نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۱): صص ۶۶-۵۷

علمی- ترویجی

بررسی عملکرد اکوستیکی توپ اطفای حریق در مقابله با آتش‌سوزی در فضاهای زیرزمینی

امیرحسین یزدان بخش[۱]، محسن ناظریان[۲]، علی حبیبی[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

چکیده

جلوگیری از گسترش حریق و کاهش خطرات ناشی از آن، در پدافند غیرعامل جایگاه ویژه‌ای دارد. فضاهای زیرزمینی شامل تأسیسات مکانیکی و برقی، تونل‌ها و سازه‌های زیرزمینی، همواره در معرض خطر آتش‌سوزی قرار دارند و اطلاع به موقع از وقوع حریق در این اماکن اهمیت مضاعفی دارد. استفاده از توپ‌های اطفای حریق از نوین‌ترین روش‌هایی است که به‌منظور مقابله با خطرات ناشی از آتش‌سوزی در این فضاها پیشنهاد شده است. این توپ‌ها با گرمای آتش منفجر شده و با ایجاد صدایی مهیب، هشدار حریق را اطلاع‌رسانی می‌کنند. در این پژوهش، عملکرد اکوستیکی (صوتی) این توپ‌ها در هنگام انفجار در یک فضای زیرزمینی مفروض، توسط نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی و بررسی شد و پارامترهای فشار اکوستیک، شدت صوت و تلفات انتقال امواج صوتی در هنگام انفجار توپ، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد در فرکانس‌های پایین تا متوسط (زیر ۹۰۰ هرتز)، صدای ناشی از انفجار توپ به خوبی توسط افراد حاضر در محیط پیرامون مکان مفروض، شنیده خواهد شد که مؤید عملکرد صوتی مطلوب توپ در اعلام و هشدار حریق می‌باشد..

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی رویداد، تحلیل احساس، تحلیل موضوع، شبکه‌های اجتماعی، پیش‌بینی حوادث و ناهنجاری‌های اجتماعی

---

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی پلیمر، دانشکدگان فنی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران ، تهران، ایران

[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس ، کرج، ایران

[۳] دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی شیمی، پژوهشگر پژوهشکده مهندسی و پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

(Ahabibi@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

آتش‌نشانی یا اطفای حریق عبارتست از مجموعه اقداماتی که برای مقابله با آتش به وسیله خاموش کردن، کنترل و یا هدایت آتش‌های ناخواسته انجام می‌گیرد. حفاظت از سلامت افراد، جلوگیری از آسیب رسیدن به اموال و حفاظت از محیط زیست را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین اهداف آتش‌نشانی نام برد. روش‌های اطفای حریق بستگی به نوع آتش دارد اما آنچه واضح است برای مقابله با آتش باید حداقل یکی از عوامل اصلی آتش یعنی اکسیژن، گرما، ماده سوختنی و یا زنجیره واکنش را از بین برد. در یک طبقه‌بندی می‌توان اطفای حریق را به دو گروه دستی و اتوماتیک تقسیم کرد. در نوع دستی، عملیات اطفای حریق به‌صورت دستی و توسط فرد و در نوع اتوماتیک، عملیات به‌صورت خودکار و بدون حضور عوامل انسانی صورت می‌پذیرد [۱]. جدول (۱)، طبقه‌بندی انواع حریق و روش اطفای آن را نمایش می‌دهد.

جدول (۱): طبقه‌بندی انواع حریق و روش‌های مناسب مربوط به اطفای حریق [۱ و ۲]

نوع حریق	عامل اشتعال	روش اطفای حریق
A	مواد خشک یا جامدات مانند کاغذ و چوب	سرد کردن، خفه کردن و در بعضی موارد جداسازی
B	مایعات قابل اشتعال مانند بنزین و گریس و نفت	خفه کردن و در بعضی موارد جداسازی
C	گازهای قابل اشتعال مانند متان و اتان	جداسازی و خفه کردن
D	فلزات قابل اشتعال که به سرعت اکسید می‌شوند مانند منیزیم و لیتیم	جداسازی
E	برق و الکتریسیته در کلیه ادوات برقی، کابل‌ها و سیم‌های برق	قطع جریان برق و خفه کردن
F	روغن‌های خوراکی و چربی‌ها	جداسازی

از قرن‌ها پیش، هنگام وقوع آتش‌سوزی، واکنش سریع در کنترل حریق اهمیت بالایی داشته است و به همین منظور به محض آگاهی افراد از آتش‌سوزی، این خبر توسط زنگ‌های دستی نگهبانان شب، سوت بخار کارخانه‌ها و یا زنگ‌های کلیسا که توسط خادمان به صدا درمی‌آمد، به گروه‌های آتش‌نشان اعلام می‌شد. واضح است که این سامانه‌ها از دقت کافی برخوردار نبوده و در اکثر اوقات آتش‌نشان‌ها را به مکان اشتباهی هدایت می‌کردند. اما پس از ظهور تلگراف، سامانه‌های گزارش‌دهی حریق به مأموران آتش‌نشانی دقیق‌تر و سریع‌تر صورت می‌گرفت. در سال ۱۸۴۷ نیویورک به‌عنوان اولین شهر ایالات متحده ساخت خطوط تلگراف، جهت اعلام حریق از شهرداری به ایستگاه‌های آتش‌نشانی و همچنین زنگ‌های ناقوسی را آغاز کرد. با گسترش سامانه اعلام حریق عمومی به کمک تلگراف زمان اعلام حریق به اداره آتش‌نشانی کوتاه‌تر شد. مدت‌ها بعد نیز سامانه دستی اعلام حریق با عنوان سامانه اعلام حریق کمکی ابداع و ساخته شد. در سال ۱۸۸۵ این سامانه توسعه داده شد به‌طوری که استفاده نامحدود از آن در تمامی شهرهای ایالات متحده میسر گشت [۳].

