علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

برآورد زیان‌های اقتصادی ناشی از وقوع حریق در ایستگاه‌های خط ۱متروی تهران (پست LPS و RS) با استفاده از تکنیک سناریو سازی

صدیقه عطرکار روشن [۱*]

s.a.roshan@alzahra.ac.ir

سمیه دانشور [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۷ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۰۹/۰۳**

چکیده

زمینه و هدف: برای اجرایی کردن HSE (سلامت، ایمنی، محیط زیست) در صنعت، اقناع مدیران برای سرمایه‌گذاری در این زمینه جهت توجیه هزینه‌هایی که صرف کنترل ایمنی و بهداشت و همچنین ارزیابی ریسک انجام می شود، بسیار ضروری است. از سوی دیگر، از آنجا که وقوع حریق در سیستم مترو می‌تواند منجر به ایجاد خسارات و تلفات فاجعه‌بار برای جامعه گردد، این مطالعه به عنوان کاری جدید در این زمینه، با هدف تعیین زیان‌های اقتصادی ناشی از حریق در ایستگاه‌های خط ۱ متروی شهر تهران(پستRS و LPS) انجام یافته است.

روش بررسی: در این تحقیق خسارات اقتصادی ناشی از وقوع حریق، پس از شناسایی مهم‌ترین علل بروز خطر حریق با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا، از طریق سناریوسازی برآورد گردید.

یافته‌ها: میزان خسارت اقتصادی ناشی از وقوع حریق در ایستگاه‌های خط ۱ متروی شهر تهران (پست RS و LPS) با سناریوهای حریق ترانسفورماتور خشک و حریق تابلوهای ۲۰ کیلو ولت که بیش‌ترین احتمال وقوع را دارند، بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۱، به ترتیب در پست LPS به میزان۳۹۸۰میلیون ریال و ۶۴۱۰ میلیون ریال و در پست RS با سناریوهای حریق ترانسفورماتور خشک و تابلوی ۷۵۰ ولت به ترتیب میزان خسارت ۶۴۵۲ و ۷۰۲۶۶ میلیون ریال به دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به خسارات فراوان اقتصادی ناشی از وقوع حریق در پست‌ها، اهتمام بیش‌تر مسئولان متروی شهری در تدوین یک سیستم مدیریت جامع ارزیابی ریسک در متروی شهر تهران، یک ضرورت اجتناب ناپذیر است.

واژه‌های کلیدی: HSE ، حریق، متروی تهران، برآورد اقتصادی

۱*- (مسوول مکاتبات): دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.

۲- کارشناس ارشد رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017

Estimation of economic losses caused by fire in the Tehran Subway Line 1 stations (RS and LPS) using scenario planning technique

Sedigheh Atrkar Roshan [1]*
s.a.roshan@alzahra.ac.ir
Somayeh Daneshvar [2]

Abstract

Background and Objective: To employ HSE in industrial sector of Iran, evaluation of economic impacts of HSE is unavoidable. This would justify the financial costs of risk assessment and safety control for policy makers either in public and private sectors. On the other hand, considering the occurrence of fire in the subway system can cause catastrophic losses to the society. This study aimed at determining the economic losses caused by fire in Light Power Substation (LPS), and Rectifier substation (RS) in Tehran subway line 1.

Method: After identification of the most important causes of fire hazard in LPSs in Tehran subway line 1 by applying fault tree analysis, economic losses caused by fire were determined using scenario techniques.

Findings: The economic loss caused by fire in LPS by transformer fire scenario and 20 KV panel fire scenarios that have the highest occurrence probability, was determined to be about 3,980, and 6.410,milion Rials (based on the prices in 2012) respectively. The economic loss caused by fire in RS by transformer fire scenario and 750 KV panel fire scenarios was determined to be about 6,452, and 70,266 milion Rials respectively.

Conclusion: Considering the mentioned economic costs and consequences, a comprehensive risk analysis and emergency response planning are unavoidable necessities in Tehran subway system.

Keywords: HSE, Fire, Tehran Subway, Economic Analysis.

1-Associate Professor. Department of Economics, Alzahra University, Tehran, IR Iran. * *(Corresponding Author)*
2- MSc in Occupational Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

