علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ده، دی ماه ۹۹

ارزیابی فاکتورهای ایمنی، زیستی در مدیریت بحران تونل‌های شهری

لیلا عباس‌زاده توسلی [۱]

آزاده تکوئی اصفهانی [*۲]

a_nekooei@yahoo.com

هستی برقعی‌پور [۲]

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۸ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف: گسترش شهرنشینی و مشکلات خاص زندگی شهری، بیش از پیش ضرورت توجه همه جانبه به راهبردهای سودمند برای بهینه‌سازی زندگی ساکنان شهرها را لازم ساخته است. امروزه با رشد روزافزون ساخت تونل‌ها، مسئله تامین ایمنی در آن‌ها مورد توجه مهندسان و نهادهای مسئول قرارگرفته است. به‌منظور استانداردسازی و ارتقای ایمنی تونل، ارزیابی سطح ایمنی وضعیت فعلی تونل‌ها اولویت دارد، تا بتوان تمهیدات لازم برای ارتقای سطح ایمنی آن اتخاذ نمود. به طورکلی با توجه به محدود بودن فضای داخل تونل‌های شهری، وقوع تصادفات در این فضاها دارای شرایط خاصی است. رخ دادن این حوادث می‌تواند موجب اختلال در عملکرد تونل‌ها شود در پی آن ممکن است مشکلاتی همچون آتش‌سوزی، مشکلات تنفسی، و غیره ایجاد شود. بنابراین با توجه به وضعیت بحرانی که در پی وقوع این حوادث ایجاد می‌شود، ضروری است در این شرایط روش‌های مناسبی برای ارزیابی فاکتورهای ایمنی، زیستی در مدیریت بحران تونل‌ها اتخاذ گردد. هدف پژوهش حاضر ارزیابی فاکتورهای ایمنی، زیستی در مدیریت بحران تونل‌های شهری است و تونل توحید را با تونل رسالت و تونل شهدای غزه مقایسه می‌نماید.

روش بررسی: در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده شده است.

یافته‌ها: بالاترین سطح ریسک مربوط به تونل توحید۱ و کمترین سطح ریسک مربوط به تونل شهدای غزه می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق در سال ۱۳۹۶نشان می‌دهد سیستم تهویه بیشترین وزن و زهکشی کمترین وزن را دارد و تونل توحید دارای رتبه اول است.

واژه‌های کلیدی : فاکتورهای ایمنی، زیستی، مدیریت بحران، تونل شهری، تحلیل سلسله مراتبی AHP.

۱- کارشناس ارشد بهداشت و ایمنی محیط زیست(HSE)، گروه جغرافیا و مهندسی محیط زیست، واحدالکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحدتهران مرکزی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.10, January, 2021

Safety and biological factor Assessment in crisis management of urban tunnel

Leila Abbaszadeh Tavassoli[1]

Azadeh Nekooei Esfahani[2*]

a_nekooei@yahoo.com

Hasti Borgheipour[2]

Admission Date:November 14, 2018 Date Received: July 30, 2018

Abstract

Background and Objective: Urban Expansion and problems regarding urban life raise the necessity of providing actionable strategies to improve urban inhabitants' life. Today, with increasing tunnel constructions, safety in tunnels has been the issue for engineers, government officials and authorities. In order to standardize and safety enhancement, safety assessment is the first priority to adopt relevant measures to improve safety level in tunnels. Generally, regarding to the limited spaces in urban tunnels, accidents in tunnels may result in more critical conditions. Occurring of these accidents may disturb the tunnel's function, which may lead to fire, respiratory problems etc. Given to critical condition after the accidents, therefore, it is required to adopt appropriates methods for safety factor assessment in crisis management of tunnels. The present study address safety and biological factor assessment in crisis management of urban tunnels after that we would investigate the differences between Tohid, Resalat and Shohadaie Qazeh tunnels.

Method: To analyze data, Analytic Hierarchy Process (AHP) has been used.

Findings: The highest level of risk associated with Tohid tunnel and the lowest level of risk associated with Shohadaie Qazeh tunnels.

Discussion and Conclusion: The results of research in 1396 show that the ventilation system has the highest weight and drainage has the lowest weight and Tohid tunnel has the first rank.

Keywords: Safety and biological factors, Crisis Management, Urban tunnel, Analytic Hierarchy Process (AHP).