توپ‌های اطفای حریق یا همان توپ‌های ضد حریق یکی از ابزارهای بسیار جالب و کارآمد برای کنترل آتش در کمترین زمان ممکن می‌باشند. این توپ‌ها معمولاً دارای وزنی در حدود ۱ تا ۱/۵ کیلوگرم و دارای یک روکش پلاستیکی ضد آب هستند. سازوکار عمل این توپ به این صورت می‌باشد که وقتی در معرض دمای حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس قرار بگیرد، به‌صورت خودکار منفجر شده و صدای بسیار زیادی در حدود ۱۲۰ دسی‌بل ایجاد می‌کند که می‌توان آن را به‌عنوان یک هشدار صوتی بسیار مناسب درنظر گرفت. این توپ‌ها، یک بار مصرف بوده و دارای ۵ سال عمر مفید می‌باشند و به هنگام انفجار، پودر آتش‌نشانی را در فضایی بین ۳ تا ۹ متر مکعب پراکنده کرده و به این صورت مانع از انتشار آتش می‌شوند. بسته به نوع توپ از نظر وزن، خلوص ماده خاموش کننده و حجم، توپ‌ها می‌توانند قدرت خاموش کنندگی متفاوتی داشته باشند. از موارد کاربردی توپ‌های ضد حریق می‌توان به اتاقک‌های کنترل حاوی تجهیزات برقی و مخابراتی، مخازن بانک‌ها، خودروها، داخل منازل و پاگرد ساختمان‌ها، کتابخانه‌ها و نیروگاه‌ها اشاره کرد [۶-۴]. نحوه استفاده از این توپ‌ها معمولاً به دو صورت می‌باشد:

۱. قرار دادن در فضاهایی که احتمال آتش‌سوزی وجود دارد (پیشگیرانه).

۲. پرتاب توپ به داخل آتش توسط افرادی که نزدیکی آتش قرار دارند.

از مهم‌ترین مشخصات و مزایای این توپ‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ روکش پلاستیکی این توپ‌ها ضد آب می‌باشد و همین باعث افزایش دوام آن‌ها در شرایط محیطی مختلف خواهد شد.
- ✓ صدای انفجار بالا (۱۲۰ دسی‌بل) که به‌عنوان یک هشدار قوی برای اطرافیان محیط آتش‌سوزی عمل می‌کند.
- ✓ اطفای حریق در همان مراحل اولیه و قبل از انتشار آتش‌سوزی.
- ✓ قابل نصب در حالات مختلف.
- ✓ قابلیت حمل ساده و همچنین استفاده آسان برای افرادی که هیچ تخصصی در زمینه اطفاء حریق ندارند.
- ✓ مقرون به صرفه بودن.
- ✓ پیشگیری از داخل شدن افراد در منطقه خطرناک هنگام بروز حوادث و آتش‌سوزی‌ها.
- ✓ قابلیت اطفای حریق نوع A، B و C از جدول (۱) را دارا می‌باشد.

در شکل (۱) ساختار کلی توپ‌های ضد حریق نشان داده شده است.

شکل (۱): ساختار توپ‌های ضد حریق [۶]

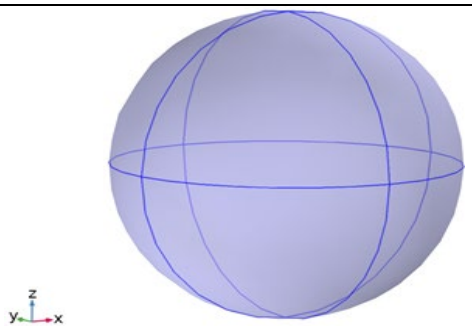
پوشش نازک PVC روی سطح توپ به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب به داخل توپ قرار داده شده است. کمربند انفجاری نیز که به‌صورت نواری به دور توپ قرار گرفته، نقش فعال‌سازی و انفجار باروت وسط توپ را به هنگام احساس گرمای آتش (حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس) ایفاء می‌کند. بین کمربند و باروت نیز پودر اطفای حریق در داخل پوشش یونولیتی وجود دارد. این پودر معمولاً شامل فسفات مونوآمونیوم و سولفات آمونیوم به‌عنوان خاموش‌کننده آتش و سیلیکا آمورفوس و پلی‌سیلوکسان متیل‌هیدروژن به‌عنوان عوامل ضد رطوبت و روان‌کننده به‌منظور جلوگیری از کلوخه شدن پودر است. به هنگام قرار گرفتن توپ در مجاورت آتش، کمربند انفجاری عمل کرده و باروت مرکز توپ را منفجر می‌کند. این امر باعث پخش شدن پودر به محیط (حدود ۳ تا ۹ متر مکعب) و خاموش کردن ناگهانی آتش می‌شود. وزن این توپ‌ها معمولاً بین ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم می‌باشد [۶ و ۷].

اماکن زیرزمینی شامل تأسیسات برقی و مکانیکی، تونل‌ها، ایستگاه‌های راه آهن و مترو از جمله مهم‌ترین اماکنی هستند که مقابله با آتش‌سوزی‌های احتمالی در آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. جایگاه اماکن زیرزمینی در پدافند غیرعامل، جلوگیری از بروز آسیب‌های ناشی از مواردی نظیر: نشت گاز، آب‌گرفتگی، خطرات برق و آتش‌سوزی است که جهت اطمینان از قابلیت مدیریت بحران و تداوم کارکردهای ضروری، می‌بایست توسط مهندس تأسیسات مدنظر قرار گیرد [۱۰-۸]. در این بین، توپ‌های اطفای حریق می‌توانند نقش مهمی را در کاهش گسترش و خطرات آتش‌سوزی‌های اماکن زیرزمینی ایفاء کنند که عملکرد اکوستیکی آن‌ها در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

