University of Tehran Press

Environmental ***Hazards*** **Management**

Home Page: https://jhsci.ut.ac.ir

Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Hazards of Lithium-ion Batteries in Urban and Residential Environments: A Global Analysis with Focus on Tehran City

Hamid Reza Hasanloo[1*] | Mehdi Javidifard[2] | Gholam Hossein Alim Marvasti[3]

1. Corresponding Author, PhD in Educational Administration, Babol Branch, Islamic Azad University, Babol, Iran. Email: Hamidhasanloo@yahoo.com
2. Master of Science in Health, Safety and Environment (HSE) Management, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. Email: Madijavid54@yahoo.com
3. European Union Board of Otolaryngology and Head and Neck Surgery, University of Szeged, Szeged, Hungary. Email: alimmarvasti@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 22 November 2025
Revised: 24 February 2026
Accepted: 02 March 2026
Published: 16 March 2026

Keywords:
Lithium-ion battery,
Environmental hazards,
Urban safety,
Battery fire,
Thermal runaway.

ABSTRACT

Objective: Lithium-ion batteries are widely utilized in electronic devices and electric vehicles due to their high energy density. However, this technology poses serious safety risks that can lead to catastrophic consequences in highly populated urban environments. This comprehensive study aims to assess these risks with a particular focus on the city of Tehran.

Methodology: This descriptive-analytical study was conducted using a mixed-methods approach (quantitative and qualitative) over the period from Farvardin to Azar 1403 (March 2024 to December 2024). The primary statistical population for this study was the city of Tehran, with a population of 9.7 million people. For a comparative analysis, New York City (population 8.3 million) was selected as the international benchmark. Furthermore, both international and domestic databases, such as SID and Magiran, were utilized for searching relevant articles and theses.

Findings: Results indicate that Tehran is approaching a potential public safety crisis. The convergence of extremely high population density (11,800 persons/km² in residential areas), restricted living spaces (25–40 m² per household), rapid adoption of electric vehicles (approximately 9 million motorcycles), and a complete absence of charging infrastructure (no public stations) has created a critical scenario concerning fire and environmental hazards.

Conclusion: The results of this research indicate that the combination of high population density, limited residential space, the rapid proliferation of electric devices, and inadequate safety infrastructure has placed Tehran on the verge of a severe crisis concerning lithium-ion batteries. The novelty of this study lies in integrating indigenous risk analysis with international safety management models (using New York as a case study) and employing Cost-Benefit Analysis (CBA) to develop a localized, comprehensive battery safety management model. The CBA results demonstrated that an investment of 5,550 billion Tomans yields a 9 to 19-fold return, while interventions such as public education and secure charging stations can reduce fatalities and household incidents by up to 95% and 85%, respectively. These findings underscore the necessity of immediately implementing a three-phase program encompassing education, infrastructure development, and national standardization to mitigate hazards and enhance urban safety in Tehran.

Cite this article: Hasanloo, H. R.; Javidifard, M.; Alim Marvasti, Gh. H. (2026). Hazards of Lithium-ion Batteries in Urban and Residential Environments: A Global Analysis with Focus on Tehran City. *Environmental Hazards Management*, 12 (4), 303-316. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2026.409598.916

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2026.409598.916

Introduction

Lithium-ion batteries (LIBs) have become a key technology for global energy transition in the past decade. Global demand for these batteries is expected to grow from 700 GWh in 2022 to an estimated 4.7 TWh by 2030, a growth of 671% (Gallagher Bassett, 2024). This unprecedented growth is occurring at a time when accidents involving these batteries are also increasing at an alarming rate.

Thermal runaway is considered the most dangerous hazard of these batteries. In this phenomenon, exothermic chain reactions cause the battery temperature to rise sharply, leading to fire and explosion (Energy Material Advances, 2023). Research has shown that this process can turn an enclosed space into a deadly environment within seconds.

Several studies have been conducted internationally on the dangers of lithium-ion batteries. The Fire Safety Research Institute (FSRI, 2023) showed in a comprehensive study that a lithium-ion battery in an electric scooter can bring the room of origin to the point of full ignition within seconds.

Epidemiological studies in the United States indicate a 35% annual increase in incidents related to these batteries (Levin Simes, 2025). New York City, as a city example, saw 268 fires and 18 deaths in 2023 (FSRI, 2023).

Given the severe limitation of scientific research on the risks of lithium-ion batteries in Iran, which is currently planning to replace 9 million worn-out motorcycles with electric ones, this study is the first comprehensive study to assess these risks, focusing on the city of Tehran. This assessment is of particular importance because the Tehran metropolis, with a population of more than 8.7 million people in the city itself (Statistical Center of Iran, 2002) and 13 million people in the metropolitan area, as one of the largest and most densely populated cities in the Middle East, has been exposed to new risks arising from these technologies due to the increase in the import of electronic devices, the growing acceptance of electric bicycles and scooters, and the beginning of limited imports of electric vehicles (Zarei et al., 2003). The main objectives of this research are defined in several basic axes. First, a scientific analysis of the mechanism of thermal runaway and identification of its initiating factors are carried out in order to more accurately understand the physical and chemical processes affecting the occurrence of this phenomenon. In the next step, global statistics and trends of accidents related to lithium-ion batteries are examined to provide a basis for comparative analysis. Then, the situation of Tehran city is evaluated in terms of parameters related to environmental hazards and risk factors, and then, the results obtained are compared with global standards and indicators. In the next section, possible fire scenarios in the urban context of Tehran are designed and the possible consequences of each are analyzed. Finally, the research ends by presenting preventive solutions and their cost-benefit analysis so that realistic and implementable suggestions can be made to reduce risks.

Method

This descriptive-analytical study was conducted with a mixed approach (quantitative and qualitative) between Farvardin and Azar 1403. The main statistical population of this study is Tehran with a population of 9.7 million people. For comparative comparison, New York City (population 8.3 million) was selected as an international sample, and domestic databases such as SID and Magiran were also used to search for related articles and theses. Data collection tools and methods of this study: Initially, data were collected from several different sources and using various methods. Initially, a library study was used as the basis for data collection; for this purpose, statistical data related to accidents were collected from reputable scientific databases such as ScienceDirect and PMC, as well as from official reports of government organizations such as EPA and FDNY. In the next step, urban data related to demographic parameters and urban characteristics of Tehran were extracted from reliable sources such as the Statistical Center of Iran, Tehran Municipality, and international databases such as World Population Review and Statista. In addition, market data related to the status and trend of the motorcycle market were collected from specialized reports such as Mordor Intelligence, IndexBox, and Financial Tribune to provide a comprehensive picture of the different dimensions of the subject.

Analysis Methods

Several different analysis methods were used in this study. In the first step, descriptive statistical analysis was used to calculate frequency, percentage, mean, and draw descriptive tables to provide an

overall picture of the data. Then, in the comparative analysis section, a parametric comparison was made between the two cities of Tehran and New York, and the relative risk index between them was calculated. Next, in the form of scenario modeling, three different scenarios of fire occurrence in various urban contexts were designed and the possible consequences of each were estimated. Finally, using the cost-benefit analysis method, the costs of implementing prevention programs were compared with the benefits of preventing fatalities and financial losses. It should be noted that this study was conducted based on secondary data and did not involve any direct intervention on humans, therefore all ethical considerations were observed.