مقدمه

امروزه نیاز شهرهای بزرگ و مدرن به سیستم‌های حمل و نقل چندسطحی، سه بعدی و هوشمندی که در تطابق با الزامات زیربنایی و کارآمد حمل و نقل عمومی باشد، امری اجتناب ناپذیر است. مترو نوعی سیستم حمل و نقل ریلی شهری مدرن است که متعهد به برآورده ساختن نیازهای رو به افزایش حمل و نقل عمومی می‌باشد (۱). با این حال رشد و توسعه مترو با وقوع حوادث مختلفی از قبیل حریق، سیل، زلزله، انفجار، نشت گازهای سمی یا نقص منابع انرژی در ایستگاه‌ها و تونل‌ها همراه بوده است. درمیان چنین حوادثی، تهدیدآمیزترین خطر برای مسافران وقوع حریق می‌باشد؛ به طوری که تقریبا ٪۵۷ از کل حوادث بالا را به خود اختصاص داده است(۲). ریسک حریق بر مبنای SFPE(2002) (مهندسی حفاظت حریق)،عبارت است از پتانسیل شناسایی خطر ناخواسته و پیامدهای نامطلوب آن در زندگی افراد، سلامتی، دارایی و محیط(۳). حریق‌های الکتریکی، حریق‌های عمدی و خرابکارانه، حریق ناشی از برخورد دو قطار در نتیجه دیریل شدن قطار، حریق ناشی از حوادثی چون سیل، زلزله، انفجار از جمله مهم‌ترین علل وقوع حریق در سیستم حمل و نقل ریلی متروهای جهان گزارش شده است(۴). طبق آمار سالانه منتشر شده از اداره قوانین و مقررات ریلی آمریکا، در سال ۲۰۰۷ تقریبا ۵۳ مورد حریق در ایستگاه‌های مسافربری رخ داده، همچنین بر اساس گزارش آماری ایمنی حمل و نقل ریلی آمریکا (۲۰۰۹) در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸، خسارات جبران‌ناپذیری از وقوع حریق در ایستگاه‌ها، تونل‌ها و قطارهای مترو به ثبت رسیده است، به طوری که فقط تعداد مرگ و میر ناشی از حریق در طول این دوره (علاوه بر جراحات) در آمریکا، ۲۷۲ مورد بوده است(۵). در متون ایمنی تعاریف و نظرات متعددی در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک مطرح شده است(۶). چنانچه ارزیابی ریسک را، فرآیندی سیستماتیک و ضروری برای تعیین تاثیر رخداد و پیامدهای فعالیت‌های انسان بر سیستم‌هایی با ویژگی‌های خطرناک و ابزاری ضروری برای خط‌مشی ایمنی سازمان معرفی می‌کنند. ارزیابی ریسک صرفنظر از فعالیت‌های مرتبط با آن یک فرایند نسبتاً پیچیده است، زیرا آن سوی هر محاسبه ریاضی و آماری یک نتیجه خاصی ایجاد می‌شود و تلاشی را برای پیش‌بینی آینده، ارزیابی خطرات محتمل، حملات و تهدیدهایی را که یک نهاد اقتصادی ممکن است روبه‌رو شود، را در پی دارد. به‌طور کلی، ارزیابی ریسک یک فرایند سیستماتیک برای شناسایی و مقایسه است که سرمایه‌های کلیدی یک سازمان یا در سطح وسیع‌تر یک جامعه را مورد توجه قرار می‌دهد، همچنین تهدیدات و آسیب پذیری‌هایی که ممکن است رخ دهد، احتمالات و پیامدها را نیز در برمی‌گیرد. در زمینه ریسک حریق نیز تعاریف بسیاری ارایه گردیده است(۷). بر اساس گزارش FEMA، ارزیابی ریسک مزایای زیادی دارد. در واقع ارزیابی ریسک نوعی نقشه‌برداری از نواحی خطر داخل جامعه و سپس ایجاد و گسترش طرح‌هایی برای کاهش اثر آن بر جامعه است. یکی از اشتباهات رایج در جوامع آن است که برنامه‌ریزان و تصمیم گیران منتظر بمانند تا یک حادثه در جامعه رخ بدهد. در همین ارتباط، جامعه مهندسان حفاظت حریق، ارزیابی ریسک حریق را به عنوان فرایندی که یک سناریو بتواند احتمال رخداد و پیامدهای آن را پیش بینی نماید، تعریف کرده‌اند. در واقع آنالیز ریسک حریق یا ارزیابی ریسک حریق پایه ای از مدیریت ریسک حریق است که به منظور کمک به تصمیم‌گیری در زمینه اقداماتی که جهت جلوگیری یا کاهش خطر حریق لازم است انجام پذیرد، صورت می‌گیرد. مدیریت ریسک حریق در چهار مرحله مختلف انجام می‌گیرد، مرحله اول شامل شناسایی ریسک با استفاده از منابع اطلاعاتی موجود می‌باشد. مرحله دوم آنالیز ریسک حریق عمدتا از طریق مدل سازی پدیده حریق و اثرات آن از طریق روش‌های کمی و کیفی انجام می‌گیرد. در مرحله سوم به دنبال کاهش، انتقال و حذف ریسک انجام می‌گیرد. آخرین مرحله نیز شامل سازمان‌دهی، تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری است. FEMA (Federal Emergency Management Agency) در امریکا ارزیابی ریسک را، به‌کارگیری یا پردازش یک روش برای ارزیابی ریسک مرتبط با احتمال و فراوانی رخداد یک خطر و پیامد مواجهه با آن خطر، بیان می‌کند. اخیرا این آژانس،