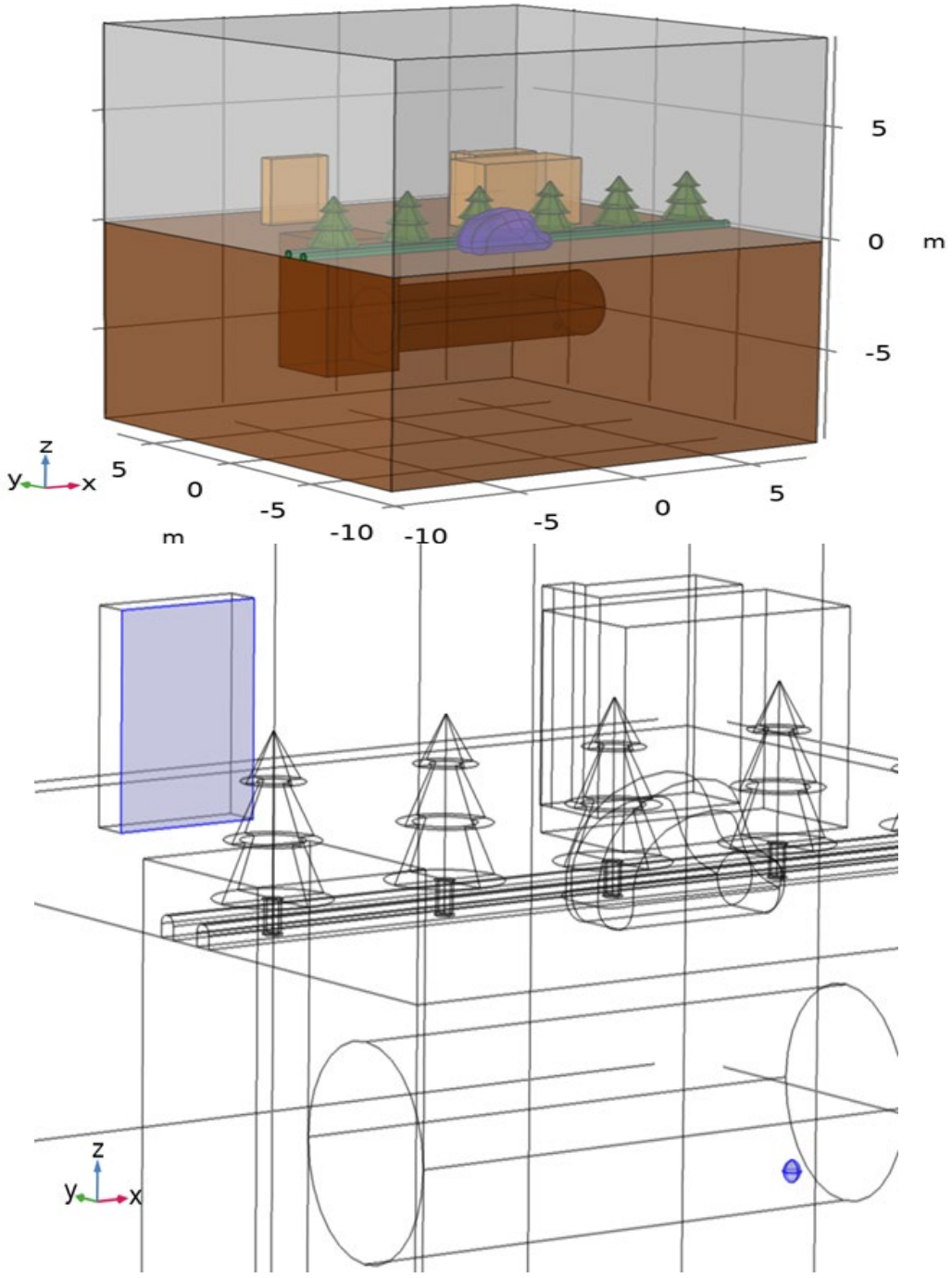
۲- روش تحقیق

در این پژوهش، عملکرد اکوستیکی توپ اطفای حریق در مقابله با آتش‌سوزی اماکن زیرزمینی به وسیله نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی شده است. مشخصات فنی و هندسی توپ اطفای حریق مورد مطالعه در این پژوهش در جدول (۲) نمایش داده شده است.

جدول (۲): مشخصات فنی و هندسی توپ اطفای حریق مورد مطالعه

قابلیت‌ها		نصب راحت، عملکرد سریع به‌صورت خودکار و بدون نیاز به حضور افراد، پیشگیری از آتش‌سوزی‌های بزرگ، پرتاب راحت توپ به درون آتش در صورت نیاز، سهولت کاربرد، صدای مهیب در هنگام انفجار به‌منظور هشدار
شرایط عملکرد		به‌صورت خودکار و هنگامی که درجه حرارت به محدوده دمایی مناسب برسد کمربند انفجاری (باروتی) تعبیه شده بر روی توپ عمل می‌کند و منجر به انفجار توپ اطفای حریق و خاموش شدن آتش می‌شود.
جنس توپ		یونولیت (فوم)
جنس پوشش توپ		پی وی سی شرینگ
نوع پودر خاموش کننده	**نام پودر**	ABC(غیر سمی)
	اجزای تشکیل دهنده	مونو فسفات آمونیوم، کلسیم کربنات، سدیم کلراید، دی آمونیوم فسفات
وزن		۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم
اندازه		کوچک و متوسط
حداکثر صدای تولید شده در حین انفجار		۱۲۰ دسی بل
مدت زمان فعال‌سازی		کمتر از ۵ ثانیه
محدوده عملکرد		حدود ۳ متر مکعب
قطر داخلی (توپ ۸۰۰ گرمی)		۱۰ سانتی‌متر
قطر خارجی (توپ ۸۰۰ گرمی)		۱۲ سانتی‌متر
قطر داخلی (توپ ۱۲۰۰ گرمی)		۱۳ سانتی‌متر
قطر خارجی (توپ ۱۲۰۰ گرمی)		۱۵ سانتی‌متر
ضخامت		۲ سانتی‌متر
نفوذ آب و باران		ضد آب
نحوه نصب		نصب راحت با پیچ و رولپلاک
محدوده دمایی عملکرد		۷۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس
حمل و نقل		آسان به دلیل وزن بسیار پایین
مدت انقضاء		۵ سال (بدون نیاز به نگهداری)
استانداردهای مواد		مطابق با استانداردهای بین‌المللی حفاظت از محیط زیست
توپ ترسیم شده در نرم‌افزار بر مبنای مشخصات فنی و هندسی فوق		