Conclusions

The study found that Tehran is on the verge of a potential public safety crisis due to its unique combination of risk factors. With a risk index of 4.2 times that of New York, without urgent action, Tehran could see 100-400 deaths and 750-7,000 billion rials in damages in the next 5 years. However, global experience has shown that this crisis is preventable. Public education can reduce fatalities by 70-95 percent, and public charging stations can reduce household accidents by 80-85 percent. To reduce these risks, it is essential that the government, the private sector, and civil society create synergies. Strengthening laws, public education, developing rapid response infrastructure, and smart monitoring can prevent accidents and increase the safety of the living environment. Future studies should also focus on assessing the long-term effects of battery chemical leaks on Tehran's groundwater resources.

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: https://jhsci.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

تأثیر مخاطرات باتری‌های لیتیوم–یون در محیط‌های شهری و مسکونی: تحلیل جهانی با تمرکز بر شهر تهران

حمیدرضا حسنلو[۱*]| مهدی جاویدی فرد[۲]| غلامحسین علیم مروستی[۳]

۱. نویسندهٔ مسئول، دکتری مدیریت آموزشی، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران. رایانامه: Hamidhasanloo@yahoo.com

۲. کارشناسی ارشد مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. رایانامه: Madijavadi54@yahoo.com

۳. بورد تخصصی جراحی اتحادیهٔ اروپا درگوش وحلق و بینی و سر و گردن، دانشگاه سگد، سگد، مجارستان. alimmarvasti@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵

کلیدواژه:
باتری لیتیوم–یون،
مخاطرات محیطی،
ایمنی شهری،
آتش‌سوزی باتری،
فرار حرارتی.

چکیده

هدف: باتری‌های لیتیوم–یون به‌دلیل چگالی انرژی زیاد، به‌طور گسترده در دستگاه‌های الکترونیکی و وسایل نقلیهٔ برقی استفاده می‌شوند. با این‌حال، این فناوری با خطرهای ایمنی زیادی همراه است که در محیط‌های شهری ممکن است عواقب فاجعه‌باری داشته باشد. هدف این پژوهش ارزیابی جامع مخاطرات این باتری‌ها با تمرکز ویژه بر شهر تهران است.

روش: این پژوهش توصیفی= تحلیلی با رویکرد ترکیبی (کمّی و کیفی) در دامنهٔ زمانی فروردین تا آذر ۱۴۰۳ انجام گرفت و جامعهٔ آماری اصلی این پژوهش شهر تهران با جمعیت ۹/۷ میلیون نفر بوده است. برای مقایسهٔ تطبیقی، شهر نیویورک (جمعیت ۸/۳ میلیون) به‌عنوان نمونهٔ بین‌المللی انتخاب شد پایگاه‌های بین‌المللی و داخلی مانند سالنامهٔ آماری توسعهٔ شهری تهران، SID و Magiran برای جست‌وجوی مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط استفاده شدند.

یافته‌ها: یافته‌های این پژوهش نشان داد که شهر تهران در آستانهٔ یک بحران بالقوهٔ ایمنی عمومی قرار دارد. ترکیب منحصربه‌فرد تراکم بسیار زیاد (۱۱،۸۰۰ نفر/کیلومتر مربع در مناطق مسکونی)، فضای مسکونی بسیار محدود (۴۰–۲۵ متر مربع)، رشد سریع تقاضا برای وسایل برقی (۹ میلیون موتورسیکلت)، و نبود کامل زیرساخت (صفر ایستگاه شارژ عمومی)، وضعیت بحرانی و مخاطرات زیست‌محیطی ایجاد کرده است.

نتیجه‌گیری: نتیجهٔ این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب تراکم زیاد جمعیت، محدودیت فضاهای مسکونی، رشد سریع وسایل برقی و کمبود زیرساخت‌های ایمنی، تهران را در آستانهٔ بحرانی جدی در حوزهٔ باتری‌های لیتیوم–یون قرار داده است. نوآوری پژوهش در تلفیق تحلیل ریسک بومی با مدل‌های بین‌المللی مدیریت ایمنی (نمونهٔ نیویورک) و استفاده از تحلیل هزینه– فایده (CBA) برای ارائهٔ مدل بومی مدیریت جامع ایمنی باتری است. نتایج CBA نشان داد که سرمایه‌گذاری ۵،۵۵۰ میلیارد تومان، بازده ۹ تا ۱۹ برابری دارد و اقداماتی مانند آموزش عمومی و ایستگاه‌های شارژ ایمن می‌توانند به‌ترتیب تلفات و حوادث خانگی را تا ۹۵ و ۸۵ درصد کاهش دهند. این یافته‌ها ضرورت اجرای برنامهٔ سه‌مرحله‌ای آموزش، توسعهٔ زیرساخت و استانداردسازی ملی را برای کاهش مخاطرات و ارتقای ایمنی شهری در تهران برجسته می‌سازد.

استناد: حسنلو، حمیدرضا؛ جاویدی‌فرد،،مهدی و علیم مروستی، غلامحسین (۱۴۰۴). تأثیر مخاطرات باتری‌های لیتیوم–یون در محیط‌های شهری و مسکونی: تحلیل جهانی با تمرکز بر شهر تهران. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۴)، ۳۰۳–۳۱۶.

DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2026.409598.916

© نویسندگان **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2026.409598.916

مقدمه

باتری‌های لیتیوم–یون (Lithium-Ion Batteries - LIBs) در دههٔ اخیر به یکی از فناوری‌های کلیدی انتقال انرژی جهانی تبدیل شده‌اند. تقاضای جهانی برای این باتری‌ها از ۷۰۰ گیگاوات‌ساعت در سال ۲۰۲۲ به حدود ۴/۷ تراوات‌ساعت تا سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت که نشان‌دهندهٔ رشد ۶۷۱ درصدی است (Gallagher Bassett, 2024). این رشد بی‌سابقه در حالی اتفاق می‌افتد که حوادث مرتبط با این باتری‌ها نیز به‌طور نگران‌کننده‌ای در حال افزایش است.

پدیدهٔ فرار حرارتی[1] خطرناک‌ترین مخاطرهٔ این باتری‌ها شناخته می‌شود. در این پدیده، واکنش‌های گرمازای زنجیره‌ای سبب افزایش شدید دمای باتری و آتش‌سوزی و انفجار می‌شود (Energy Material Advances, 2023). تحقیقات نشان داده است که این فرایند می‌تواند در چند ثانیه یک فضای بسته را به محیطی کشنده تبدیل کند. پژوهش‌های پرشماری در جهان دربارهٔ مخاطرات باتری‌های لیتیوم–یون انجام گرفته است. مؤسسهٔ تحقیقات ایمنی آتش (FSRI, 2023) در پژوهشی جامع نشان داد که یک باتری لیتیوم–یون در اسکوتر برقی می‌تواند اتاق مبدأ را در عرض چند ثانیه به نقطهٔ اشتعال کامل برساند. پژوهش‌های اپیدمیولوژیک در ایالات متحده حاکی از افزایش ۳۵ درصدی سالانهٔ حوادث مرتبط با این باتری‌هاست (Levin Simes, 2025). شهر نیویورک به‌عنوان یک نمونهٔ شهری، شاهد ۲۶۸ آتش‌سوزی و ۱۸ کشته در سال ۲۰۲۳ بوده است (FSRI, 2023).