دپارتمان های حریق مجهز به سیستم اطلاعات جهانی (GIS)، برنامه نرم افزاری را ایجاد کرده که وسیله‌ای برای ارزیابی ریسک و تخمین خسارت برای خطرات چندگانه می‌باشد(۸).طبق آمارهای موجود، بالاترین درصد آتش‌سوزی‌ها در مترو (۳۴٪) ناشی از اشکال در سیستم الکتریکی آن است که می‌تواند در دو زیرسیستم اصلی یعنی ایستگاه‌ها و قطارها رخ بدهد(۹). هر ایستگاه زیرزمینی مترو عموما از بخش‌های متعددی تشکیل شده است که پست‌هایRIC وLPS و RS با توجه به نقش مهم آن‌ها به عنوان منابع تغذیه ایستگاه و قطار از اهمیت بیش‌تری برخوردار هستند (۱۰). پست LPS تامین‌کننده روشنایی ایستگاه بوده و تجهیزات موجود در این پست شامل تابلوهای۲۰ کیلو ولت، ترانسفورماتورهای خشک رزینی سه فاز، کابین کلید اصلی۴۰۰ ولت، کابین کلیدهای توزیع ۴۰۰ ولت، کابین‌های AC/DC، اتاق باطری، تابلوی اینورتر و تابلوی RTU می‌باشد. تابلوی ۲۰ کیلو ولت، عموما متشکل از سلول ورودی، خروجی و سلول فیدر ترانس می‌باشد، که سلول ورودی برق ۲۰ کیلو ولت را از (High Voltage System)HVSگرفته و سلول خروجی ۲۰ کیلو ولت را به LPS ایستگاه مجاور انتقال می‌دهد و سپس از طریق سلول فیدر ترانس، تغذیه ترانسفورماتورهای خشک رزینی موجود در پست و نیز توزیع صورت می‌گیرد. ترانسفورماتورهای موجود در پست LPS از نوع کاهنده می‌باشند که بنا به مصارف ایستگاه‌ها با قدرت‌های مختلفی نصب می‌شوند. ترانسفورماتور برق ۲۰ کیلو ولت را به ۴۰۰ ولت ACتبدیل می‌کند. خروجی ۴۰۰ ولت از ترانسفورماتورهای توزیع از طریق کابین کلید اصلی ۴۰۰ ولت به باس بار توزیع وصل می‌شود. همچنین یکی از کلیدهای توزیع ۴۰۰ ولت به ورودی تابلوهای AC/DCهر LPS می‌رود. در بخش AC تابلو، برق ۴۰۰ ولت به ۱۱۰ ولت DC تبدیل شده و در بخش DC تابلو هم حالت توزیع صورت می‌گیرد، یعنی ۱۱۰ ولت به مصارفDC مورد نیاز پست (برای تغذیه مدار کنترل و سیگنالینگ) خواهد رسید. تابلوی اینورتر ورودی ۱۱۰ ولت DC از تابلوهای توزیع DC در پست را دریافت کرده و آن‌را به ۲۲۰ ولت ACجهت تامین روشنایی اضطراری ایستگاه تبدیل می‌کند. پست RS وظیفه تامین برق ریل سوم و برق قطار را برعهده دارد. در این واحد برق نیروگاه ۲۰ کیلو ولت توسط ترانسفورماتور به جریان ۵۹۳ ولت سه فاز و سپس به ۷۵۰ ولت DC تبدیل شده و برای تغذیه ریل سوم و قطار به‌کار می‌رود.تابلوی ۲۰ کیلو ولت، ولتاژ ۲۰ کیلو ولت را از HVSگرفته و از طریق دو فیدرترانس، ترانسفورماتورهای خشک رزینی موجود در پست را تغذیه می‌کند. ترانس‌های رکتیفایر، ولتاژ را به ۵۹۲ ولت تبدیل کرده و آن‌را به رکتیفایر قدرت می‌دهد تا یک سوسازی صورت بگیرد. یعنی ولتاژ ۵۹۲ ولت AC به ۷۵۰ ولت DC تبدیل شود. سپس ولتاژ ۷۵۰ ولت DC در اختیار تابلوهای ۷۵۰ ولت DC قرار می‌گیرد. این تابلو متشکل از دژنکتور، سکسیونر و تابلوی حفاظت ولتاژ ریل حرکت است. دژنکتورهای DC وظیفه انتقال باس مثبت ولتاژ یکسو شده را به ریل سوم جهت تغذیه قطار برعهده دارند و باس منفی ولتاژ یکسو شده از طریق سکسیونر به ریل حرکت فرستاده می‌شود. تجربه نشان داده است که حریق‌های الکتریکی در تونل‌ها و ایستگاه‌های مترو در اثر وقوع آرک یا اتصال کوتاه در کابل‌های قدرت موجود در تابلوها و تجهیزات الکتریکی می‌تواند رخ دهد (۱۱،۱۲). مطالعه حاضر به منظور جلب توجه مدیران، برنامه ریزان و تصمیم گیران مسایل شهری به اهمیت بالای ایمنی و بهداشت شهری انجام گرفته است. برای عملیاتی کردن HSE(Health, Safety, Environment) در صنعت، یکی از چالش‌های بسیار مهم، اقناع مدیران برای سرمایه گذاری‌های لازم در این زمینه است که خود مستلزم کمّی کردن و ارزیابی اقتصادی اثرات حوادث، و همچنین پیامدهای آن بر بهداشت و سلامت انسان‌ها است. این امر به توجیه اقتصادی هزینه‌هایی که صرف کنترل ایمنی و ارزیابی ریسک در بخش‌های خصوصی و دولتی می‌گردد کمک نموده، گامی در جهت تحقق توسعه پایدار در کشور به شمار می رود. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف برآورد اقتصادی اثرات حریق، و کمّی کردن زیان‌های ناشی از وقوع آن در ایستگاههای خط ۱ متروی شهر تهران (پست LPS و RS) در سال ۱۳۹۱ انجام یافته است.

روش بررسی

این تحقیق ابتدا به شناسایی مهم‌ترین علل بروز خطر حریق در پست RS و LPSایستگاه‌های خط ۱ متروی شهر تهران با روش تجزیه و تحلیل درخت خطا (Fault Tree Analysis)، پرداخته است (۱۳،۱۴). روش یاد شده، روشی استنتاجی یعنی از کل به جزء است که در آن از نمادهای ریاضیات بولین (مانند OR،AND) استفاده می‌شود تا رویداد اصلی را به رویداد پایه، مرتبط کند. تحلیل درخت خطا روشی برای یافتن علل ریشه‌ای و احتمال رخداد یک حادثه نامطلوب در یک سیستم است (۱۵). پس از شناسایی علل وقوع حریق در پست های یاد شده، برای تعیین خسارات اقتصادی ناشی از وقوع حریق از روش سناریوسازی استفاده شد. سناریوسازی به عنوان تکنیکی بی نظیر شناخته می شود که از اتفاقات آتی قبل از وقوع آن‌ها آگاهی داده و امکان مطالعه و بررسی پیرامون آن از جنبه‌های مختلف را فراهم می‌کند(۱۶). این روش بعنوان یک ابزار مدیریتی خلاق، بخشی از یک برنامه ریزی بلند مدت و راهبردی برای سازمان‌های مختلف را تشکیل می‌دهد. استفاده از این روش در دنیای امروز که نااطمینانی از ویژگی‌های بارز آن است، به صورت وسیعی برای تصمیم گیری‌ها در بخش‌های دولتی و خصوصی و کسب و کار استفاده شده و کاربرد آن همچنان به طور فزاینده‌ایی در حال گسترش است (۱۷، ۱۸). روش سناریوسازی با قدمتی بیش از ۴۰ سال، به معنای در اختیار گذاشتن گزینه های مختلف احتمالی به برنامه ریزان بوده (و نه پیش بینی آینده) تا آمادگی لازم برای آینده ای هر چند ناخوشآیند ولی قابل اجتناب را فراهم آورد (۲۱-۱۹). با توجه به اهمیت روش بالا، در این مطالعه از چهار سناریو که بیش‌ترین احتمال وقوع را از درخت تجزیه و تحلیل خطا به دست آورده‌اند به منظور تعیین زیان‌های اقتصادی ناشی از وقوع حریق استفاده شده است. روش کار بدین صورت است که پس از تعیین میزان گرمای حاصل از سوخت مواد و تجهیزات موجود در پست‌ها، حداکثر شعاع خطر و مساحت ناحیه تحت خطر محاسبه و در نهایت میزان خسارات مستقیم ناشی از تخریب تجهیزات، مصدومیت افراد و مرگ و میر احتمالی محاسبه شد. به منظور تعیین پیامد وقوع حریق در پست‌های RS وLPS سناریوی حریق ترانسفورماتور خشک رزینی مطرح گردیده است، پیش فرض‌های این سناریو شامل موارد زیر است: میزان گرمای حاصل از سوختن ترانسفورماتورخشک بر اساس پژوهش دیکلرک (۲۰۰۴) به میزان $۳۰\frac{KW}{m2}$ در نظر گرفته شده است (۲۲). همچنین حداکثر شعاع خطر حریق بر اساس مطالعه بابراسکاس (۲۳) ۰/۶ متر تعیین گردید. برای مشخص نمودن میزان خسارات جانی و مالی نیز بر اساس تحقیق اسایل (۲۴) از جدول محدودیت‌های شدت گرمای تابشی استفاده شده است.