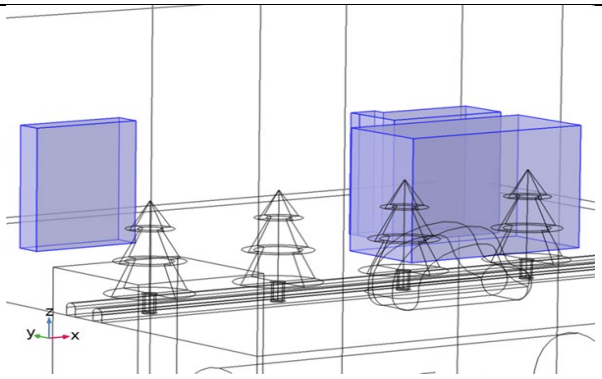
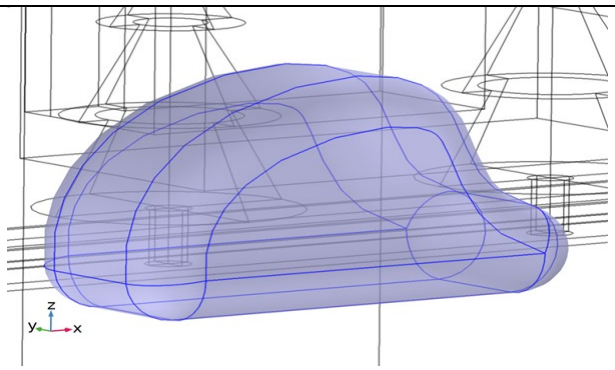
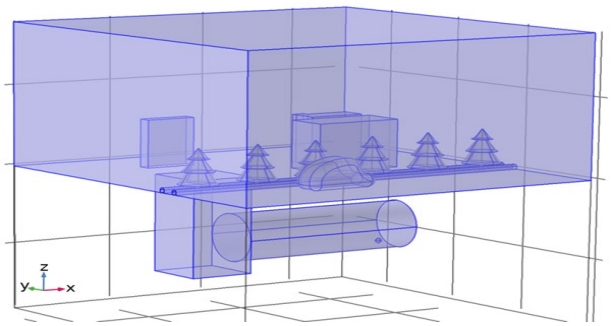
یک مکان زیرزمینی متشکل از یک تونل به قطر ۱/۵ متر و یک آسانسور که رابط با سطح زمین است، درنظرگرفته شده و هندسه آن در نرم‌افزار ترسیم گردید که شکل (۲) نمایانگر آن است (مکان تعبیه توپ اطفای حریق نیز در شکل مشخص است). همانطور که از این شکل مشخص است، محیط مورد مطالعه به شکل مکعبی به ضلع ۲۰ متر فرض گردیده است.



شکل (۲): هندسه مکان زیرزمینی و محیط پیرامون

محیط پیرامون این مکان زیرزمینی که توپ اطفای حریق مطابق شکل فوق به‌منظور هشدار وقوع آتش‌سوزی و کاهش گسترش و خطرات حریق در آن تعبیه شده است، از ساختمان‌های سیمانی، یک خودرو آهنی و هوا تشکیل شده است که محدوده و ویژگی‌های هر یک از این نواحی، که محاسبات اکوستیک در آن‌ها انجام می‌گیرد، در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): مشخصات مواد مورد مطالعه اکوستیکی

ماده	چگالی (kg/m^3)	سرعت صوت (m/s)
 سیمان	۲۳۰۰	۳۷۰۰
 آهن	۷۸۷۰	۵۱۲۰
 هوا	۱/۲	۳۴۳

در این پژوهش، امواج اکوستیک (صوتی) منتشره در محیط، در اثر انفجار توپ اطفای حریق بررسی شده است. فشاری که در اثر انفجار توپ اطفای حریق تولید می‌گردد، مطابق رابطه (۱) با شدت امواج اکوستیک (شدت صوت) در ارتباط است. با توجه به حداکثر صدای تولیدی در حین انفجار، مندرج در جدول (۲)، در شبیه‌سازی فشار مکرراً تغییر داده شد تا تراز شدت صوت به ۱۲۰ دسی بل (db) برسد.