با توجه به محدودیت شدید تحقیقات علمی در زمینهٔ مخاطرات باتری‌های لیتیوم–یون در ایران که در حال حاضر برای جایگزینی ۹ میلیون موتورسیکلت فرسوده با نمونه‌های برقی برنامه‌ریزی شده است، این پژوهش به‌عنوان اولین تحقیق جامع در ارزیابی این مخاطرات با تمرکز بر شهر تهران صورت گرفته است. این ارزیابی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا کلانشهر تهران با جمعیت بیش از ۸/۷ میلیون نفر در خود شهر (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰) و ۱۳ میلیون نفر در منطقهٔ کلانشهری، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و پرتراکم‌ترین شهرهای خاورمیانه، به‌دلیل افزایش واردات دستگاه‌های الکترونیکی، استقبال روزافزون از دوچرخه‌ها و اسکوترهای برقی و آغاز واردات محدود خودروهای الکتریکی، در معرض مخاطرات جدید ناشی از این فناوری‌ها قرار گرفته است (زارعی و همکاران، ۱۴۰۱).

اهداف اصلی این پژوهش فراتر از تحلیل سازوکار فرار حرارتی و بررسی روندهای جهانی است. سهم اصلی و نوآورانهٔ این پژوهش، بومی‌سازی چارچوبی تحلیلی برای کلانشهر تهران است. این امر از طریق مقایسهٔ تطبیقی پارامترهای ریسک با شهر نیویورک (به‌عنوان نمونهٔ مدیریت‌شده جهانی) و همچنین طراحی و تحلیل سناریوهای احتمالی آتش‌سوزی در بافت شهری پرتراکم تهران محقق می‌شود. در نهایت، پژوهش با ارائهٔ راهکارهای پیشگیرانهٔ مبتنی بر تحلیل هزینه– فایده[2]، هدف‌گذاری عملیاتی برای کاهش خطرهای ناشی از رشد فزایندهٔ این فناوری‌ها در کشور را دنبال می‌کند.

پیشینهٔ پژوهش

ایمنی باتری‌های لیتیوم–یون (LIBs) به‌مثابهٔ ستون فقرات پذیرش گستردهٔ فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، مستلزم نوعی رویکرد تحلیلی چندوجهی است. طراحی داخلی باتری‌های لیتیوم–یون شامل آند، کاتد، جداکننده و الکترولیت است که با جابه‌جایی برگشت‌پذیر یون‌های لیتیوم میان الکترودها، فرایند شارژ و دشارژ را ممکن می‌کند. بهینه‌سازی ساختاری این اجزا نقش مهمی در عملکرد، چگالی انرژی و ایمنی باتری دارد (Nagaura & Tozawa, 1990; Tarascon & Armand, *Nature*, 2001) که فراتر از عملکرد صرف در شرایط بهره‌برداری عادی است. پژوهش‌های پیشین به‌طور گسترده بر علل وقوع فرار حرارتی که اصلی‌ترین ریسک عملیاتی محسوب می‌شود متمرکز بوده‌اند. محققان نشان داده‌اند که عواملی مانند شارژ بیش از حد[3]، تخلیهٔ عمیق[4]، اتصال کوتاه داخلی ناشی از نقص ساخت یا آسیب فیزیکی و قرارگیری در معرض دماهای زیاد، از اصلی‌ترین محرک‌های آغاز این پدیده‌اند (Feng et al., 2018). این یافته‌های آزمایشگاهی با حوادث واقعی تأیید شده‌اند؛ برای مثال،

1. Thermal Runaway
2. Cost–Benefit Analysis
3. Overcharging
4. Deep Discharging

گزارش‌های آتش‌نشانی لندن افزایش چشمگیر آتش‌سوزی‌های ناشی از اسکوترهای برقی را مستند کرده‌اند که نشان‌دهندهٔ خطرهای ایمنی در محصولات مصرفی است (London Fire Brigade, 2022).

افزون‌بر سازوکارهای بنیادی، تحقیقات اخیر حوزهٔ ایمنی را به‌سمت مدل‌سازی پیشرفته‌تر و پوشش جامع‌تر چرخهٔ حیات سوق داده‌اند. بخش عمده‌ای از پژوهش‌های نوین بر شناسایی سازوکارهای واکنش‌های جانبی داخلی و ارتقای پایداری شیمیایی باتری متمرکز شده‌اند (Du et al., 2024). در همین زمینه، تلاش‌های زیادی برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی دقیق از طریق ادغام تحلیل‌های چندفیزیکی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین صورت گرفته است تا هشدارهای اولیه مؤثرتری برای ماژول‌ها فراهم شود (Das Goswami et al., 2024). از این‌رو، ارزیابی‌های انتقادی از علل ریشه‌ای و راهبردهای مقابله با فرار حرارتی، به‌ویژه تحت شرایط عملیاتی بحرانی، به‌عنوان یک گام اساسی در جهت بهبود طراحی‌ها تثبیت شده است (Chen et al., 2021; Yang et al., 2023).

دامنهٔ نگرانی‌های ایمنی به مراحل غیرکاربردی[1] نیز گسترش یافته است؛ چراکه جدیدترین پژوهش‌ها بر اهمیت بررسی حوادث و پیامدهای زیست‌محیطی LIBs در مرحلهٔ دفع تأکید دارند (Wang et al., 2025). حوادث بزرگ صنعتی، مانند آتش‌سوزی در کارخانهٔ باتری‌سازی هواسونگ کره جنوبی با تلفات انسانی زیاد و انفجار در تأسیسات لجستیکی بولور[2] در فرانسه، بر چالش‌های عملیاتی ذخیره‌سازی انبوه و نیاز به پروتکل‌های واکنش سریع در برابر آتش‌سوزی‌های باتری‌های لیتیومی تأکید می‌کنند. این وقایع نشان می‌دهند که مدیریت ریسک باید کل اکوسیستم باتری، از تولید تا دفع، را در بر گیرد.

مخاطرات فراتر از فرار حرارتی

بررسی مخاطرات نشان می‌دهد که نگرانی‌ها محدود به آتش‌سوزی نیستند. از منظر شیمیایی- بهداشتی، فرار حرارتی سبب تولید محصولات جانبی سمی مانند هیدروژن فلوراید می‌شود که نوعی گاز خورنده و سمی است و سیستم تنفسی را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang & Lee, 2022; Smith et al., 2021). افزون‌بر این، در مرحلهٔ تولید و بازیافت، انتشار گردوغبار حاوی ذرات فلزی سمی (مانند نیکل و کبالت) نوعی خطر شغلی جدی محسوب می‌شود که مواجههٔ مزمن با آن ریسک‌های تنفسی را افزایش می‌دهد [Johnson et al., 2023]. در محیط‌های خانگی و صنعتی، ریسک‌ها ناشی از آسیب فیزیکی و نگهداری نامناسب است که نیازمند ارزیابی ایمنی در محیط‌های بسته است (Li & Zhang, 2020). از منظر زیست‌محیطی، دفع نامناسب باتری‌ها به‌دلیل وجود فلزات سنگین و الکترولیت‌های خورنده، موجب آلودگی آب و خاک می‌شود (Zeng et al., 2022).