بر این اساس، در سناریوی اول (حریق ترانسفورماتور خشک در پست‌های RS و LPS) در اثر شکست عایق رزین (وقوع اتصال کوتاه در طول دوره بهره‌برداری باعث ضعیف شدن عایق و شکست آن می‌گردد)، خاصیت ایزوله بودن دو سیم‌پیچ ترانسفورماتور از یکدیگر از بین رفته و اختلاف ولتاژ میان دو سیم‌پیچ باعث ایجاد گرما در ترانسفورماتور شده و وجود کابل‌های انباشته در محیط اطراف ترانسفورماتور شرایط لازم برای ایجاد حریق را فراهم می‌کند. به علت غیر فعال بودن تابلوی(FMB(fire man box ایستگاه و نیز عدم کارکرد سیستم اسپرینکلر در پست، عملیات اعلام و اطفا با تاخیر انجام می‌گیرد.

در سناریوی دوم (حریق تابلوهای ۲۰ کیلو ولت پست LPS) در اثر شل‌شدگی اتصالات در ترمینال‌های تابلوی ۲۰ کیلو ولت (به علت تنش‌های مکرر) سیم‌ها از محل اتصالات خود خارج شدندکه این موقعیت منجر به ایجاد آرک‌های مکرر در تابلو شده و در اثر گرمای حاصل از این آرک‌ها و تنظیف باقی‌مانده توسط تکنسین در تابلو حین تعمیرات، شرایط لازم برای ایجاد آتش‌سوزی فراهم گردید. دود بسیار زیادی در نتیجه سوختن روکش کابل‌های بلا استفاده در فضای پست ایجاد گردید که به سرعت در فضای سکوها راه یافت. با توجه به غیر فعال بودن تابلوی اعلام و اطفا، عملیات اطفا با تاخیر انجام یافت. میزان گرمای حاصل از سوختن تابلوهای برقی نیز به میزان

$۲۰kw/m^2$ تعیین شده است (۲۵). روش تعیین حداکثر شعاع خطر حریق و میزان خسارات جانی و مالی مشابه سناریوی اول بوده و بر اساس مطالعه دیکلرک (۲۲) محاسبه شد.

در سناریوی سوم (حریق تابلوی ۷۵۰ ولتDC در پست RS)، با وقوع پدیده کربنه شدن در این تابلوها آرک‌های متعددی ایجاد شده و در اثر گرمای حاصل از این آرک‌ها و تنظیف باقی‌مانده توسط تکنسین در تابلو حین تعمیرات شرایط لازم برای ایجاد آتش‌سوزی فراهم گردید. دود بسیار زیادی در نتیجه سوختن روکش کابل‌های بلا استفاده در فضای پست ایجاد گردید، که به سرعت در فضای سکوها راه می یابد. با توجه به غیر فعال بودن تابلوی FMBایستگاه و نیز عدم کارکرد دتکتورهای موجود در پست، عملیات اعلام و اطفا با تاخیر انجام یافت.

در سناریوی چهارم (حریق در کابین کلیدهای توزیع ۴۰۰ ولت پستLPS) در اثر بارکشی بیش از حد پست، آرک‌های متعددی در کابین کلیدهای توزیع ۴۰۰ ولت ایجاد می‌شود. در اثر گرمای حاصل از این آرک‌ها و تنظیف باقی‌مانده توسط تکنسین در تابلو حین تعمیرات شرایط لازم برای ایجاد آتش‌سوزی فراهم گردید. دود بسیار زیادی در نتیجه سوختن روکش کابل‌های بلا استفاده در فضای پست ایجاد گردید، که به سرعت در فضای سکوها راه یافت. با توجه به غیر فعال بودن تابلوی FMB ایستگاه و نیز عدم کارکرد دتکتورهای موجود در پست، عملیات اعلام و اطفا با تاخیر انجام گرفت.

یافته ها

با بررسی درخت تجزیه و تحلیل خطای اجرا شده در پست LPS مشخص گردید که ایجاد گرما در ترانسفورماتورهای خشک رزینی و تابلوهای ۲۰ کیلو ولت به ترتیب با احتمالات ۰/۶۵۵۹و۰/۵۳۵۴ بیشترین تاثیر را در احتمال وقوع حریق الکتریکی در پست یاد شده خواهند داشت (جدول شماره ۱). (۱۳،۱۴)

جدول ۱-منابع تولید گرما در پست LPS با روش FTA

Table 1- Sources of heat production in LPS Post, Applying FTA method

ردیف	رویداد میانی	احتمال وقوع
۱	افزایش گرما در تابلوهای ۲۰ کیلو ولت	۰/۵۳۵۴
۲	ایجاد گرما در ترانسفورماتورهای خشک رزینی	۰/۶۵۵۹
۳	ایجاد گرما در کابین کلید اصلی ۴۰۰ ولت	۰/۵۰۳۴
۴	ایجاد گرما درکابین کلیدهای توزیع ۴۰۰ ولت	۰/۴۱۳۴
۵	ایجاد گرما در کابین‌هایAC/DC	۰/۵۰۰۹
۶	ایجاد گرما در تابلوی اینورتر	۰/۴۶۹۱
۷	ایجاد گرما در تابلوهای RTU	۰/۳۷۲۸
۸	ایجاد گرما در اتاق باطری‌خانه	۰/۱۲۴۸

لازم به ذکر است که جهت تعیین خسارات اقتصادی ناشی از حریق، اثرات مستقیم و غیرمستقیم وقوع حریق در پست LPS مورد نظر بوده است که به علت محدودیت دسترسی به کل آمار خسارت‌های ناشی از حوادث رخ داده در سال‌های اخیر از سوی "شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه" خسارات غیرمستقیم تنها در قالب آیتم‌های شناسایی شده در تحقیق ارایه می‌گردد و زیان‌های اقتصادی عمدتاً در حالت اثرات مستقیم آن بیان شده است.