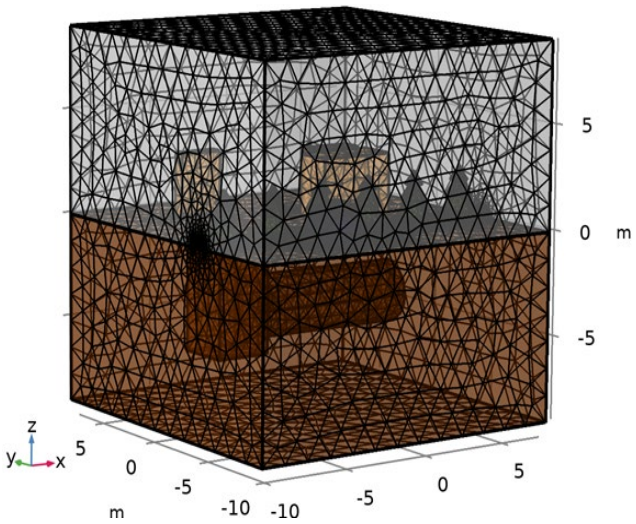
$$I=\frac{(\Delta P)^2}{2\rho v_m} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، I شدت صوت بر حسب وات بر مترمربع (W/m^2)، ΔP تغییر فشار یا دامنه فشار (نصف اختلاف بین بیشینه و کمینه فشار در موج صوتی) است که واحد آن پاسکال (Pa) یا نیوتن بر مترمربع (N/m^2) است. همچنین پارامتر ρ با واحد کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)، چگالی محیطی است که موج صوتی در آن منتشر می‌شود. v_m با واحد متر بر ثانیه (m/s) نیز سرعت حرکت موج صوتی است. تغییرات فشار نیز متناسب با دامنه نوسان موج است که در نتیجه آن شدت صوت متناسب با مربع تغییرات فشار می‌شود. گستره شنوایی انسان صوت‌هایی با شدت حدود 10^{12} است. چون این اعداد بسیار بزرگ هستند، برای بررسی شدت‌های مختلف راحت‌تر است که از لگاریتم در پایه ۱۰ استفاده شود. یعنی به جای شدت I یک موج صوتی راحت‌تر است که مطابق رابطه (۲) از تراز شدت صوت (تراز صوتی) بر حسب db استفاده شود.

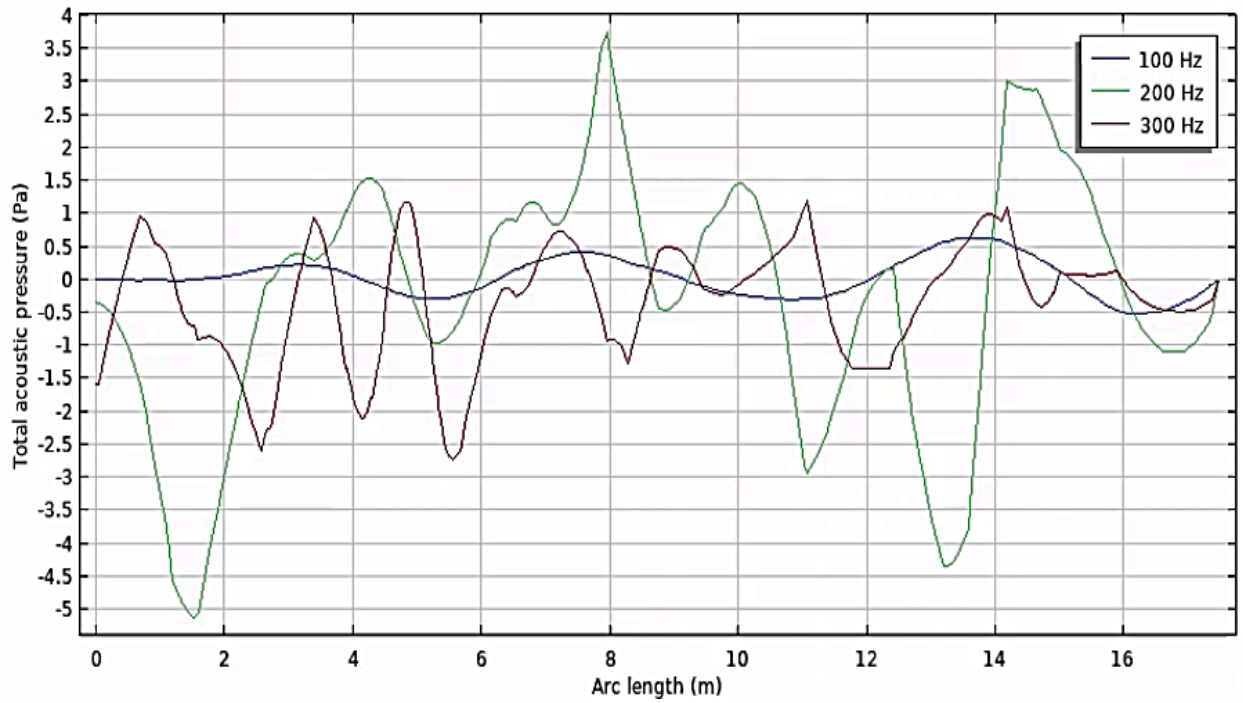
$$dB=10\log(I_1/I_2) \quad (۲)$$

در رابطه فوق، db مقدار تراز صوت و I_1 وI_2 به ترتیب شدت صوت خروجی (قدرت بزرگ‌تر) و شدت صوت ورودی (قدرت کوچک‌تر) می‌باشند.

به‌منظور اجرای محاسبات اکوستیک لازم و حصول نتایج، محیط مورد مطالعه شبکه (مش) بندی گشت. مش‌ها با اندازه بهینه، و با هندسه چهارضلعی (Tetrahedral) اختیار گردیدند. شکل (۳)، شبکه‌بندی محیط مورد مطاله را نمایش می‌دهد.



شکل (۳): شبکه‌بندی محیط مورد مطالعه



شکل (۴): نمودار فشار اکوستیک بر حسب فاصله از مکان انفجار توپ اطفای حریق در فرکانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هرتز

درنهایت شرایط مرزی حل مسئله، در دیواره‌های ساختمان‌ها و بدنه خودرو، از نوع Hard Boundary (امواج اکوستیک با برخورد به این نواحی بازتاب می‌گردند) و در سایر نواحی از نوع Soft Boundary (امواج اکوستیک با برخورد به این نواحی خارج می‌گردند) اختیار گردید.

