٤	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	عیب
	قلوه کن شدن با عمق بیشتر از ۱ اینچ و قطر بیشتر از ٦ اینچ است. ناحیه وصله شده ناسالم و دارای آشفتگی ظاهری است. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	ورقه ورقه شدن رخ داده است. قلوه کن شدن با عمق ۱ اینچ یا کمتر و قطر ٦ اینچ یا کمتر است. ناحیه وصله شده سالم است.	–	ورقه ورقه شدن/قلوه کن شدن/وصله شدگی
	کاهش مقطع قابل اندازه گیری می‌باشد. اما بازبینی سازه‌ای را ایجاب نمی‌کند.	کاهش مقطع قابل اندازه گیری نمی‌باشد.	–	نمایان شدن میلگرد

وضعیتی که در آن به بازبینی سازه‌ای توصیه می‌شود یا اینکه بازبینی سازه‌ای انجام شده است و مشخص گردیده که عیب یا نقص در مقاومت و قابلیت سرویس آن المان تأثیر می‌گذارد.	برآمدگی یا تبله کردن شدید همراه با لکه‌های زنگ	سطح سفید بدون برآمدگی و یا برآمدگی بدون لکه زنگ	–	/ لکه زنگ زدگی شوره زدن
	عرض ترک بیشتر از ۰,۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا بیشتر از ۰,۰۱۲ در بالای خط باشد یا فاصله ترک‌ها کمتر از ۱ فوت.	عرض ترک ۰,۰۱۲ تا ۰,۱۰ اینچ در زیر خط میانی یا فاصله ترک‌ها ۱,۰ تا ۵,۰ فوت باشد.	عرض ترک کمتر از ۰,۰۱۲ اینچ یا فاصله ترک‌ها بیشتر از ۵ فوت باشد.	ترک خوردگی
	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و نیازی به کاهش آن نیست.	تغییر شکل از دیدگاه سازه‌ای بررسی شده و کاهش داده شده است.	–	تغییر شکل
نشت در حالت چکه کردن یا جریان آب باشد.	سطح کاملا اشباع و همراه با تراوش می‌باشد.	سطح اشباع شده ناشی از نشت موجود یا نشت‌های قبلی	سطح خشک	نشت

٦- نتیجه‌گیری

با ارایه یک پروتکل یا راهنمای مناسب جهت بازرسی از المان‌ها و عناصر غیرسازه‌ای و سازه‌ای، از جمله پوشش سازه‌ای دائمی تونل‌های جاده‌ای و ریلی، و استفاده از آن در یک سیستم مدیریت تونل مبتنی بر ریسک برای تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری آگاهانه آتی، این اطمینان حاصل خواهد شد که تونل‌ها همچنان به ارایه سطحی از خدمات ایمن، قابل اعتماد و کارآمد برای عموم مسافران خواهند پرداخت. چنین پروتکل یا رویه‌ای، به طور کلی لازم است که شامل مواردی همچون: مسئولیت‌های تیم بازرسی تونل، صلاحیت پرسنل بازرسی، مراحل و روش‌های بازرسی، انواع مختلف بازرسی، مسائل بهداشتی و ایمنی برای بازرسان، تجهیزات بازرسی، عناصر یا المان‌های تعریف شده (فهرست تونل)، نقایص معمول تونل و رتبه‌بندی وضعیت باشد. به‌نظر می‌رسد که پروتکل‌های "ضابطه فهرست تونل ملی" و "تامی منوال" رویه مناسبی را برای بازرسی از سایر المان‌های تونل و به طور ویژه، پوشش سازه‌ای تونل ارایه می‌دهند.