بر اساس نتایج حاصل از وقوع سناریوی اول، حداکثر شعاع خطر حریق ۰/۶ متر به دست آمد. با توجه به شعاع خطر و

شارگرمایی ساطع شده از سوختن تجهیزات پست یاد شده ($۳۰kw/m^2$) و نیز تراکم جمعیت در این پست (افراد شاغل در پست)، میزان اثرات انسانی شامل مرگ حداکثر ۲ نفر و نیز جراحت حداکثر ۲ نفر، میزان آسیب به تجهیزات شامل تخریب کامل ترانسفورماتور خشک حاصل شد. با توجه به نرخ دیه هر فرد (در سال ۱۳۹۱) و نیز هزینه درمانی جراحات وارد بر افراد میزان اثرات انسانی در ماه‌های عادی سال ۱۹۱۰ میلیون ریال (و در ماه‌های حرام ۲۵۲۰ میلیون ریال) حاصل شد. با توجه به قیمت (نرخ تجهیزات بر اساس قیمت‌های کارشناسی کارکنان مترو می‌باشد) و تعداد ترانسفورماتور خشک موجود در پست، میزان آسیب به تجهیزات ۲۰۷۰ میلیون ریال و در نتیجه خسارت ناشی از سناریوی حریق ترانسفورماتور خشک به میزان ۳۹۸۰ میلیون ریال در ماه‌های عادی سال و ۶۵۰۰ میلیون ریال در ماه‌های حرام به دست آمد.

بر اساس نتایج حاصل از وقوع سناریوی دوم، با توجه به حداکثر شعاع خطر حریق ۰/۴ متر و نیز شارگرمایی ($۲۰kw/m^2$)، میزان اثرات انسانی با توجه به تراکم جمعیتی این پست (افراد شاغل در پست)، شامل مرگ حداکثر ۲ نفر و نیز جراحت حداکثر ۲ نفر، در ماه‌های عادی سال ۱۹۱۰ میلیون ریال (در ماه‌های حرام ۲۵۲۰ میلیون ریال) و میزان آسیب به تجهیزات نیز با توجه به قیمت و تعداد تابلوهای ۲۰ کیلو ولت موجود در پست، ۴۵۰۰ میلیون ریال به دست آمد که در نهایت میزان زیان اقتصادی حاصل از سناریوی حریق تابلوهای ۲۰ کیلو ولت به ترتیب در ماه‌های عادی و حرام ۶۴۱۰ میلیون و ۶۹۲۰ میلیون ریال مشخص گردید. قابل ذکر است که با توجه به نرخ تورم در سال ۱۳۹۲ مقادیر حاصل، به شدت افزایش پیدا خواهند کرد.

با بررسی درخت تجزیه و تحلیل خطای اجرا شده در پست RS مشخص گردید که ایجاد گرما در ترانسفورماتورهای خشک رزینی و تابلوهای ۷۵۰ ولت DC، تابلوهای ۲۰ کیلو ولت به ترتیب با احتمالات ۰/۸۰۶۲، ۰/۶۴۱۴ و ۰/۵۵۹۸ بیش‌ترین تاثیر را در احتمال وقوع حریق الکتریکی در پست یاد شده خواهند داشت (جدول شماره ۲).

جدول ۲-منابع تولید گرما در پست RS با روش FTA

Table 2- Sources of heat production in RS Post, Applying FTA method

ردیف	رویداد میانی	احتمال وقوع
۱	افزایش گرما در تابلوهای ۲۰ کیلو ولت	۰/۵۵۹۸
۲	ایجاد گرما در ترانسفورماتورهای خشک رزینی	۰/۸۰۶۲
۴	ایجاد گرما در تابلوهای ۷۵۰ ولت DC	۰/۶۴۱۴
۵	افزایش دما در تابلو حفاظت ولتاژ ریل حرکت	۰/۵۳۶۵
۶	افزایش دما در تابلوهای AC/DC	۰/۴۵۹۳
۷	افزایش دما در تابلوهای RTU	۰/۵۲۱۲

بر اساس نتایج حاصل از وقوع سناریوهای سوم و چهارم خسارت ناشی از وقوع حریق در پست RS تعیین شد که با توجه به قیمت تجهیزات برای جایگزین کردن آن‌ها، خسارات وارد شده در جدول زیر ارایه شده است.

جدول ۳- تعیین میزان خسارات به تجهیزات با استفاده از سناریوهای حریق در پست‌ها

Table 3- Determining loss amount to equipment applying fire senarios in Posts

عنوان سناریو	هزینه تجهیزات (بر حسب یورو)		تعداد تجهیزات		میزان خسارت (میلیون ریال)	
	در پست RS	در پست LPS	در پست RS	در پست LPS	در پست RS	در پست LPS
سناریو۱	۵۴۰۰۰	۲۳۰۰۰	۲ عدد	۲ عدد	۴۸۶۰	۲۰۷۰
سناریو۲	۲۵۰۰۰		۸-۱۰	۳-۴	۹۰۰۰-۱۱۲۵۰	۳۳۷۵-۴۵۰۰
سناریو۳	۳۲۰۰۰۰	-----	۵-۸	----	۷۲۰۰۰-۱۱۵۲۰۰	----
سناریو۴	------	۴۰۰۰-۶۰۰۰	-----	۱۵-۲۵	-----	۲۷۰۰-۶۷۵۰

برای تعیین خسارت جانی ناشی از وقوع حریق درپست‌های اشاره شده در مقاله از جدول شماره ۴ استفاده شده است.