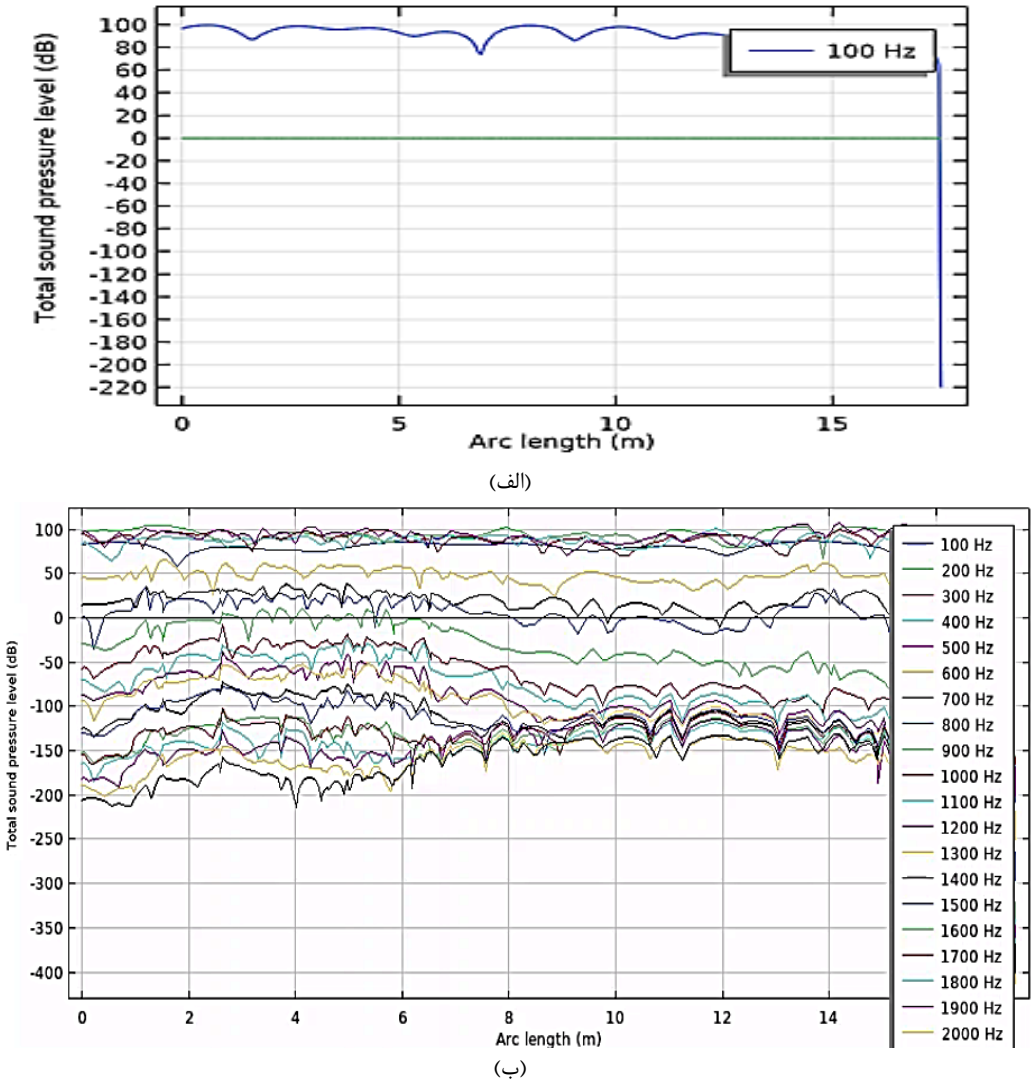
۳- نتایج و بحث

پس از شبکه‌بندی محیط مورد مطالعه و اعمال شرایط مرزی، فشار اکوستیک (انحراف فشار محلی نسبت به فشار محیط اطراف که توسط یک موج اکوستیک ایجاد شده باشد) حاصل از انفجار توپ اطفای حریق در فواصل مختلف از محل انفجار و در

فرکانس‌های مختلف محاسبه گردید که در شکل (۴) این پارامتر در فرکانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هرتز با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌طور که از شکل (۴) مشخص است، روند تغییرات فشار اکوستیک در فواصل مختلف از مکان انفجار توپ اطفای حریق، از یک الگوی موجی نامنظم پیروی می‌کند.

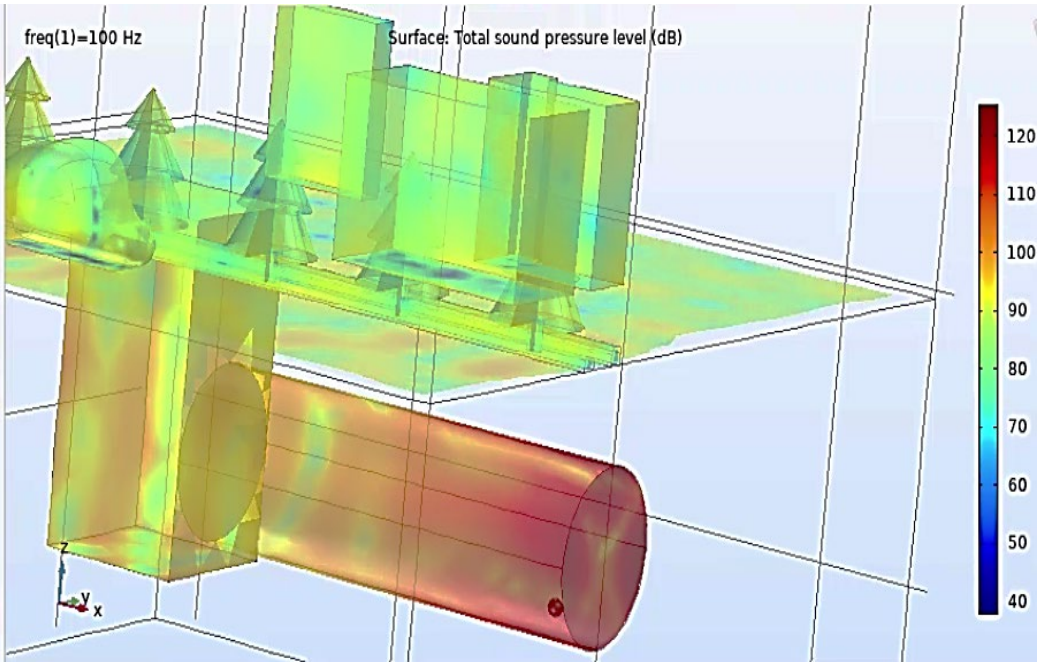
تراز شدت صوت در فواصل مختلف از مکان توپ اطفای حریق، دیگر پارامتر مهم محاسبه شده در این پژوهش است که شکل (۵) آن را در فرکانس ۱۰۰ هرتز و فرکانس‌های دیگر نمایش می‌دهد.