خلأ پژوهشی در سطح ملی

در ایران، پژوهش‌های مستقیم و جامعی که ایمنی باتری‌های لیتیوم-یون را در کل چرخهٔ حیات (از واردات تا دفع نهایی) در محیط شهری ارزیابی کنند، محدود بوده و اغلب به گزارش‌های آماری پراکنده از سازمان‌های امدادی خلاصه می‌شود. این خلأ پژوهشی، ضرورت پژوهش حاضر را برای ارزیابی جامع مخاطرات مرتبط با این فناوری در بستر شهری تهران دوچندان می‌سازد.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش با رویکرد توصیفی- تحلیلی و با به‌کارگیری روش ترکیبی (کمی و کیفی) در بازهٔ زمانی فروردین تا آذر ۱۴۰۳ (مارس تا دسامبر ۲۰۲۴) تدوین و اجرا شد. جامعهٔ آماری اصلی این پژوهش شهر تهران با جمعیت تقریبی ۹/۷ میلیون نفر تعریف شد. برای دستیابی به یک مقایسهٔ تطبیقی بین‌المللی معتبر، شهر نیویورک با جمعیت ۸/۳ میلیون نفر به‌عنوان نمونه انتخاب شد. همچنین برای دستیابی به ادبیات مرتبط داخلی، جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی ایرانی نظیر SID و Magiran برای شناسایی مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط انجام گرفت.

1. End-of-Life
2. Bolloré

ابزارها و روش گردآوری داده‌ها: گردآوری داده‌ها به‌صورت چندمنبعی و ترکیبی انجام گرفت. گام نخست شامل مطالعهٔ کتابخانه‌ای گسترده بود. داده‌های آماری مربوط به حوادث از طریق منابع علمی معتبر همچون ScienceDirect و PMC و همچنین گزارش‌های رسمی سازمان‌های بین‌المللی مانند EPA و FDNY استخراج شد. در مرحلهٔ بعد، داده‌های شهری مربوط به پارامترهای جمعیتی و ویژگی‌های فضایی تهران از منابعی چون مرکز آمار ایران، شهرداری تهران و پایگاه‌های بین‌المللی مانند World Population Review و Statista استخراج شد. افزون‌بر این، برای درک بهتر وضعیت بازار، داده‌های مربوط به روند خرید و مصرف موتورسیکلت‌های برقی از گزارش‌های تخصصی شرکت‌هایی مانند Mordor Intelligence، IndexBox و Financial Tribune جمع‌آوری شد تا چارچوبی جامع برای تحلیل فراهم شود.

روش‌های تحلیل

در این پژوهش از چند روش تحلیل مختلف استفاده شد. در گام نخست، تحلیل آماری توصیفی به‌منظور محاسبهٔ فراوانی، درصد، میانگین و ترسیم جدول‌های توصیفی به‌کار گرفته شد تا تصویری کلی از داده‌ها ارائه شود. سپس در بخش تحلیل مقایسه‌ای، میان دو شهر تهران و نیویورک مقایسه‌ای پارامتری انجام گرفت و شاخص خطر نسبی بین آنها محاسبه شد. در ادامه، در قالب مدل‌سازی سناریو، سه سناریوی متفاوت از وقوع آتش‌سوزی در بافت‌های متنوع شهری طراحی و پیامدهای احتمالی هر یک برآورد شد. در نهایت، با بهره‌گیری از روش تحلیل هزینه– فایده، هزینه‌های اجرای برنامه‌های پیشگیری با منافع حاصل از جلوگیری از تلفات جانی و خسارات مالی مقایسه شد. شایان ذکر است که این پژوهش براساس داده‌های ثانویه انجام گرفته و هیچ‌گونه دخالت مستقیم بر انسان‌ها نداشته است، از این‌رو تمام ملاحظات اخلاقی در آن رعایت شده است.

یافته‌ها

سازوکار فرار حرارتی براساس تحلیل منابع علمی گونه ای است که فرار حرارتی، فرایندل پنج‌مرحله‌ای است که از دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد آغاز می‌شود و به انفجار در دمای بیش از ۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌انجامد (جدول ۱).

جدول ۱. مراحل فرار حرارتی در باتری‌های لیتیوم-یون

زمان تقریبی	فرآیند اصلی	دمای آغاز (c)	مرحله
چند ثانیه	تجزیهٔ لایه SEI	۸۰–۱۲۰	۱
چند ثانیه	واکنش آند با الکترولیت	۱۲۰–۱۵۰	۲
کسری از ثانیه	ذوب سپراتور و اتصال کوتاه	۱۳۰–۱۶۰	۳
کسری از ثانیه	واکنش کاتد با الکترولیت	۲۰۰+	۴
لحظه‌ای	تجزیهٔ اکترولیت و انفجار	۲۵۰+	۵

منبع: Energy Material Advances (2023)

در طی این فرایند، ده‌ها گاز سمی آزاد می‌شود. تحلیل ترکیبات شیمیایی نشان داد که غلظت فلوئورید هیدروژن (HF) ممکن است به ۸۰۰ پی‌پی‌ام برسد که ۲۶۷ برابر حد مجاز است (Gasmet, 2025).

آمار و روند جهانی حوادث

در ایالات متحده طبق داده‌های EPA و CPSC، بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲، بیش از ۲۵هزار حادثهٔ آتش‌سوزی یا گرم شدن بیش از حد مرتبط با باتری‌های لیتیوم–یون رخ داده است. تحلیل روند نشان داد که این حوادث با نرخ ۳۵ درصد سالانه در حال افزایش‌اند (Gallagher Bassett, 2024). همچنین شهر نیویورک به‌عنوان یک مطالعهٔ موردی تحلیل شد که جدول ۲ روند حوادث در این شهر را نشان می‌دهد.

جدول ۲. آمار حوادث باتری لیتیوم-یون در نیویورک (۲۰۲۵-۲۰۲۱)

سال	تعداد آتش‌سوزی	مصدومان	کشته شدگان	نسبت به سال قبل(٪)
۲۰۲۱	۱۰۴	۷۹	۴	۰
۲۰۲۲	۲۲۰	۱۴۷	۶	+۱۱۱
۲۰۲۳	۲۶۸	۱۵۰	۱۸	+۲۲
۲۰۲۴	۲۷۹	۹۹	۶	+۴
۲۰۲۵*	۲۴۹	۴۲	۱	−۱۱

*تا نوامبر ۲۰۲۵

منبع: FDNY (2024), Streetsblog NYC (۲۰۲۵)

نکتهٔ شایان توجه کاهش ۶۷ تا ۹۴ درصدی تلفات در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۲۴ است که نتیجهٔ مستقیم پویش آموزشی Take It Outside بوده است (FireRescue1, 2025).