1- Master of Science in Health and safety executive (HSE), Department of Geography and Environmental engineering, Electronic Branch, Islamic Azad University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran. * (Corresponding Author)

مقدمه

مدیریت بحران از طریق هماهنگی فعالیت‌های لازم، به حفظ و بهبود توانایی برای مقابله با تهدید، بلایای طبیعی یا سایر بلایای بشری، می‌پردازد. مدیریت بحران باید تمامی خطرات احتمالی(اولویت بندی شده براساس تاثیر و احتمال وقوع) را در نظر بگیرد تا پیش‌بینی‌های بلایای آتی را انجام دهد و اقدامات پیشگیرانه را ایجاد کند(۱). به طورکلی با توجه به محدود بودن فضای داخل تونل‌های شهری، وقوع حوادث در این فضاها دارای شرایط خاصی است. رخ دادن این حوادث می‌تواند موجب اختلال در عملکرد تونل‌ها شود که در پی آن ممکن است مشکلات دیگری همچون آتش‌سوزی، انفجار، مشکلات تنفسی، و غیره ایجاد شود. بنابراین با توجه به وضعیت بحرانی که در پی وقوع این حوادث ایجاد می‌شود؛ ضروری است که در این شرایط وقوع حادثه و راهکارهای مقابله برای مدیریت بحران اتخاذ گردد(۲). با گسترش سریع اقتصاد ملی، تونل‌های شهری برای ترافیک شهری بیشتر مورد استفاده قرارگرفتند، اما با توجه به محدودیت‌های محیطی، عملیات ایمنی تونل با چالش‌های بزرگی مواجه است. هنگامی‌که آتش‌سوزی رخ می‌دهد، دود، عامل اصلی تلفات است. یک سیستم تهویه مناسب نه تنها می‌تواند هوای تازه‌ای برای تونل ایجاد کند، بلکه گازهای مضر تولید شده توسط وسیله نقلیه را نیز از بین می‌برد، و مانع از گسترش دود آتش می‌شود، به منظور فراهم آوردن وقت برای فرار و نجات، طراحی و عملیات برای تونل بسیار مهم است(۳). در سال‌های اخیر، آتش‌سوزی تونل به علت پیامدهای فاجعه‌بار آن به طور فزاینده‌ای نگران‌کننده شده است(۴). با توجه به افزایش روزافزون جمعیت شهری و ضرورت استفاده از تونل‌های شهری در امر حمل و نقل شهری، ضرورت ایمنی در این تونل‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است، زیرا هر حادثه‌ای هر چند در ابعاد کوچک، در صورت عدم مدیریت صحیح و کمبود تجهیزات و پیش‌بینی‌های لازم، می‌تواند به حادثه‌ای بزرگ تبدیل گردد(۵). تصادفات در تونل‌ها به علت پیکربندی‌های خاص و شرایط محدود باعث تلفات عمده می‌شود(۶). حوادث حریق به چند دلیل در تونل‌ها می‌تواند به فاجعه تبدیل گردد که در ذیل به چند مورد آن اشاره می‌شود:

۱) مشکل تهویه تونل که با توجه به بسته بودن محیط و فقدان هوای کافی می‌تواند با کاهش اکسیژن و افزایش گازهای سمی موجب مرگ افراد در حوادث گردد(۵). با توجه به فضای نسبتا بسته و باریک، هنگامی‌که آتش‌سوزی در تونل اتفاق می‌افتد، دود به سرعت گسترش می یابد و تخلیه دشوار می‌شود(۷).

۲) راه فرار اضطراری در تونل‌ها بسیار مهم و ضروری بوده و در صورت جانمایی غلط در مواقع اضطرار می‌تواند موجب افزایش تلفات گردد. ۳) مسدود شدن تونل که می‌تواند موجب انسداد راه ورود و خروج افراد گردد. بر همین اساس در حوادث تونل ورودی‌ها و خروجی‌ها از اهمیت خاصی برخوردارند.

۴) زمان حریق و مقاومت تونل در حوادث ریزش نیز جزو مواردی است که باید مدنظر قرار گیرد. اگر حادثه‌ای مانند انفجار در تونل رخ دهد باید برای ریزش تونل تمهیداتی در نظرگرفته شود(۵).

با توجه به حوادث یاد شده می‌توان به وضوح به اهمیت ایمنی در تونل‌ها در برابر حریق و سایر موارد پی برد زیرا در صورت بروز حادثه حتی امدادرسانی به حادثه‌دیدگان نیز سخت و دشوار خواهد بود. در این پژوهش سعی بر آن شده تا به ارزیابی فاکتورهای ایمنی در مدیریت بحران تونل‌های شهری پرداخته و روش‌های پیشگیری مورد بررسی قرار گیرد.