جدول ۴- تعیین خسارتهای انسانی با استفاده از سناریوهای حریق در پست‌ها

Table 4- Determining human loss applying fire senarios in Posts

عنوان سناریو	میزان مرگ و میر ناشی از حریق		ارزش جانی (دیه – میلیون ریال)	میزان جراحات ناشی از حریق		هزینه ناشی از درمان جراحات (میلیون ریال)	خسارت کل (میلیون ریال)	
	حداکثر	حداقل		حداکثر	حداقل		حداکثر	حداقل
سناریو۱	۲ نفر	۱ نفر	۹۴۵	۲ نفر	۱ نفر	۱۰	۱۹۱۰	۹۵۵
سناریو۲	۲ نفر	۱ نفر		۲ نفر	۱ نفر		۱۹۱۰	۹۵۵
سناریو۳	۲ نفر	۱ نفر		۲ نفر	۱ نفر		۱۹۱۰	۹۵۵
سناریو۴	۲ نفر	۱ نفر		۲ نفر	۱ نفر		۱۹۱۰	۹۵۵

به منظور تعیین شدت پیامد ناشی از وقوع حریق در پست ها از جدول زیر استفاده شده است.

جدول ۵- تعیین شدت پیامد ناشی از وقوع حریق در پست‌ها

Table 5- Determining the intensity of fire consequenc in posts

شدت پیامد / عنوان سناریو	زیان اقتصادی ناشی از حریق در پست RS (میلیون ریال)		زیان اقتصادی ناشی از حریق در پست LPS (میلیون ریال)	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
سناریو۱	۶۷۷۰	۵۸۱۵	۳۹۸۰	۳۰۲۵
سناریو۲	۱۳۱۶۰	۹۹۵۵	۶۴۱۰	۴۳۳۰
سناریو۳	۱۱۷۱۱۰	۷۲۹۵۵		
سناریو۴			۸۶۶۰	۳۶۵۵

جدول ۶- برآورد زیان‌های اقتصادی ناشی از وقوع حریق در پست LPS، RS

Table 6- The estimation of fire economic losses in RS and LPS posts.

عنوان سناریو	زیان اقتصادی ناشی از حریق در پست RS (میلیون ریال)		زیان اقتصادی ناشی از حریق در پست LPS (میلیون ریال)	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
سناریو۱	۶۴۵۲	۵۴۱۶	۲۳۸۸	۱۸۱۵
سناریو۲	۶۵۸۰	۴۹۷۷	۲۵۶۴	۱۷۳۲
سناریو۳	۷۰۲۶۶	۴۳۷۷۳		
سناریو۴			۴۳۳۰	۱۸۲۷

لازم بذکر است کـه زیان‌هـای غیرمسـتقیم ناشـی از حادثـه را می‌تـوان اخـتلال در سـرویس‌دهی، ایجـاد تـرس و وحشـت در مسافران، تلف شـدن وقـت مسـافران، ایجـاد ذهنیـت منفـی از عملکرد مترو و کاهش اعتماد عمومی در اذهان مردم و . . . نـام بـرد کـه در بلنـد مـدت عـلاوه بـر اثـرات روانـی، می‌توانـد بـر درآمدهای حاصل نیز اثرگذارد. همچنین برای تعیـین خسـارات مستقیم می‌توان خسارات ناشی از تجهیزات از بین رفته، درآمد از بین رفته، هزینه مواد و اقلام مصـرفی بـرای اطفـا، خسـارات احتمالی به زیرساخت‌ها نظیر سیسـتم برق‌رسـانی، تـامین آب، تهویه و... را نیز درنظر گرفت کـه در ایـن تحقیـق تنهـا امکـان بررسی خسارات جانی احتمالی شامل مـرگ و میـر مسـافران و کارکنان، صدمات و جراحات در اثر ازدحام و آسیب به تجهیزات میسر گردید.

بحث و نتیجه گیری

از آن‌جا که شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک قبـل از محـو یـا کاهش آن امری ضروری اسـت، در ایـن تحقیـق بـه شناسـایی ریسک حریـق در ایسـتگاه‌های خـط ۱ متـروی تهـران (پسـت LPS و RS) و کمی کردن اثرات آن پرداخته شـد. بررسـی مطالعات انجام یافته در داخل کشور حاکی از یک خلا جدی در کمی کردن خطرات و ریسک‌ها و اسـتفاده از روش‌هـای جـامع تحقیق برای کاهش و محدود کردن آن حکایت دارد. به عبـارت دیگر، برای بهینـه سـازی اقتصـادی اقـدامات کنتـرل ریسـک، ارزش‌گذاری زیان‌ها و خسارات جانی و مالی، از اهمیت ویژه ای برای تعیین حد سرمایه گذاری بهینه در مسایل ایمنی برخوردار است. مطالعه حاضر با هدف جلب توجه مدیران، برنامه ریـزان و تصمیم گیران مسایل شهری به اهمیت بالای ایمنی و بهداشـت شهری انجام یافته است. نتایج این تحقیق نشان مـی دهـد کـه وقوع حریق‌های الکتریکی در سیستم ریلی مترو می‌تواند تبعات جانی- مالی بسیار با اهمیتی را در پی داشته باشـد. بـر اسـاس یافته های بـالا، میـزان خسـارات جـانی- مـالی (از بـین رفـتن تجهیزات) ناشی از وقوع حریق در ایستگاه‌های خـط ۱ متـروی شهر تهران با سناریوهای حریق ترانسفورماتور خشـک و حریـق تابلوهای ۲۰ کیلو ولت که بیش‌ترین احتمال وقوع را دارنـد، بـر اساس قیمت‌های سـال ۱۳۹۱، بـه ترتیـب در پسـت LPS بـه میزان۳۹۸۰میلیون ریال و ۶۴۱۰ میلیون ریال و در پسـت RS با سناریوهای حریق ترانسفورماتور خشک و تـایلوی ۷۵۰ ولـت میزان خسارت به ترتیب ۶۴۵۲ و ۷۰۲۶۶ میلیون ریال به دست آمد. در بررسی صورت گرفتـه توسـط بـارتلی در زمینـه آنـالیز نقایص ترانسفورماتورها طی سـال‌های ۱۹۹۷ تـا ۲۰۰۱، میـزان خسارت ناشی از وقوع حریق در ترانسفورماتورهای قدرت بـیش از ۸ میلیون دلار برآورد شده است (۲۶). البته خطر وقوع حریق در ترانسفورماتورهای خشک نسبت به ترانسفورماتورهای قدرت کم‌تر است، زیرا مقدار مواد قابـل اشـتعال موجـود در ایـن نـوع ترانسفورماتورها کم‌تر و محدودتر می‌باشـد. گسـتره وسـیعی از رویـدادها ماننـد نقـایص طراحـی، جریـان غیـر عـادی ولتـاژ، آسیب‌های ساختاری، زوال غیرمنتظرانه سریع عایق‌ها، خطاهای نگه‌داری و عواملی دیگر می توانند منجر به حریق ترانسفورماتور

و انفجـار گردنـد. تجربـه نشـان داده کـه پیامـدهای چنـین رویـدادهایی سـخت و شـدید اسـت (۲۷). نقـص الکتریکـی یـا مکانیکی علت عمده ۴۴٪ از حریق‌های وسایل و تجهیزات حمل و نقل ریلی بیـان شـده اسـت کـه باعـث ایجـاد ۳۸٪ خسـارت مسـتقیم بـه امـوال و دارایـی افـراد می‌گـردد (۲۸). حریـق ترانسـفورماتور متـروی نیویـورک در سـال ۱۹۷۹ منجـر بـه مصدومیت ۱۷۸ نفر گردیده است. در حریق ترانسـفورماتورهای ایستگاه متروی تایوان نیز در سال ۱۹۹۴ تعـداد ۱۰ نفـر آتـش نشان مصدوم شدند (۲۹). در سال ۲۰۰۱ در متروی هنگ کنگ حریق الکتریکـی ناشـی از ترانسـفورماتور در ایسـتگاه North Point رخ داده که میزان خسارات مـالی و جـانی آن گـزارش نگردیـده اسـت (۳۰). طبـق گـزارش سـالانه سـازمان مرکـزی اطلاعـات حریـق آمریکـا (۲۰۰۸)، سـالانه ۲۸۳۰۰ حریـق الکتریکی ساختمانی که باعث مرگ و میر ۳۶۰ نفـر و جراحـت ۱۰۰۰ نفر و نیز ۹۹۵ میلیون دلار خسارت مسـتقیم می‌گـردد، رخ می‌دهد (۳۱). آمارها نشان می دهنـد کـه علـل حریق‌هـای الکتریکـی در نیروگاه‌هـای هسـته‌ای آمریکـا و اروپـا شـامل ترانسفورماتور ۲۶ درصد، سوئیچ‌ها و کلیدهای قطع‌کننده مـدار ۲۶ درصد، ترمینال‌های ارتباطی ۱۵ درصـد، سـیم‌ها و کابل‌هـا ۱۰ درصـد می‌باشـد(۳۲). طبـق مطالعـه Ng Ak-L در سـال ۲۰۰۷، حداقل و حداکثر میزان خسارت مـالی ناشـی از حریـق ترانسفورماتورها در ساختمان‌های بلند با توجه به نـوع حفاظـت حریق تعبیه شده شامل وجـود یـا فقـدان دتکتورهـای دودی و اسـپرینکلر بـه ترتیـب ۳۲۳۷۰ و ۴۹۶۹۰ دلار تعیـین شـده است(۳۳). اثرات مستقیم جدیدترین حریـق رخ‌داده در یکـی از پرترددترین ایستگاه‌های متـروی مسـکو در ۵ ژوئـن ۲۰۱۳، در ایستگاه یاد شده قابل توجه بوده است، چنان که شامل بسـتری شدن ۱۴ نفـر در بیمارسـتان، مصـدومیت و جراحـت ۶۶ نفـر، تخلیـه ۴۵۰۰ مسـافر از ایسـتگاه، توقـف ۴ قطـار و اخـتلال در ترافیـک شـهری بـوده اسـت. اگرچـه هنـوز در زمینـه اثـرات غیرمستقیم این حادثه آمارهای رسمی منتشر نشده اسـت. لازم به ذکر است که خسارات بالا در کشورهای ذکر شـده علـی‌رغم داشتن سیستم‌های پیشرفته ایمنی حریق رخ داده است.

در پایان لازم به ذکر است که اگرچـه، بررسـی ادبیـات موضـوع نشـان مـی دهـد کـه اغلـب ارزیـابی ارزش زنـدگی انسـان‌ها و ارزش‌گذاری اقتصادی آن دشوار است، زیـرا بـه لحـاظ اخلاقـی بسیار سوال برانگیز است و نمی‌توان برای زندگی انسان‌ها ارزش اقتصادی تعیین کرد. اما واقعیت این است که انجام هزینه بـرای کاهش ریسک در تمامی جوامع، محدودیت دارد. در این تحقیق نیز که زندگی انسان‌ها بر مبنای دیه محاسبه شده، برای نشـان دادن اهمیت سرمایه گذاری در کاهش تلفات جانی بوده و هرگز به معنای محدود کردن ارزش زندگی انسان در مقادیر بالا نمـی باشد. در کنار خطر خسارات جانی به علت فعالیت‌های مشخص، ریسک‌های مالی نیز نقش مهمی را در تصـمیم گیـری هـا ایفـا می‌کنند. منحنی FD احتمال تجاوز را به عنوان تابعی از آسیب اقتصادی بیان می‌کند. از این‌رو با توجه به یافتـه هـای تحقیـق حاضر که در آن هنوز امکان برآورد همه جانبـه خسـارات ذکـر شده (مستقیم و غیر مستقیم) نبوده، علاوه بر تاکیـد بـر توجـه بیش‌تر مسئولان متروی شـهری تهـران در زمینـه علـل ایجـاد حریق و کنترل ایمنی آن، تدوین یک سیسـتم مـدیریت جـامع ارزیابی ریسک برای متـروی شـهری تهـران، بـه عنـوان امـری اجتناب ناپذیر به شدت توصیه می گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از همکـاری شـرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه تشکر و قدردانی بـه عمل آورند.