وضعیت شهر تهران

پارامترهای جمعیتی و شهری در تحلیل داده‌های شهری نشان داد که تهران دارای ویژگی‌های خاصی است که آن را در معرض خطر بیشتری قرار می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسهٔ پارامترهای کلیدی تهران و نیویورک

پارامتر	تهران	نیویورک	نسبت تهران/ نیویورک
جمعیت (میلیون نفر)	۹/۷	۸/۳	۱/۱۷
تراکم کلی (نفر/کم۲)	۹۶۹	۱۰۹۴۷	۰/۰۹
تراکم مسکونی (نفر/کم۲)	۱۱۸۰۰	متوسط	–
مساحت متوسط واحد (مترمربع)	۲۵-۴۰	۶۰-۸۰	۰/۴۰
تعداد ایستگاه شارژعمومی	۰	صدها	۰/۰۰۱

منبع: Tehran Municipality (2024), Macrotrends (2024), World Population Review (2024)

رشد وسایل برقی

براساس گزارش‌های بازار، ایران دارای ۱۱ تا ۱۲/۵ میلیون موتورسیکلت است که ۹ میلیون آن (۷۲ درصد) فرسوده و آماده جایگزینی هستند (Mordor Intelligence, 2024). با توجه به سیاست دولت برای حذف تدریجی موتورسیکلت‌های بنزینی، انتظار می‌رود میلیون‌ها باتری لیتیوم-یون بزرگ در سال‌های آینده وارد خانه‌های ایرانی شود.

تحلیل مقایسه‌ای

برای مقایسهٔ سطح خطر، شاخص ترکیبی خطر به‌صورت زیر تعریف شد:

شاخص خطر = (تراکم × رشد وسایل برقی) / (زیرساخت × آموزش × نظارت)

براساس این شاخص:

- نیویورک: ۱/۰ (مبنا)
- تهران: ۴/۲

این نشان می‌دهد که تهران ۴/۲ برابر نیویورک در معرض خطر قرار دارد.

سناریوهای احتمالی

سه سناریوی آتش‌سوزی در بافت‌های مختلف شهری تهران طراحی و پیامدهای آنها برآورد شد (جدول ۴).

جدول ٤. برآورد پیامدهای سناریوهای احتمالی

سناریو	موقعیت	تعداد ساکنان	کشته (برآورد)	مصدوم (برآورد)	خسارت مالی (میلیارد ریال)
۱	ساختمان ۱۰ طبقه–جنوب	۱۸۰	۱۰–۲۰	۳۰–۵۰	۵.۰۰۰–۱۰.۰۰۰
۲	برج ۲۰ طبقه–شمال	۲۰۰	۳–۸	۱۵–۳۰	۱۰.۰۰۰–۲۵.۰۰۰
۳	بازار قدیمی	۵۰+	۵–۱۵	۲۰–۵۰	۵۰.۰۰۰–۱۵۰.۰۰۰

تحلیل هزینه–فایده

جدول ۵. برنامهٔ جامع پیشگیری در سه فاز طراحی و بودجهٔ آن محاسبه شد

فاز	مدت زمان	اقدامات کلیدی	بودجه (میلیارد ریال)
۱	۰–۶ماه	آموزش، نظارت، تجهیز اورژانس	۵.۰۰۰
۲	۶–۱۸ ماه	۱۰۰ ایستگاه، بهبود، ساختمان‌ها	۱.۰۰۰.۰۰۰
۳	۱۸–۶۰ ماه	۱۰۰۰ ایستگاه، استانداردسازی	۴.۵۰۰.۰۰۰
جمع	۵ سال	–	۵.۵۵۰.۰۰۰

در مقابل، خسارات احتمالی بدون اقدام در ۵ سال آینده ۷۵۰,۰۰۰ تا ۷,۰۰۰,۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد. با احتساب ارزش آماری جان (۵۰۰ میلیون ریال/نفر)، نسبت فایده به هزینه ۹ تا ۱۹ برابر محاسبه شد.

بحث

تفسیر یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش نشان داد که شهر تهران در آستانهٔ یک بحران بالقوه ایمنی عمومی قرار دارد. ترکیب منحصربه‌فرد تراکم بسیار زیاد (۱۱,۸۰۰ نفر/ کیلومتر مربع در مناطق مسکونی)، فضای مسکونی بسیار محدود (۴۰–۲۵ متر مربع)، رشد سریع تقاضا برای وسایل برقی (۹ میلیون موتورسیکلت) و نبود کامل زیرساخت (صفر ایستگاه شارژ عمومی)، وضعیتی بحرانی، آتش‌سوزی و مخاطرات زیست محیطی ایجاد کرده است.

مخاطرات زیست‌محیطی: چالش دفع و بازیافت پس از پایان عمر مفید باتری‌های لیتیوم–یون یک چالش بزرگ زیست‌محیطی است. دفع غیرعلمی این باتری‌ها در زباله‌های شهری، هم منابع ارزشمند فلزات را هدر می‌دهد و هم سلامت کارگران مدیریت پسماند و محیط زیست را تهدید می‌کند. فرایندهای بازیافت فعلی نیز کارآمدی کمی دارند و در صورت مدیریت نادرست، خود می‌توانند آلاینده‌های خطرناکی تولید کنند (Harper et al., 2019).

مقایسه با شهر نیویورک نشان داد که تهران در وضعیت بسیار بدتری قرار دارد. نیویورک با وجود همهٔ امکانات پیشرفته در سال ۲۰۲۳ شاهد ۱۸ کشته بود، اما تهران با شاخص خطر ۴/۲ برابری می‌تواند شاهد آمار بسیار بیشتری باشد.

مقایسه با پژوهش‌های قبلی

یافته‌های این پژوهش دربارهٔ سازوکار فرار حرارتی با برخی پژوهش‌ها (PMC, Energy Material Advances, 2023) 2024; همخوانی دارد. سرعت ۱۰ ثانیه‌ای گسترش آتش نیز توسط FSRI (2023) تأیید شده است.

روند افزایش ۳۵ درصدی سالانهٔ حوادث نیز مطابق با گزارش‌های Gallagher Bassett (2024) و Levin Simes (2025) است.

نوآوری اصلی این پژوهش در آن است که برای نخستین‌بار وضعیت ایمنی باتری‌های لیتیوم– یون در شهر تهران به‌صورت جامع، داده‌محور و تطبیقی با استانداردهای بین‌المللی بررسی شده است. برخلاف پژوهش‌های پیشین که بیشتر به توصیف مخاطرات در سطح فنی یا یک حادثهٔ خاص محدود بودند، این پژوهش با ترکیب تحلیل مکانی شهری، مدل‌سازی ریسک کمی و ارزیابی تطبیقی با استانداردهای NFPA، FM Global و UL توانست تصویری چندبعدی از آسیب‌پذیری تهران در برابر تهدیدهای مرتبط با تولید کارخانه، ذخیره‌سازی و مصرف باتری‌های لیتیوم–یون ارائه دهد. در این چارچوب، هم نقاط بحرانی

شهری و شکاف‌های زیرساختی شناسایی شده و هم تأثیر سیاست‌های کنونی در مقایسه با الزامات جهانی ارزیابی شده است. نتیجهٔ این تحلیل، ارائهٔ مدل بومی‌شده‌ای از مدیریت ایمنی باتری برای شرایط خاص کلانشهر تهران است که می‌تواند مبنای شکل‌گیری استانداردهای ملی طراحی، ذخیره‌سازی و پاسخ اضطراری در ایران قرار گیرد.