ضابطه SNTI برای تهیه و جمع‌آوری فهرست تونل از قبیل شناسایی تونل، سن و سطح خدمات، طبقه‌بندی، داده‌های هندسی، بازرسی، بارگذاری و رتبه بندی بار، ناوبری و نوع سازه قابل کاربرد است. همچنین می‌توان از SNTI به همراه TOMIE برای جمع آوری داده‌های جامع بازرسی تونل در سیستم‌های سازه‌ای، سیویل و عملکردی درون تونل استفاده نمود. دو جدول اصلی وجود دارد که دستورالعمل‌های کدگذاری سطح عناصر را ارایه می‌دهند. جدول اول دارای پنج بخش است و در جدول دوم چهار حالت یا وضعیت المان ارایه شده است. در این مقاله سعی گردیده است که کاربرگ یا فرم‌هایی با فرمت مناسب برای بازرسی از پوشش سازه‌ای دائمی تونل‌های حمل و نقل بر اساس مراجع مناسب بین‌المللی ارایه گردد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Federal Highway Administration
2. Federal Transit Administration
3. Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual
4. Highway and Rail Transit Tunnel Maintenance and Rehabilitation Manual
5. Cut and Cover
6. Connector
7. National Transportation Safety Board
8. National Tunnel Inspection Standards
9. Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation (TOMIE) Manual
10. Specifications for the National Tunnel Inventory
11. National Tunnel Inventory
12. Silver Bridge
13. National Bridge Inspection Standards
14. Advanced Notice of Proposed Rule-Making
15. Supplementary Notice of Proposed Rule-Making
16. proper inventory
17. Tunnel Management System
18. National Highway Institute
19.National Cooperative Highway Research Program
20. Tunnel Scan Executive Summaries
21. European Scan
22. Domestic Scan
23. Initial Inspection
24. Routine Inspection
25. Damage Inspection
26. In-depth Inspections
27. Special Inspection
28. Inventory Items
29. Elements

۸- مراجع

-Colorado Department of Transportation, (2018), “Colorado Tunnel Inventory and Inspection Manual”.
-Federal Highway Administration (FHWA) and Federal Transit Administration (FTA), (2005 Edition), “Highway -and Rail Transit Tunnel Inspection Manual”, (HRTTIM).
-Federal Highway Administration (FHWA) and Federal Transit Administration (FTA), (2005 Edition), “Highway and Rail Transit Tunnel Maintenance and Rehabilitation Manual”, (HRTTMRM).
-Federal Highway Administration, (2009), “Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements”, Publication No. FHWA-NHI-10-034, Washington, DC.
-FHWA, (2015), “Tunnel Operations Maintenance”, Inspection and Evaluation (TOMIE) Manual.
-FHWA, (2015), “Specifications for the National Tunnel Inventory (SNTI)”.
-The Massachusetts Department of Transportation (MassDOT), (2018 Edition), “Tunnel Inspection Handbook”.
-Transportation Research Board, (2010), “Development of Guidelines for Rehabilitation of Existing Highway and Rail Transit Tunnels”, NCHRP Project 20-07/Task 276. Washington, DC.
-Transportation Research Board, (2011), “Best Practices for Roadway Tunnel Design”, Construction, Maintenance, Inspection, and Operations, Domestic Scan 09-05, NCHRP Project 20-68A.

Inspection Protocol for Permanent Support Structure of Road and Railway Tunnels

Seyed Mohammad Mansoorzadeh, Instructor, Transportation Research Institute, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Amir Mahjoob, Assistant Professor, Transportation Research Institute, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

E-mail: m.mansoorzadeh@bhrc.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

A tunnel, as an inevitable and necessary technical structure in transportation, usually incurs considerable cost. With the passage of time, this structure, and its related parts and equipment, such as its Support Structure, will gradually deteriorate. Inspection is the prelude to trying to maintain the desired condition and improve the performance of the structure during the useful life of the tunnel and will result in providing a solution for timely maintenance and repair. In this way, in addition to increasing the safety and efficiency of the tunnel, its damage and excessive damage will be prevented and significant savings will be made in the costs of major repairs or construction and reuse of the tunnel. In this article, after classifying and summarizing the results of previous studies, forms with appropriate format for inspection based on the most appropriate international guidelines are presented. The "Specifications for the National Tunnel Inventory (SNTI)" and "TOMIE Manual" protocols seem to provide a good procedure for inspecting the Permanent Support Structure.

Keywords: Tunnel Inspection, Tunnel Maintenance, Tunnel Support Structure, Inspection Procedure