در پژوهش حاضر روشنایی، سیستم تهویه، سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار، زهکشی، پوشش داخلی، وضعیت ورودی و خروجی تونل و محدویت عرض معبر به‌عنوان فاکتورهای ایمنی شناسایی شدند که در زیر شرح داده می‌شوند:

روشنایی: عامل روشنایی چه در زمان اجرا، چه در زمان بهره‌برداری و حتی وقوع حادثه از عوامل اصلی و ضروری محسوب می‌شود. تونل‌ها فضاهای بسته و بدون نور طبیعی هستند بنابراین ایجاد نور مصنوعی از ضروریات تونل است. یکی از راهکارهای کاهش حوادث و افزایش ایمنی تامین درک

مناسب و کامل برای راننده از محیط جاده است، آنچه سبب درک مناسب رانندگان از محیط در تونل‌ها می‌شود، تامین روشنایی کافی است(۸).

سیستم تهویه: از آن‌جا که تونل یک محیط بسته است که کار کردن و سوخت و سوز موتور خودروها سبب آلودگی هوای آن می‌شود، باید راهکار مناسب برای دمیدن هوای پاک و قابل استفاده به داخل تونل طراحی شود. عمده گازهای موجود در تونل‌ها عبارتند از: منو اکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن، اکسیدهای ازت، دی‌اکسیدسولفور، هیدروکربن‌های نسوخته(دود). اهمیت تونل و نوع و درجه‌بندی راهی که در محور آن قرارگرفته و نیز درصد ترافیک سنگین و نوع محموله‌های آن و بالاخره شیب و اختلاف ارتفاع، اساس تعیین نوع تهویه‌ای است که بتواند پاسخگوی ایمنی لازم باشد و محیط قابل تنفس را به ویژه در حالت‌های خاص و بحرانی(خرابی خودروها، تصادف، آتش‌سوزی، از کار افتادن وسایل تهویه و قطع برق) تامین نماید(۸) فقدان تهویه مناسب اغلب موجب کاهش بهره‌وری و افزایش میزان تصادفات می‌شود(۹). سیستم‌های تهویه اضطراری برای خروج جریان دود و گاز از ضروریات در موقع حوادث می‌باشد(۱۰).

سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار: هر حادثه کوچکی در محیط بسته تونل‌ها می‌تواند سبب بوجود آمدن مشکلات فراوانی گردد. کنترل مستمر محیط تونل‌ها و آمادگی کامل برای شرایط بحرانی و اضطرار، یکی از ملزومات همیشگی تونل‌هاست. با پیشرفت تکنولوژی و ظهور و به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل و نقل، سیستم‌های اضطراری و پایش تونل‌ها نیز متحول گردید. مهمترین سیستم‌های اضطراری برای تونل‌ها که بسته به اهمیت آنها و میزان ترافیک و درجه راه مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از: سیستم‌های پایش تصویری، سیستم اطفای حریق، سیستم راهبند خودکار تونل، تلفن اضطراری، پارکینگ اضطراری، سیستم‌های ردیابی دود و آتش، درب‌های خروج اضطراری(۸).

زهکشی: زهکشی در تونل‌ها، مانند سایر قسمت‌های جاده باید به طرز مناسب و مطلوبی انجام گیرد تا علاوه بر افزایش طول عمر روکش جاده و مسیر عبور، ایمنی تونل نیز افزایش یابد(۸). آب‌گرفتگی تونل می‌تواند موجب ایجاد ترافیک و حتی در شرایط خاص موجب بالا آمدن سطح آب تا ارتفاع ۱ تا ۲ متر در سطح تونل گردد.

پوشش داخلی: عدم توجه به برنامه تنظیف دیواره تونل‌ها و فقدان سیستم تهویه استاندارد، سبب آلودگی و تیرگی دیواره تونل می‌شود و این موضوع علاوه بر کاهش قدرت دید راننده، سبب به وجود آمدن فضای پراضطراب برای رانندگان خواهد شد. با افزایش ضریب بازتاب بدنه تونل و استفاده از نماهای روشن و تنظیف به موقع دیواره تونل‌ها می‌توان دید رانندگان را بهبود بخشید(۸).