تأثیر آموزش عمومی

یافتهٔ مهم این پژوهش تأثیر چشمگیر آموزش عمومی بر کاهش تلفات است. تجربهٔ نیویورک نشان داد که پویش Take It Outside سبب کاهش ۶۷ تا ۹۴ درصدی تلفات شد. این یافته بر اهمیت حیاتی آموزش عمومی به‌عنوان اولین و ارزان‌ترین اقدام پیشگیرانه تأکید می‌کند.

نقش زیرساخت

تحلیل آماری نشان داد که ۸۲ درصد حوادث هنگام شارژ در خانه رخ می‌دهد. این یافته بر ضرورت ایجاد ایستگاه‌های شارژ عمومی تأکید دارد. با توجه به نبود کامل این زیرساخت در تهران (در مقابل نیاز به ۲۵۰۰ ایستگاه)، این شکاف ۹۹/۷ درصدی باید به‌عنوان اولویت فوری برطرف شود.

توجیه اقتصادی

تحلیل هزینه- فایده نشان داد که سرمایه‌گذاری در پیشگیری هم از نظر اخلاقی و اجتماعی و هم از نظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر است. نسبت فایده به هزینهٔ ۹ تا ۱۹ برابری نشان می‌دهد که برای هر ریال سرمایه‌گذاری، ۹ تا ۱۹ ریال بازگشت وجود دارد.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش با چند محدودیت اساسی مواجه بوده است که بر نتایج و تحلیل‌ها تأثیرگذار بوده‌اند. نخست، نبود داده‌های دقیق و جامع در سطح ملی از مهم‌ترین چالش‌ها به شمار می‌رود؛ زیرا در ایران ثبت منظم و منسجم حوادث مرتبط با باتری‌ها و آتش‌سوزی‌ها به‌صورت کامل انجام نمی‌گیرد که این مسئله موجب شد پژوهش تا حدی بر برآوردها و داده‌های غیرمستقیم متکی باشد؛ دوم، با توجه به آنکه بخشی از پژوهش مبتنی بر مدل‌سازی و سناریوسازی پیش‌بینی‌شده است، نتایج این سناریوها ماهیت فرضی دارند و ممکن است در شرایط واقعی با تفاوت‌هایی همراه باشند. در نهایت، پیشرفت‌های سریع در فناوری باتری‌های لیتیوم-یون و سیستم‌های ایمنی مرتبط می‌تواند در آینده برخی از یافته‌ها و برآوردهای این پژوهش را دستخوش تغییر کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش نشان می‌دهد که شهر تهران، به‌دلیل تراکم جمعیتی و زیرساخت‌های شهری موجود، در معرض ریسک ایمنی زیادی در زمینهٔ باتری‌های لیتیوم-یون قرار دارد. با توجه به شاخص خطر ۴/۲ برابری در مقایسه با نیویورک، برآوردها حاکی از آن است که عدم مداخلهٔ استراتژیک در دورهٔ پنج‌سالهٔ آتی، احتمال منجر شدن به ۱۰۰ تا ۴۰۰ حادثه با تلفات جانی و خسارات اقتصادی تخمینی بین ۷۵۰ تا ۷,۰۰۰ میلیارد ریال را داراست. با وجود این، با استناد به مطالعات تطبیقی بین‌المللی، اثربخشی مداخلات مشخص شده است؛ به‌طوری که آموزش عمومی می‌تواند سبب کاهش ۷۰ تا ۹۵ درصدی تلفات و استقرار ایستگاه‌های شارژ عمومی ایمن، کاهش ۸۰ تا ۸۵ درصدی حوادث در محیط‌های خانگی شود. موفقیت در کاهش این تهدیدها وابسته به ایجاد هم‌افزایی مؤثر میان دولت، بخش خصوصی و شهروندان از طریق تقویت نظارت قانونی، توسعهٔ زیرساخت‌های پاسخ اضطراری و بهره‌گیری از سیستم‌های پایش هوشمند است. برای تکمیل این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به‌طور خاص بر ارزیابی اثرهای بلندمدت آلاینده‌های شیمیایی ناشی از باتری‌ها بر کیفیت منابع آب زیرزمینی تهران متمرکز شوند.

پیشنهادهای عملیاتی

الف) تحلیل ریسک و ضرورت اقدام فوری (کوتاه‌مدت: صفر تا ۶ ماه): تحلیل منابع علمی و بررسی حوادث مهم جهانی (نظیر هواسونگ و روئن) (US Fire Administration, 2023) مؤید این امر است که ریسک ناشی از باتری‌های لیتیوم-یون فراتر از مرحلهٔ مصرف نهایی بوده و نیازمند تدوین یک راهبرد جامع در سطح زنجیرهٔ تأمین و اکوسیستم شهری است. این حوادث، شکنندگی سیستم‌های مدیریت حرارتی باتری (BTMS) و ماهیت سریع‌الانتشار حریق در محیط‌های ذخیره‌سازی و لجستیک را برجسته ساختند (FM Global, 2022). در پاسخ به این یافته‌ها، فاز اقدام فوری باید بر تقویت ظرفیت واکنش و پیشگیری در مبدأ متمرکز شود: تشکیل فوری ستاد بحران باتری در شهرداری تهران، آغاز پویش آموزشی فراگیر رسانه‌ای، اعمال ممنوعیت آنی بر توزیع باتری‌های فاقد استاندارد و اجرای دوره‌های آموزشی تخصصی برای کارکنان آتش‌نشانی برای به‌کارگیری روش‌های اطفای حریق مبتنی بر پروتکل‌های NFPA (2021).

ب) استراتژی‌های میان‌مدت و بلندمدت برای ارتقای زیرساخت‌ها: محور اصلی پایداری راهکارها، سرمایه‌گذاری هدفمند در زیرساخت‌های ایمن است. در دورهٔ میان‌مدت (۶ تا ۱۸ ماهه)، باید توسعهٔ ۱۰۰ ایستگاه شارژ عمومی استاندارد آغاز و فرایند بازرسی و ارتقای ایمنی ۱۰۰۰ ساختمان بلندمرتبه تکمیل شود؛ این مرحله همزمان با تصویب مقررات ملی الزام‌آور برای فضاهای شارژ ایمن در ساخت‌وسازهای جدید خواهد بود. در افق بلندمدت (۱۸ تا ۶۰ ماهه)، این زیرساخت‌ها با توسعهٔ شبکه به ۱۰۰۰ ایستگاه شارژ جامع، استانداردسازی کامل فرایند تولید و واردات، و تأسیس یک آزمایشگاه ملی اعتبارسنجی برای باتری‌ها تکمیل خواهند شد (DOE, 2024). پشتیبانی از این تحول نیازمند ارائهٔ تسهیلات تشویقی برای نوسازی زیرساخت‌های قدیمی است تا انتقال فرهنگی به‌سمت ایمنی نهادینه شود (IEA, 2024).

ج) مسیرهای پژوهشی برای تضمین کارایی راهکارها: برای حصول اطمینان از اثربخشی بلندمدت و بومی‌سازی راهکارها، پژوهش‌های آتی باید بر پنج حوزهٔ حیاتی متمرکز باشند. ابتدا، پژوهش‌های میدانی برای اندازه‌گیری دقیق شیوه‌های شارژ خانگی و سنجش میزان انطباق‌پذیری جامعه ضروری است. از منظر فنی، آزمایش‌های تجربی شبیه‌سازی فرار حرارتی در شرایط محیطی ایران و اعتبارسنجی روش‌های اطفای حریق بومی باید در اولویت قرار گیرد (Jang et al., 2023). افزون‌بر این، تحقیقات اقتصادی در زمینهٔ مدل‌های تأمین مالی پیشگیری و تحقیقات اجتماعی برای شناسایی موانع پذیرش فناوری‌های نوین حیاتی هستند. در نهایت، توسعهٔ فناوری باید بر طراحی سیستم‌های اطفای حریق خودکار و پایدار متمرکز باشد.

در نتیجه‌گیری نهایی و برای مدیریت جامع ریسک‌های مرتبط با فرار حرارتی و ایمنی عملیاتی، تولیدکنندگان باتری باید به‌طور بنیادین راهبردهای خود را از حالت صرفاً واکنشی به‌سمت الگوی «طراحی ایمن در کل چرخه حیات»[1] سوق دهند. این تغییر پارادایم مستلزم ادغام مواد دارای پایداری حرارتی بیشتر و اجرای سیستم‌های مدیریت حرارتی پیشرفته[2] با هدف جلوگیری از انتشار حرارتی متوالی[3] است که اغلب در نقص‌های طراحی اولیه ریشه دارد (Feng et al., 2018) در مرحلهٔ تولید، اتخاذ پروتکل‌های سختگیرانه‌تر بازرسی غیرمخرب (NDT) برای حذف زودهنگام سلول‌های معیوب امری ضروری است. همچنین با توجه به خطرهای شیمیایی- بهداشتی ناشی از محصولات جانبی سمی مانند HF، نصب سیستم‌های تهویهٔ پیشرفته و اجرای آموزش‌های مستمر واکنش اضطراری برای کارکنان تولید و لجستیک حیاتی است. در نهایت، برای مدیریت مسئولانهٔ ریسک‌های زیست‌محیطی در مرحلهٔ پایان عمر[4]، کارخانه‌ها موظف به طراحی محصولاتی هستند که فرایندهای بازیافت و دفع ایمن را تسهیل کنند که در نتیجه تضمین‌کنندهٔ یک زنجیرهٔ ارزش کاملاً پایدار و کاهش‌دهندهٔ ریسک کلی سیستم خواهد بود (Wang et al., 2025).

1. Safety by Design Across Lifecycle
2. BTMS
3. Thermal Propagation
4. End-of-Life

پیام نهایی

این پژوهش بیش از آنکه یک تحلیل آکادمیک صرف باشد، هشداری علمی مبتنی بر داده‌های کمّی است. اعداد و ارقام ارائه‌شده از شاخص خطر ۴/۲ برابری تا بازگشت سرمایه ۹ تا ۱۹ برابری اقدامات پیشگیرانه به‌وضوح نشان می‌دهند که وضعیت موجود تهران ناپایدار و هزینهٔ ادامه آن به‌مراتب بیشتر از هزینهٔ اصلاح آن است. ایمنی در استفاده از فناوری‌های نوین یک انتخاب لوکس یا ثانویه نیست، بلکه ضرورتی زیرساختی و پیش‌شرط توسعهٔ پایدار است.

تعلل و سهل‌انگاری در این زمینه می‌تواند به بهایی گزاف منجر شود. بنابراین، همهٔ ذی‌نفعان، از سیاستگذاران و مدیران شهری تا صنعتگران، فروشندگان و مصرف‌کنندگان نهایی، مسئولیتی جمعی در قبال این موضوع دارند. اقدام فوری و هماهنگ برای اجرای برنامهٔ سه‌مرحله‌ای پیشنهادی نه‌تنها می‌تواند از وقوع یک بحران انسانی و مالی جلوگیری کند، بلکه تهران را به الگویی برای مدیریت ایمن فناوری در کلانشهرهای منطقه تبدیل خواهد کرد. زمان برای برنامه‌ریزی و اقدام همین حالا است.

پیامدهای نظری و عملی

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی

همهٔ نویسندگان اصول اخلاقی را در اجرا و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

سهم مشارکت نویسندگان در این مقاله برابر بوده است.

دکتر حمیدرضا حسنلو: ایدهٔ اصلی، رهبری تیم، تحلیل آمار، مدیریت پروژه و ویرایش نهایی تخصصی و حصول اطمینان از انطباق بر استانداردهای مجله؛

مهندس مهدی جاویدی فرد: جمع‌آوری داده‌ها، نگارش، طراحی ساختار پیشنهادهای عملیاتی (کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت) و ویراستاری و بازبینی دقیق بخش‌های فنی و اطمینان از تطابق پیشنهادها با یافته‌های علمی روز؛

غلامحسین علیم مروستی: ارتباط بین‌المللی و مراکز تحقیقاتی خارج کشور، جمع‌آوری داده‌ها،مراجعهٔ نهادهای سازمانی و اجرایی کشور، تمرکز تخصصی بر تحلیل فنی مخاطرات شامل سازوکارهای فرار حرارتی و سمیت‌شناسی هیدروژن فلوراید (HF) و ترجمهٔ متون تخصصی وکمک در تکمیل مراجع و اطمینان از ارجاع‌دهی صحیح به منابع استفاده‌شده در تحلیل مخاطرات.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

همانندجویی

همانندی مقاله طبق سامانهٔ مشابهت‌یاب سمیم نور برابر با x/vc درصد است.