منابع

1- Roh Js., Ryou Hs., Park Wh., Jang Yj., 2009. Cfd Simulation and Assessment of Life Safety in a Subway Train Fire, Tunnelling and Underground Space Technology, 24(4): 447-53.

2- Gao R., Li A., Hao X., Lei W., Deng B., 2012. Prediction Of The Spread Of Smoke In A Huge Transit Terminal Subway Station Under Six Different

Fire Scenarios, Tunnelling And Underground Space Technology.

3- Sfpe Handbook of Fire Protection Engineering. 2002. Third Ed, National Fire Protection Association,5-20.

4- Zarboutis N., Marmaras N,.2004. Searching Efficient Plans For Emergency Rescue Through Simulation: The Case Of A Metro Fire, Cognition, Technology & Work, 6(2): 117-26.

5- Raiway Safety Statistical Report. 2007. [Database on the Internet]. Office of Rail Regulation. Available From: Http://Www.Rail-Reg.Gov.Uk/Upload/Pdf/370.Pdf

6- Van Duijne Fh., Van Aken D., Schouten Eg., 2008.Considerations In Developing Complete And Quantified Methods For Risk Assessment, Safety Science,46(2):245-54.

7- Zimmerman M. 2005.analyzing the need for a community risk assessment for the city of Scottsdale.

8- FEMA, 2004. Leading community risk reduction; student manual (1sted) EmmitsburgMaryland: National Emergency Training Center.

9- Trulson G., 2007.risk and vulnerability assessment options for Joplin, Missouri.

۱۰- خبازی نیا محمد. ۱۳۸۸. ضوابط عمومی طراحی ایستگاههای مترو و انتخاب تجهیزات ایستگاه، انتشارات مترو تهران، تهران، صفحات ۴۰-۶۰ .

11- Chen F., Guo S-C., Chuay H-Y., Chien S-W., 2003. Smoke Control of Fires in Subway Stations, Theoretical and Computational Fluid Dynamics, 16(5): 349-68.

12- Chow W., Qu L., Pang Ec., 2011. Incidents on Fire and Ventilation Provision in Subway Systems in Hong Kong, International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes.

۱۳- دانشور سمیه،مرتضوی سیدباقر، عطرکار روشن صدیقه، ۱۳۹۲. ارزیابی ریسک حریق مقاومت‌های سقفی قطارهای با جریان یکنواخت در مترو شهر تهران با روش درخت تجزیه و تحلیل خطا، فصلنامه علمی تخصصی طب کار، دوره ۵، شماره ۳، ۴۲-۴۸.

۱۴- مرتضوی سیدباقر، دانشور سمیه، عطرکار روشن صدیقه، ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک حریق در ایستگاه‌های خط ۱ مترو شهر تهران (پست یکسوساز) با روش تجزیه و تحلیل درخت خطا، فصلنامه سلامت کار ایران، دوره ۱۱، شماره ۲.

15- Vesely W., 2002 .Fault Tree Handbook With Aerospace Application ,Version 1.1,Washington Dc, Nasa Office Of Safety And Mission Assurance.

16- Ratcliffe J., 2000. Scenario Building: A Suitable Method For Strategic Property Planning, Property Management, 18 (2): 144-127.

17- Lindgren M., And Bandhold H., 2009. Scenario Planning – The Link between Future and Strategy, Palgrave Macmillan: Houndmills.

18- Ringland G., 1998. Scenario Planning: Managing For The Future, Chichester: Wiley.

19- Ratcliffe J., 2002. Scenario Planning: An Evaluation of Practice, School Of Construction & Property Management, University Of Salford.

20- Daum J., 2001. How Scenario Planning Can Significantly Reduce Strategic Risks And Boost Value In The Innovation Chain, In The New Economy Analyst Report.

21- Van Der Heijden K., 1996. Scenarios: The Art Of Strategic Conversation, Chichester: Wiley.
22- Declercq Ij., Van Schevensteen R., 2004. Performance and Fire Behaviour of Step-Up Transformers in Wind Turbines.
23- Babrauskas V., 1982. Will The Second Item Ignite?, Fire Safety Journal,4(4): 281-92.
24- Assael M., Kakosimos K., 2010 .Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersion Effects Calculation and Risk Analysis: Crc Press.
25- Mcgrattan K., Lock A., Marsh N., 2011. Cable Heat Release Ignition, And Spread In Tray Installations During Fire (Christi Fire) Phase 1: Horizontal Tray, Office Of Nuclear Regulatory Research.
26- Bartley P.E., 2003. Analysis of transfomer failures. International association of engineering insurers 36th annual conference. Stockholm.
27- Berg H.P., Fritze N., 2011. Reliability of main transformers. RT&A. 2: 52-69.
28- Marlair G., Lemaire T., 2008. Fire scenario and accidents in the past.EU FP5 Contract G1RD-CT-2002-766.
29- Shen-wen J., Zisheng S., Yongwei Z., Zhenchong Z. 1993. MRT underground station fire smoke flow distribution and flow test (2 of 2). Thematic research program national science council report on the outcome.
30- Chow W.K., Qu L., Pang E.C.L., 2011. Incidents on fire and ventilation provision in subway systems in Hong Kong. International journal on engineering performance-based fire codes. 10(3): 41-47.
31- Usfa. Statistical Reports: Electrical and Appliance Fires. 2008. Available From: Http://Www.Usfa.Fema.Gov/Statistics/Reports/Electrical_And_Appliances.Shtm
32- Duarte D., 2004. A Performace Overview About Fire Risk Management In The Brazilian Hydroelectric Generating Plants And Transmission Network, Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, 17(1): 65-75.
33- Ng Ak-L., 2007. Risk Assessment of Transformer Fire Protection in a Typical New Zealand High-Rise Building.