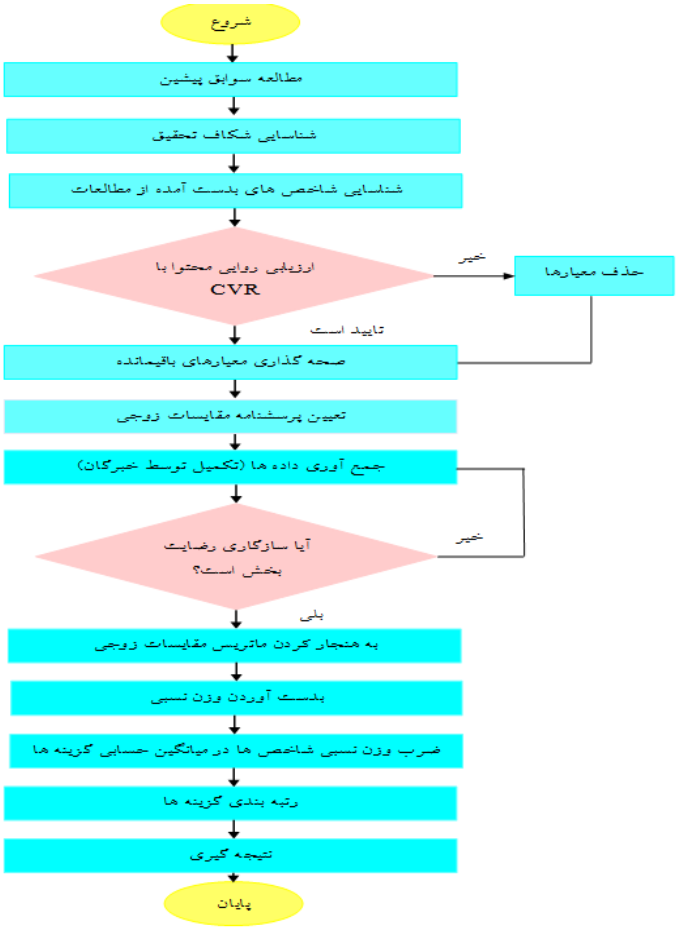
وضعیت ورودی و خروجی تونل: در تونل بخش عمده‌ای از تامین ایمنی، منوط به دادن پیش آگاهی مناسب به راننده در مورد فاصله از تونل و زمان رسیدن به تونل و افزایش احتیاط راننده است. لذا نصب تابلوهای پیش آگاهی مناسب و استفاده از سیستم‌های هوشمند جهت افزایش سطح هوشیاری رانندگان پیشنهاد می‌گردد(۸). در شرایط اضطراری و خطر آگاهی راننده و جلوگیری از ورود بار ترافیکی جدید به داخل تونل، حیاتی و مهم بوده و شرایط امدادرسانی را راحت‌تر می‌کند.

محدویت عرض معبر: معمولا تونل‌ها سازه‌های گرانی هستند و لذا سعی می‌شود در مقاطعی با کمترین عرض ممکن ساخته شوند. گاهی اوقات هم محدودیت‌های محیطی و اجرایی به خصوص در مورد تونل‌های شهری سبب کم بودن عرض آن‌ها می‌شود. در هر صورت عرض قسمت سواره رو تونل نباید کمتر از عرض راه منتهی به آن باشد، بنابراین معمولا کاهش عرض به شانه راه اعمال می‌شود. از آنجا که شانه راه نقش موثری در افزایش ایمنی مسیر دارد و رانندگان برای فرار از خطرهای احتمالی از آنها استفاده خواهند کرد، این کاهش عرض شانه و گاهی از بین رفتن آن امدادرسانی را در شرایط بحرانی را سخت و دشوار می‌نماید(۸).

هدف پژوهش حاضر ارزیابی فاکتورهای ایمنی، زیستی در مدیریت بحران تونل‌های شهری است و تونل توحید را با تونل رسالت و تونل شهدای غزه مقایسه می‌نماید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده شده است. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP به رتبه‌بندی تونل‌ها با توجه به مخاطرات ریسک تونل‌ها می‌پردازیم.

روش بررسی

در پژوهش حاضر در گام نخست به مطالعه تحقیقات گذشته پرداخته شد و شاخص ها شناسایی گردید. در مرحله بعد پس از آنکه شاخص‌ها شناسایی شدند پرسشنامه طراحی شد و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا معیارها شناسایی گردد سپس با استفاده از شاخص CVR معیارهای مورد تایید خبرگان انتخاب شدند، پس از آن پرسشنامه مقایسات زوجی تهیه شد و مجدد در اختیار خبرگان قرار گرفت، پس از جمع آوری پرسشنامه‌ها، سازگاری پرسشنامه‌ها تایید گردید و تجزیه و تحلیل داده‌ها با تکنیک AHP انجام گرفت که در ابتدا ماتریس مقایسات زوجی به هنجار شد سپس وزن نسبی معیارها به‌دست آمد، پس از آن وزن نسبی شاخص در میانگین حسابی گزینه ضرب شد و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام یافت. فرایند کلی پژوهش حاضر در شکل۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- فرایند کلی پژوهش

Fig 1. Overall process of study

در پژوهش حاضر تونل‌های توحید، رسالت و شهدای غزه در سال ۱۳۹۶ مورد مطالعه قرار گرفت.