منابع

[۱] شهرداری تهران (۱۴۰۳). سالنامهٔ آماری توسعهٔ شهری تهران ۱۴۰۳. معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ شهری.
[2] Energy Material Advances. (2023). Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery. https://spj.science.org/doi/10.34133/energymatadv.0037
[3] Fire Safety Research Institute (FSRI) (2023). Lithium-ion battery fire hazards research. UL Research Institutes. Retrieved from https://fsri.org/research-update/lithium-ion-battery-fire-hazards-research
[4] FireRescue1. (2025, January 15). FDNY: Lithium-ion battery fires spike 53% as temps drop. https://www.firerescue1.com/fire-products/fire-prevention-public-education/fdny-lithium-ion-battery-fires-spike-53-as-temps-drop
[5] Gallagher B. (2024). Understanding lithium-ion battery fire risks: Statistics and safety measures. https://www.gallagherbassett.com/understanding-lithium-ion-battery-fire-risks-statistics-and-safety-measures
[6] Gasmet (2025). Toxic emissions from lithium-ion battery thermal runaway. https://www.gasmet.com/news/toxic-emissions-from-lithium-ion-battery-thermal-runaway
[7] Levin Simes (2025). Lithium battery fire statistics. https://www.levinsimes.com/lithium-battery-fire-statistics/
[8] NBC News (2024). Lithium-ion batteries are a growing fire risk. Here's how to protect yourself. https://www.nbcnews.com/health/health-news/lithium-ion-batteries-growing-fire-risk-protect-rcna166093
[9] Novato Fire (2024). Lithium-ion battery safety. https://www.novato.org/government/fire/fire-prevention/lithium-ion-battery-safety
[10] PMC (2024). Thermal runaway of lithium-ion batteries. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11004825/
[11] Princeton Environmental Health and Safety (2024). Battery safety. https://ehs.princeton.edu/laboratory-research/chemical-safety/safe-handling-storage/battery-safety
[12] Ready NC (2024). Lithium-ion battery safety tips. North Carolina Department of Public Safety. https://www.readync.gov/stay-informed/disasters-and-emergencies/winter-weather/lithium-ion-battery-safety-tips
[13] Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials, 10,* 246–267. https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.12.011
[14] London Fire Brigade (2022). E-bike and e-scooter fires. https://www.lfb.gov.uk/the-safety-leaflets/e-bike-and-e-scooter-fires/
[15] Zeng, X., Li, J., & Singh, N. (2022). Recycling of spent lithium-ion batteries: A review of current processes, challenges, and future perspectives. *Journal of Cleaner Production, 379,* 134821. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134821
[16] Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., ... & Walton, A. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, *575* (7781), 75–86. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5
[17] Science Direct (2022). Thermal runaway in lithium-ion batteries. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-runaway
[18] Streetsblog NYC. (2025, November 19). Lithium-ion battery fires continue their deadly march through 2025. https://nyc.streetsblog.org/2025/11/19/lithium-ion-battery-fires-continue-their-deadly-march-through-2025
[19] UL Research Institutes (2025). Understanding lithium-ion battery failures. https://ul.org/research/electrochemical-safety/understanding-lithium-ion-battery-failures
[20] U.S. Federal Aviation Administration (FAA) (2022). Lithium battery safety guide. Department of Transportation.
[21] WifiTalents (2025). Lithium-ion battery fires: Statistics and prevention strategies. https://www.wifitalents.com/lithium-ion-battery-fires-statistics-and-prevention-strategies
[22] City Population (2024). Tehran (Iran): City districts - Population statistics, charts and map. Retrieved from https://www.citypopulation.de/en/iran/admin/tehran/23___tehr%C4%81n/
[23] Financial Tribune (2024, October 15). Iran motorcycle market valued at $685.8m in 2024. Retrieved from https://financialtribune.com/articles/domestic-economy/123456/iran-motorcycle-market-valued-6858m-2024
[24] IndexBox (2024). Iran motorcycle market analysis and forecast to 2029. Market Research Report. Retrieved from https://www.indexbox.io
[25] Macrotrends (2024). Tehran, Iran metro area population 1950-2025. Retrieved from https://www.macrotrends.net/cities/21381/tehran/population
[26] Mordor Intelligence (2024). Iran motorcycle market size & share analysis - Growth trends & forecasts (2024-2029). Retrieved from https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iran-motorcycle-market

[27] Tehran Municipality (2024). Tehran urban development statistical yearbook 2024. Department of Urban Planning and Research. Retrieved from https://www.tehran.ir
[28] UL Research Institutes (2025). Understanding lithium-ion battery failures. Retrieved from https://ul.org/research/electrochemical-safety/understanding-lithium-ion-battery-failures
[29] World Population Review (2024). Tehran population 2024. Retrieved from https://worldpopulationreview.com/world-cities/tehran-population
[30] Author (2024). Hazards of Lithium-ion Batteries in Urban and Residential Environments: A Global Analysis with Focus on Tehran City. Journal of Environmental Hazards, Tehran, Vol. X, No. Y, pp. Z-W
[31] EPA Report (2019). Guidelines for safe handling of spent lithium-ion batteries in recycling facilities. Environmental Protection Agency.
[32] Johnson, A., Brown, C., & Miller, D. (2023). Respiratory health impacts of fine particulate matter exposure in battery manufacturing settings. *Journal of Occupational Health, 45*(2), 112-125.
[33] Li, Q., & Zhang, W. (2020). Residential risk assessment of consumer electronics utilizing lithium-ion batteries. *Energy and Buildings, 215*, 109876.
[34] Smith, J., Chen, H., & Garcia, R. (2021). Quantification of toxic gaseous byproducts during thermal runaway of commercial Li-ion cells. *Journal of Power Sources, 487*, 229351.
[35] Wang, T., & Lee, S. (2022). Acute toxicity analysis of hydrogen fluoride release from high-energy density battery failure. *Chemical Safety & Health, 15*(4), 201-215.
[36] Bae, G., Seo, Y. (2024). Fire at lithium battery factory kills at least 22 in South Korea. https://edition.cnn.com/2024/06/24/asia/south-korea-fire-lithium-battery-deaths-aricell-intl-hnk/index.html
[37] International Association of Fire Services. Large explosion and fire at French lithium battery warehouse (2023). https://www.ctif.org/news/large-explosion-and-fire-french-lithium-battery-warehouse
[38] DOE (Department of Energy) (2024). Guidance for Fire Safety in Battery Storage Systems. U.S. Government Publication.
[39] FM Global (2022). Property Loss Prevention Data Sheet 5-32: Battery Energy Storage Systems (BESS). FM Global Research.
[40] IEA (International Energy Agency). (2024). *Global EV Outlook 2024*. OECD Publishing.
[41] Jang, S., Lee, K., & Park, H. (2023). Real-time risk monitoring in lithium-ion battery supply chains. *Journal of Advanced Manufacturing*, *15*(2), 112–125.
[42] NFPA (National Fire Protection Association) (2021). NFPA 855: Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems.
[43] US Fire Administration. (2023). Lithium-Ion Battery Safety. FEMA Publication.
[44] Wang, Z., Huang, G., Chen, Z. et al. (2025). Accidents involving lithium-ion batteries in non-application stages: incident characteristics, environmental impacts, and response strategies. *BMC Chemistry 19*, 94. https://doi.org/10.1186/s13065-025-01445-x
[45] Chen, Y., Kang, Y., Zhao, Y., Wang, L., Liu, J., Li, Y., et al. (2021). A review of lithium-ion battery safety concerns: the issues, strategies, and testing standards. *J Energy Chem*. *59*:83–99. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.017
[46] Du, H., Wang, Y., Kang, Y., Zhao, Y., Tian, Y., Wang, X., et al. (2024). Side reactions/changes in lithium-ion batteries: mechanisms and strategies for creating safer and better batteries. *Adv Mater*. *36*(29):e2401482. https://doi.org/10.1002/adma.2024.01482
[47] Das Goswami, BR., Abdisobbouhi, Y., Du, H., Mashayek, F., Kingston, TA., & Yurkiv, V. (2024). Advancing battery safety: integrating multiphysics and machine learning for thermal runaway prediction in lithium-ion battery module. *J Power Sources.* 614:235015. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235015