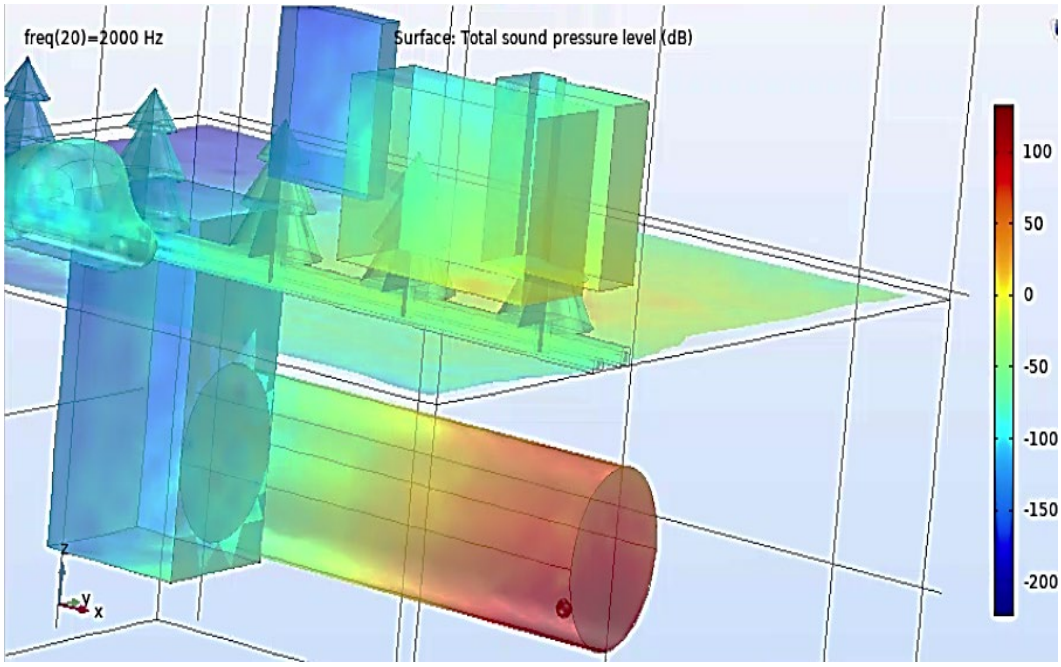
شکل (۵): الف) تراز شدت صوت در فرکانس ۱۰۰ هرتز و ب) تراز شدت صوت در فرکانس‌های مختلف

مطابق شکل فوق، امواج اکوستیک ناشی از انفجار توپ اطفای حریق در فرکانس‌های پایین شدت بیشتری داشته و با افزایش فرکانس، شدت آن‌ها کاهش می‌یابد. به‌طور کلی صوت هایی با تراز شدت صفر db (معادل شدت صوت 10^{-12} W/m^2) توسط انسان شنیده نمی‌شوند به همین سبب خط نشانی در این تراز در نمودارهای شکل (۵) ترسیم شده است. مطابق شکل (۵) الف، و با توجه به ابعاد محیط مفروض مورد مطالعه ((۲۰×۲۰×۲۰) متر)، می‌توان اظهار داشت در فرکانس ۱۰۰ هرتز تقریباً در تمامی محیط صدای ناشی از انفجار توپ شنیده خواهد شد و البته طبیعتاً همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است، با افزایش فاصله از توپ، شدت صوت ناشی از انفجار آن کاهش می‌یابد. مطابق شکل (۵-ب)، تا فرکانس‌های زیر ۹۰۰ هرتز (فرکانس‌های کم تا متوسط)، صدای ناشی از انفجار در محیط پیرامون مکان زیرزمینی شنیده خواهد شد.

شکل (۶)، توزیع تراز شدت صوت در نواحی مختلف محیط مورد مطالعه را در فرکانس‌های ۱۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز نمایش می‌دهد.



(الف)

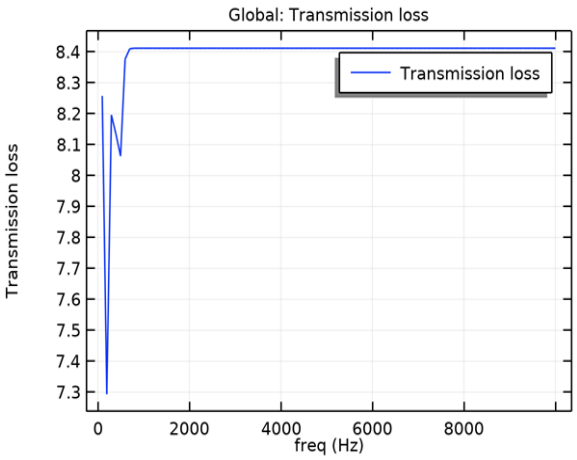


(ب)

شکل (۶): توزیع تراز شدت صوت در نواحی مختلف محیط: الف) فرکانس ۱۰۰ هرتز و ب) فرکانس ۲۰۰۰ هرتز