تونل توحید: تونل توحید واقع در جنوب اتوبان چمران در شهر تهران واقع شده است. این تونل با طول ۲۱۳۶ متر و ۲ رشته

تونل مجاور هم و هر رشته دارای ۳ باند رفت و برگشت، با توجه به ترافیک سنگین و نیاز شدید بخشی از شهر به اتصال ۲ بزرگراه چمران و نواب صفوی احداث شده است. این تونل مجهز به سامانه برق اضطراری اختصاصی است که در هنگام قطع شبکه برق تهران، برق تونل به‌صورت خودکار تأمین می‌شود. همچنین جهت تهویه آن از ۷۰ دستگاه جت فن و ۱۱ دستگاه اگزاست فن بهره گرفته شده است. این تونل به مانند تونل رسالت دارای سامانه هوشمند تنظیم نور بیرونی و درونی تونل می‌باشد. به‌کارگیری بیش از ۳ هزار شمع و ۲۵ هزار قطعه بتونی و نصب سامانه هوشمند در برابر زلزله پیش‌بینی شده که این سازه را در برابر زلزله‌های تا ۸ ریشتری مقاوم می‌نماند (۱۱). این تونل شامل تجهیزاتی چون نظارت تصویری، سیستم تهویه، برق اظطراری، سیستم اطفای حریق، سیستم روشنایی هوشمند و سامانه تشخیص آلودگی، برای کنترل ترافیک و هوشمندسازی تونل می‌باشد. از مشکلات این تونل هوای داخل آن و نقص طراحی سیستم تهویه صحیح در این تونل است. از دیگر مشکلات این تونل نشت آب در، دیوار تونل می‌باشد علت این امر را عدم عایق‌بندی صحیح بیان نمودند که باعث نفوذ آب به درون تونل توحید می‌شود(۱۱).

تونل رسالت: این پروژه از غرب بزرگراه مدرس شروع و قبل از بزرگراه کردستان به سایت غرب متصل شده است. تونل رسالت اولین تونل هوشمند در ایران است که مجموعه‌ای از سیستم‌های کنترلی در آن به طور یکپارچه فعالیت می‌کنند، تا شرایط مطلوبی جهت عبور ایمن وسایل نقلیه از آن فراهم شود. همچنین تونل رسالت از نظر ترافیکی به سیستم‌هایی همچون نظارت تلویزیونی، تشخیص خودکار حوادث، تابلوها و علائم متغیر خبری، سیستم شمارش‌گر خودروها، تلفن‌های اضطراری، کنترل دسترسی‌ها، تشخیص ارتفاع غیرمجاز وسایل نقلیه مجهز است. در این تونل تجهیزات پیشرفته از جمله سیستم‌های تهویه و اطفای حریق و سیستم‌های ترافیکی تعبیه و نصب گردیده و هرگونه حادثه‌ای توسط کارشناسان پیش‌بینی شده است. سیستم نورپردازی و روشنایی در طول تونل با توجه به شرایط محیطی بیرونی و درونی تونل و متناسب با وضعیت دید راننده تنظیم شده است. همچنین این سیستم در صورت افزایش غلظت آلاینده‌ها بر اثر افزایش بار ترافیکی در درون تونل از ورود خودروها به داخل آن جلوگیری می‌کند(۱۲).

تونل شهدای غزه: این بزرگراه در حقیقت یکی از ورودی‌های جدید شهر تهران محسوب می‌شود که از آزادگان تا اتوبان تهران - کرج و جاده مخصوص تهران - کرج امتداد دارد. این تونل به صورت آب‌بند کامل و هوشمند احداث شده است. این تونل از کارکرد به‌موقع و صحیح ساختارها در زمان بروز حوادث احتمالی، برخوردار است و براساس آخرین استانداردهای روز دنیا و با تکیه بر توانمندی متخصصان داخلی تجهیز شده است(۱۲).

برای تعیین حجم نمونه در تحقیقات از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. ساعتی (۲۰۰۲) معتقد است تعداد ده نفر از خبرگان برای مطالعات مبتنی بر مقایسه زوجی کافی است(۱۳). جامعه آماری این پژوهش ده نفر از کارشناسان و خبرگان که در بخش مدیریت سازمان‌های مدیریت بحران، مدیران و برنامه‌ریزان شهری، مدیریت تونل، هلال احمر و آتش‌نشانی مشغول فعالیت هستند، تشکیل می‌دهد که جهت تکمیل پرسشنامه و مصاحبه انتخاب شدند.

روش مورد استفاده در این پژوهش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP می‌باشد. الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP: در این مرحله با مدل AHP، مساله را تجزیه و تحلیل شده و به چند قسمت ساده‌تر تجزیه می‌گردد. پس از آن‌که گزینه‌ها و شاخص‌ها مشخص شد، بین شاخص‌ها مقایسات زوجی انجام می‌شود. در مرحله بعد، برای هر شاخص بین گزینه‌ها، مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. سپس از الگوریتم زیر پیروی می‌شود: الف- به هنجارکردن[1] ماتریس مقایسات زوجی، ب- به‌دست آوردن میانگین حسابی هر سطر ماتریس به هنجار شده مقایسات زوجی(وزن نسبی)، ج- ضرب وزن‌های نسبی شاخص‌ها در میانگین حسابی گزینه‌ها، د- رتبه‌بندی کردن گزینه‌ها. بعد از این مرحله، «سنجش نرخ ناسازگاری» انجام می‌گیرد(۱۴).

1- normalize

محاسبه CVR: پس از استخراج متغیرها از تحقیقات پیشین مقدار CVR قابل قبول محاسبه شد که در جدول(۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- محاسبه CVR پژوهش

Table 1. Calculate CVR Research

متغیرها	CVR
روشنایی	CVR=1 روشنایی
سیستم تهویه	CVR=1 سیستم تهویه
سیستم های هشداری، پایش و اضطرار	CVR=1 سیستم های هشداری، پایش و اضطرار
زهکشی	CVR=0.8 زهکشی
پوشش داخلی	CVR=-0.8 پوشش داخلی
وضعیت ورودی و خروجی تونل	CVR=0.60 وضعیت ورودی و خروجی تونل
محدودیت عرض معبر	CVR=0.2 محدودیت عرض معبر

پس از بررسی نظر خبرگان در مورد معیارها، در مورد دو متغیر پوشش داخلی و محدودیت عرض معبر اجماع نظر وجود نداشت و مقدار CVR آن از مقدار CVR قابل قبول با توجه به جدول۲ کمتر بود، بنابراین حذف گردید. مقدار CVR با توجه به تعداد متخصصان در جدول ۲ آورده شده است و از آنجایی‌که تعداد متخصصان پژوهش حاضر ۱۰ نفر می‌باشد مقدار CVR پژوهش حاضر ۰/۶۲ می‌باشد.

جدول۲- حداقل مقدار CVR قابل قبول بر اساس تعداد متخصصان نمره گذار(۱۵)

Table 2. The minimum of acceptable CVR based on number of experts

تعداد متخصصان	مقدار CVR	تعداد متخصصان	مقدار CVR	تعداد متخصصان	مقدار CVR
۵	۰/۹۹	۱۱	۰/۵۹	۲۵	۰/۳۷
۶	۰/۹۹	۱۲	۰/۵۶	۳۰	۰/۳۳
۷	۰/۹۹	۱۳	۰/۵۴	۳۵	۰/۳۱
۸	۰/۷۵	۱۴	۰/۵۱	۴۰	۰/۲۹
۹	۰/۷۸	۱۵	۰/۴۹		
۱۰	۰/۶۲	۲۰	۰/۴۲		

معیارهای خروجی پس از تایید نظر خبرگان: روشنایی، سیستم تهویه، سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار، زهکشی، وضعیت ورودی و خروجی تونل می‌باشند.

یافته‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبیAHP و نرم افزار AHP انجام گرفت و وزن نسبی شاخص‌ها به‌دست آمد که در جدول۳ نشان داده شده است.

جدول۳- وزن نسبی شاخص‌ها

Table 3. Relative weight of indexes

فاکتورهای ایمنی	وزن نهایی
سیستم تهویه	۰/۳۲۴
روشنایی	۰/۲۹۲
سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار	۰/۱۹
زهکشی	۰/۱۱۶
وضعیت ورودی و خروجی تونل	۰/۰۵۸

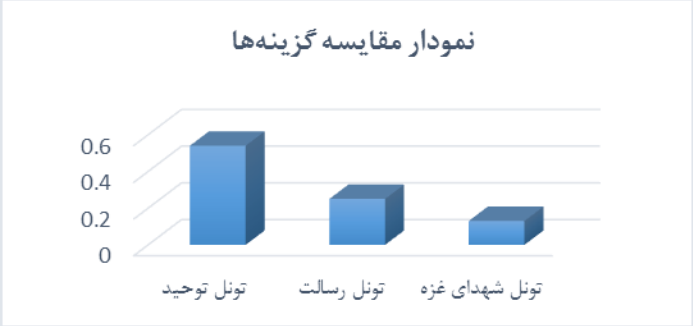
در مرحله بعد گزینه‌ها(تونل توحید، تونل رسالت، تونل شهدای غزه) از نظر هر شاخص مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج حاصل از آن با توجه به جدول شاخص‌ها به‌صورت جدول۴ می‌باشد.

جدول۴- رتبه‌بندی گزینه‌ها

Table 4. Alternative rankings

نام گزینه	وزن
تونل توحید	۰/۵۴
تونل رسالت	۰/۲۵
تونل شهدای غزه	۰/۱۳

با توجه به نتایج به‌دست آمده نمودار مقایسه گزینه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲- نمودار مقایسه گزینه‌ها

Figure 2. The diagram of alternative comparison

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود نقش مدیریت بحران درحوادث تونل توحید بیشتر از تونل‌های رسالت و شهدای غزه می‌باشد و این نشان می‌دهد که تونل توحید برای رسیدن به یک تونل ایده‌آل نیاز به اجرای فاکتورهای ایمنی بیشتری دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان داد: در وزن‌دهی فاکتورهای ایمنی بیشترین وزن به ترتیب اولویت شامل موارد زیر هستند: ۱) سیستم تهویه، ۲) روشنایی، ۳) سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار، ۴) زهکشی، ۵) وضعیت ورودی و خروجی تونل.

مطابق با ارزیابی‌های که انجام یافته از نظر فاکتورهای ایمنی در مدیریت بحران تونل‌های شهری، رتبه اول را تونل توحید، رتبه دوم تونل رسالت و رتبه سوم را تونل شهدای غزه به خود اختصاص دادند.

با توجه به پاسخ خبرگان و آمارهای موجود از نظر ایمنی در شرایط یکسان تونل غزه دارای امتیازی مطلوب می‌باشد. این امر حاکی از آن است که تونل غزه نیاز به بازنگری و تصحیح نواقص کمتری نسبت به سایر تونل‌های مورد مطالعه دارد. حال آن‌که تونل توحید با توجه به یافته‌های موجود، در شرایط بحرانی جزو حساس‌ترین موارد می‌باشد بنابراین باید در سیستم پایش و کنترل آن بازنگری صورت گیرد، همچنین از نقطه نظر شاخص‌های مورد بررسی در زمان مدیریت بحران، فاکتور تهویه و روشنایی در شرایط بحرانی در تونل توحید می‌تواند موجب فاجعه گردد. از این‌رو مانورهایی برای کنترل شرایط بحرانی در تونل توحید نیاز است تا با استفاده از آن، نیروهای امدادی توان مقابله و مواجهه با شرایط بحرانی را دارا باشند. با توجه به نتایج به دست آمده راهکارهایی جهت افزایش ایمنی تونل‌ها ارائه می‌گردد.

❖ **سیستم تهویه:** با توجه به جهت‌گیری و طول و عرض تونل سیستم تهویه تونل مناسب طراحی گردد، برنامه بازدید، تعمیر منظم سیستم‌های تهویه تونل انجام گیرد

❖ **روشنایی:** در انتخاب نحوه آرایش و طول عمر لامپ‌های مورد استفاده جهت روشنایی دقت شود، با توجه به طول و عرض تونل و درجه اهمیت راه روشنایی طراحی گردد.

❖ **سیستم‌های هشداری، پایش و اضطرار:** از سیستم‌های پایش و کنترل تصویری در تونل‌های با حجم ترافیک بالا استفاده شود، تلفن اضطراری در فواصل مناسب قرار گیرد، از تکنولوژی‌های هوشمند و به روز حمل و نقلی مانند راهبند خودکار، سیستم‌های سرعت سنج ویدئویی و ... استفاده می‌گردد. سیستم اطفای حریق معمولی در تمام تونل‌ها وجود داشته باشد و از سیستم‌های ردیاب دود و آتش و سیستم اطفای حریق هوشمند در تونل‌های با اهمیت بیشتر استفاده شود.

❖ **زهکشی:** سیستم مناسب زهکشی برای تونل و لایروبی و پاکیزه‌سازی کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی طبق برنامه مدون تعمیر طراحی گردد.

❖ **وضعیت ورودی و خروجی تونل:** برنامه تعمیر و تنظیف مرتب و منظم و دقت در تمیزی دیواره تونل و بازتاب‌ها و تابلوهای به کار رفته قبل و بعد از تونل و در داخل تونل تدوین شود. درب‌ها و راه‌های خروج اضطراری در فواصل مناسب طراحی شود، همچنین سیستم راهنمایی مناسب مسافران برای خروج تونل طراحی گردد.

پیشنهادها برای تحقیقات آتی:

۱) با استفاده از روش SWOT (Strengths, Weaknesses Opportunities, Threats) سایر نقاط قوت و ضعف تونل‌های شهری را بررسی نموده و به رفع مشکلات آن بپردازند.

۲) از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کنند و نتیجه حاصل از تحقیقشان را با پژوهش حاضر مقایسه نمایند.

۳) با توجه به این‌که اروپاییان تجربه بیشتری نسبت به ما در صنعت تونل دارند، آنها استانداردهایی را به‌کار می‌برند که با توجه به نوع سوخت‌هایی که خودروها در تونل‌های راه دارند، مشکلی به وجود نیاید. همچنین در تونل‌ها بالاترین ضریب ایمنی را در نظر گرفته‌اند و براساس آن سازه‌ها را طراحی می‌کنند. در بحث تهویه، سیستم‌های امدادی، سیستم برق و مکانیکال استانداردهای بالایی به‌کار می‌گیرند که در حین تردد به خوبی متوجه می‌شوید که از چه ابزارهای قوی و استانداردهای بالایی استفاده شده است. در ایران هم سعی کنیم از همان استانداردها استفاده نماییم.

تشکر و قدرانی

با سپاس از سازمان‌های مدیریت بحران، مدیریت تونل، هلال احمر و آتش‌نشانی و بازرسان بخش ایمنی و با تشکر از همه کسانی که به نوعی در به انجام رساندن این پژوهش ما را یاری نموده اند.

Reference

1. Manca, D., & Brambilla, S. (2011). A Methodology based on the Analytic Hierarchy Process for the Quantitative Assessment of Emergency Preparedness and Response in Road Tunnels. Article in Transport Policy.
2. Mahmoudi Kurdistani, p. (2014). Modeling of the effect of urban tunnels on network traffic: A case study of Niaiesh and Resalat Tunnels. Master's Thesis, Civil Engineering,

Road and Transportation, Payame Noor University, Faculty of Engineering. (In Persian)

3. Peng, J.H., Huo, D.K., & Tong, Y. (2018). Study on optimization of semi-lateral ventilation mode of fire in the Nantong Seyuan Road Tunnel. Procedia Engineering, Vol. 211, pp. 575–580.
4. Chen, L., Tang, F., Wang, Q., & Li, L.J. (2018). Experimental Study on Temperature Distribution of Ceiling Jet in Tunnel Fires under Natural Ventilation. Procedia Engineering, Vol. 211, pp. 674-680.
5. Maidl,B., Schmid, L., Ritz, W., & Herrenknecht M. (2008). Hardrock tunnel boring machines chapter 3 historical development and future challenges.
6. Tseng, W.W., Shen, T.Sh., & Hsieh, P.P. (2018). Theory Establishment and Data Preparedness for Modeling Emergency Medical Service in case of a Mass Casualty Incidents in Road Tunnels. 2017 8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (on the Development of Performance-based Fire Code), Procedia Engineering, Vol. 211. Pp. 36-45.
7. Zhang, H.T., & Gao, M.X. (2018). The Application of Support Vector Machine (SVM) Regression Method in Tunnel Fires. 2017 8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (on the Development of Performance-based Fire Code) Procedia Engineering, Vol. 211, pp. 1004–1011.
8. Sheikholeslami, A., Khaksar, H., & Elati, Gh. (2008). Investigation of solution for improving safety of tunnels. Eighth Transport and Traffic Engineering Conference of Iran, Tehran, Tehran Transportation and Traffic Organization, Deputy Director of Transportation and Traffic of Tehran Municipality. (In Persian)
9. Kursunoglu, N., & Onder, M. (2015). Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 48, pp. 101–109.
10. Li, M.X., Zhang, Z.J., Milke, J., Lu, G.J., & Mei, X.J. (2018). Experimental Research on the Smoke Control in a Complex Road Tunnel Fire. Procedia Engineering, Vol. 211, pp. 379-387.
11. Information base of Tohid Tunnel ، http://www.tohidtunnel.ir. (persian)
12. Iranian Tunneling Association ، .https://irta.ir. (In Persian)
13. Saaty, T.L. (2002). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. Scientia Iranica, Vol. 9, No. 3, pp. 215-229.
14. Momeni, M. (2013). New Issues in Operations Research. Publication of management faculty in University of Tehran. (In Persian)
15. Habibi, A., Izadiyar, S., & Sarafrazi, A. (2013). Fuzzy Multi-criteria Decision Making. Gil Katibeh Publication. (In Persian)