شکل فوق نمایانگر آن است که در هر محدوده چند db از امواج اکوستیک ناشی از انفجار توپ اطفای حریق قابل دریافت است. به بیان دیگر افرادی که در ساختمان‌ها، خودرو و یا محیط آزاد (هوا) هستند چه ترازی از شدت صوت انفجار را دریافت می‌کنند. مطابق شکل (۶–الف)، صدای انفجار در فرکانس ۱۰۰ هرتز به خوبی به افرادی که در نواحی مختلف محیط هستند رسیده و آن‌ها را از وقوع حریق مطلع می‌سازد. به‌طور مثال افرادی که در ساختمان‌های سیمانی هستند صدای انفجار را با تراز شدت صوت بین ۸۰ تا ۱۰۰ db دریافت می‌کنند (با توجه به مقیاس لگاریتمی db در رابطه (۲)، دامنه وسیعی است). اما مطابق شکل (۶–ب)، و همان‌طور که در بالاتر ذکر شد، در فرکانس‌های بالا همچون ۲۰۰۰ هرتز، صدای انفجار به خوبی در محیط شنیده نخواهد شد و غالب نواحی محیط، تراز زیر صفر db از شدت امواج اکوستیک را دریافت خواهد کرد.

تلفات انتقال (Transmission loss)، بـه نسـبت تـوان صـوتی موجود به توان صوتی دریافتی در گیرنده اطلاق می‌گردد. نمـودار تلفات انتقال امواج اکوستیک حاصل از انفجار توپ اطفای حریـق برحسب فرکانس در شکل (۷) قابل مشـاهده اسـت. مطـابق ایـن شکل، تلفـات انتقـال در فرکـانس‌هـای زیـر ۶۰۰ هرتـز، رونـدی صـعودی یـا نزولـی داشـته و پـس از آن ثابـت مـی‌گـردد. در فرکانس‌های بالاتر از ۶۰۰ هرتز، حدود $\frac{1}{8}$ توان صـوتی حاصـل در انفجار توپ، در گیرنده قابل دریافت خواهد بود.



شکل (۷): تلفات انتقال امواج اکوستیک انفجار توپ اطفای حریق بر حسب فرکانس

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد اکوستیکی توپ اطفای حریـق بـه‌منظـور اطلاع‌رسـانی حریـق و کـاهش خسـارات ناشـی از آن در امـاکن زیرزمینی، در یک محیط مفروض مطالعه شـد. فشـار اکوسـتیک حاصل از انفجار توپ در فواصل مختلف از مکـان تعبیـه و انفجـار توپ، روند نوسانی از خود نشان داد که با افزایش فرکانس، تشدید این روند مشاهده گردید. با بررسی تـراز شـدت صـوت حاصـل از انفجار در فرکانس‌های مختلـف، ایـن نتیجـه حاصـل گشـت کـه عملکرد اکوسـتیکی تـوپ در فرکـانس‌هـای کمتـر از ۹۰۰ هرتـز مطلوب بوده و صدای انفجار تقریباً در تمامی نواحی محیط مـورد بحث، شنیده خواهد شد. درنهایت می‌توان اذعان داشت استفاده از توپ اطفای حریق در اماکن زیرزمینی، روشـی مناسـب جهـت هشدار حریق و به‌تبع آن کاهش آسیب‌های احتمالی می‌باشد.

۵- منابع

[1] R. L. Brauer, "Safety and health for engineers," John Wiley & Sons, 2016.

[2] J. A. Purkiss and L.-Y. Li, "Fire safety engineering design of structures," CRC press, 2013.

[3] M. Löwy, "Fire alarm: Reading Walter Benjamin's On the concept of history," Verso, 2005.

[4] V. G. Il'ves, M. G. Zuev, and S. Y. Sokovnin, "Latest Design Factory Prices Automatic Ball Fire Extinguisher with Ce SGS," J Nanotech., vol. 2015, pp .417817, 2015.

[5] S. Barua, M. S. S. Tanjim, A. N. Oishi, S. C. Das, M. A. Basar, and S. A. Rafi, "Design and Implementation of Fire Extinguishing Ball Thrower Quadcopter," in 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), pp. 1404-1407, 2020.

[6] https://safetysection.com/fire-extinguisher-ball-review/

[7] https://rufo.ir/#top

[8] R. K. Goel, B. Singh, and J. Zhao, "Underground Infrastructures: Planning, Design, and Construction, " Butterworth-Heinemann, 2012.

[9] A. Nordmark, "Fire and Life Safety for Underground Facilities: Present Status of Fire and Life Safety Principles Related to Underground Facilities: ITA Working Group 4, "subsurface planning"," Tunn. Undergr. Space Tech. , vol. 13, no. 3, pp. 217-269, 1998.

[10] V. Bahrami, "Investigation of the Variables Affecting the Fire Resistance of Buldings", Pasive Defence Quarterly, vol. 12, no. 2, pp. 99-111, 2021 (In Persian).

Investigation of the Acoustic Performance of the Fire Extinguisher Ball Against Underground Fires

A. Yazdanbakhsh, M. Nazerian, A. Habibi*

Abstract

Preventing the spread of fire and reducing the associated risks, is a significant issue in passive defense. Underground places housing mechanical and electrical installations, tunnels, and underground infrastructures, are always at risk of fire, and timely information about fires in these places is doubly important. The use of fire extinguisher balls is one of the newest methods that has been proposed in order to deal with fire hazards in these places. These balls explode with the heat of the fire and sound a terrible alarm. In this study, the acoustic performance of these balls during the explosion in a hypothetical underground location was simulated and investigated by Comsol software and the parameters of acoustic pressure, total sound level and transmission loss during the explosion of the ball were studied. The results of the present study showed that at low to medium frequencies (below 900 Hz), the sound caused by the explosion of the ball would be well heard by those present in the surrounding area, which confirms the optimal sound performance of the ball in fire alarm and warning.

Key Words: *Fire, Underground Places, Fire Extinguisher Balls, Explosions, Acoustic Performance*

*Doctoral Student, Research Institute of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran (ahabibi@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge