

کاربرد تحلیل عاملی اکتشافی در تعیین عوامل الکتریکی موثر در آتش سوزی های شهری

(مطالعه موردی: کلانشهر مشهد)

حسن سلمانی بیدسکان^۱، احمد گائینی^۲، حسین اقبالی^۳

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه ایوان کی، ایوان کی، ایران ha.salmani.b59@gmail.com

^۲ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران a.gaeni20@gmail.com

^۳ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه ایوان کی، ایوان کی، ایران education@eyc.ac.ir

چکیده:

این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل الکتریکی مؤثر بر وقوع آتش سوزی های شهری در کلانشهر مشهد انجام شده است. با توجه به سهم غالب آتش سوزی با منشأ جریان برق و عوامل الکتریکی، درک ساختار عاملی این دسته از حریق‌ها می‌تواند به طراحی برنامه‌های ایمنی و راهکارهای پیشگیرانه مؤثر و هدفمند کمک شایانی نماید. این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است که با روش تحلیل عاملی اکتشافی انجام شده است. در این تحقیق ابتدا از 50/000 داده آماری ثبت شده عملیات های اطفاء حریق سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد طی سالهای ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۳ استفاده شد. داده های مربوط به علل و منشأ وقوع آتش سوزی در ۲۵ مؤلفه مختلف و تعداد ۱۱۰ مورد نمونه دسته بندی گردیدند. کفایت نمونه و مناسب بودن ماتریس همبستگی در آتش سوزی با $KMO=0.888$ و آزمون بارتلت $\chi^2(300)=2314.183, p<0.001$ تأیید گردید. برای تعیین تعداد عوامل از ترکیب معیار مقادیر ویژه بزرگتر از ۱، نمودار اسکری و تفسیرپذیری نظری استفاده شد. تحلیل عاملی اکتشافی، پنج عامل اصلی برای دسته آتش سوزی ها شناسایی کرد که در مجموع ۷۵٪ از واریانس را تبیین می‌کنند. اصلی ترین عامل گرمای اجزای شبکه توزیع برق و مشکلات الکتریکی وسایل برقی (۴۶.۹۶٪) است. این عامل که به تنهایی نزدیک به ۵۰ درصد از واریانس کل را تبیین می‌کند، به وضوح عامل اصلی در وقوع آتش سوزی های شهر مشهد شناسایی گردید. مؤلفه های با بار عاملی بسیار بالا در این عامل، همگی متداول ترین اشکالات و نقص های الکتریکی هستند که مؤلفه هایی چون اتصال سیم ها، کشیدن بار اضافی از شبکه برق، جرقه زدن وسایل برقی و اشکالات در سیستم وسایل برقی غیر استاندارد و فرسوده را شامل می‌گردد. عوامل اصلی دیگر وقوع آتش سوزی های شهر مشهد شامل بی احتیاطی و رفتارهای پرخطر انسانی (۸.۱۳٪)، اشتعال مایعات و گازهای قابل اشتعال (۵.۹۷٪) و فعالیت های روزانه پریسک (۵.۰۷٪) می باشند.

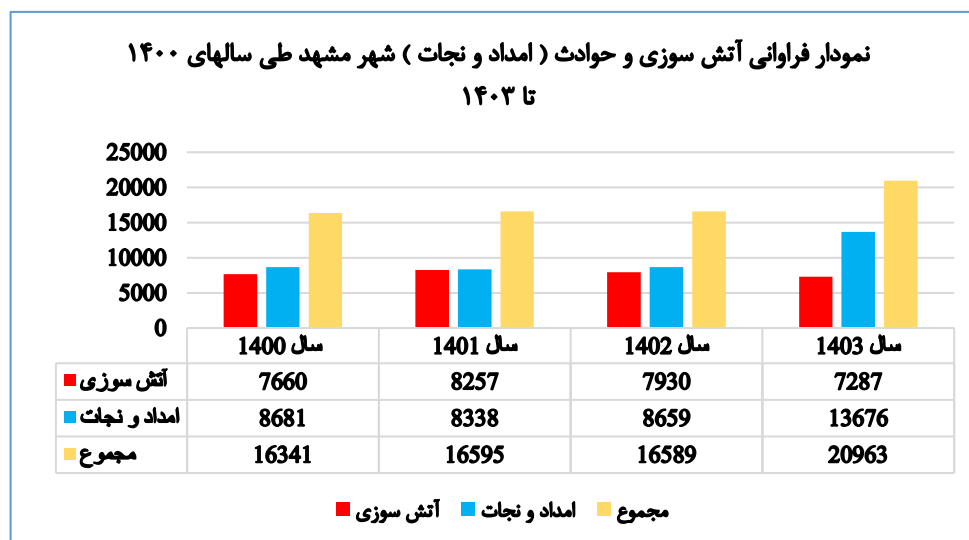
کلمات کلیدی: آتش سوزی، جریان برق، تحلیل عاملی اکتشافی، ایمنی شهری، عوامل الکتریکی

۱. مقدمه

شهرها به‌عنوان مراکز اصلی تجمع جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، همواره در معرض خطرات و تهدیدات مختلفی قرار دارند. یکی از این تهدیدات که می‌تواند تأثیرات مخرب گسترده‌ای بر زیرساخت‌های شهری و زندگی ساکنان داشته باشد، خطرات حریق و حوادث شهری است. در میان این مخاطرات، آتش‌سوزی‌های شهری به ویژه آن دسته که منشأ الکتریکی دارند، به دلیل پیامدهای فاجعه‌بار جانی، مالی و زیست‌محیطی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. گسترش شتابان شهرنشینی، افزایش تراکم جمعیت، فرسودگی زیرساخت‌ها و وابستگی روزافزون به تجهیزات و سیستم‌های برقی، احتمال وقوع این حوادث را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. همچنین بافت‌های فرسوده و فقدان برنامه‌ریزی پیشگیرانه در برخی مناطق، آن‌ها را به کانون‌های بالقوه خطر تبدیل کرده‌اند. (Power, M. 2023)

در کشور ما سالیانه حدود ۳۰۰۰ نفر در اثر آتش‌سوزی کشته شده و بالغ بر میلیاردها تومان خسارت بر جامعه تحمیل می‌شود (ستاره و کوهپایی، ۱۳۹۱). اما بررسی‌های مختلف حاکی از این است که قریب ۸۰ - ۷۵ درصد آتش‌سوزی‌ها قابل پیش‌بینی و پیش‌گیری هستند و در بقیه موارد با مجهز شدن به مؤثرترین ادوات و تجهیزات آتش‌نشانی روز که همواره در حال تحول و تکامل است، می‌توان میزان خسارات را به حداقل ممکن تقلیل داد. (مرجانی، سید عباس، ۱۳۹۲)

شهر مشهد به واسطه وجود بارگاه نورانی حضرت علی بن موسی الرضا علیه السلام سالانه پذیرای میلیون‌ها زائر از داخل و خارج از کشور است، امکانات وسیعی شامل فرودگاه بین‌المللی فعال با پروازهای متعدد داخلی و خارجی، دومین ایستگاه پر تردد و فعال قطار کشور بعد از شهر تهران، پایانه مدرن مسافربری و شبکه حمل و نقل برون شهری و درون شهری، وجود بزرگراه و جاده‌های مناسب، بیشترین تعداد هتل‌ها و مهمان‌پذیرها در سطح کشور بصورتی که که آمار اماکن اقامتی مشهد حدود ۳۰۰۰ مورد (که بیش از ۵۱٪ اماکن اقامتی کشور را شامل می‌شود)، ۳۳۰ مورد اماکن تجاری بزرگ و بیش از ۱۲۶۰۰۰ صنف با فعالیتهای متنوع و... در شهر مشهد و وجود جاذبه‌های طبیعی، تاریخی و گردشگری، سالانه پذیرای بطور میانگین ۲۷ میلیون زائر داخلی و ۲ میلیون زائر خارجی می‌باشد که این رشد همه جانبه شهر مشهد باعث بروز بیش از ۲۰/۰۰۰ مورد آتش‌سوزی و حوادث مختلف در سال ۱۴۰۳ گردیده بطوریکه تعداد ماموریت‌های اعزامی سازمان آتش‌نشانی مشهد بیش از ۷۰۰۰ مورد عملیات اطفاء حریق بوده است. (شکل ۱: داده‌های آماری حریق و حوادث سالیانه شهر مشهد)



شکل ۱. نمودار فراوانی آتش سوزی و حوادث (امداد و نجات) شهر مشهد طی سالهای ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳

۲. بیان مساله

در دنیای مدرن امروز، جریان برق به شریان حیاتی توسعه تبدیل شده است؛ اما همین عامل، در صورت وجود نقص در طراحی، نصب، نگهداری یا استفاده نادرست، می‌تواند به یکی از عوامل اصلی وقوع آتش سوزی تبدیل شود. بر اساس گزارش‌های سازمان‌های معتبر بین‌المللی مانند انجمن حفاظت از حریق آمریکا (NFPA)^۱، سهم عوامل الکتریکی در بروز آتش سوزی‌های ساختمانی بسیار قابل توجه است. به عنوان مثال، عواملی چون اتصال کوتاه، اضافه بار، ایجاد قوس الکتریکی، افزایش مقاومت در اتصالات و استفاده از تجهیزات غیراستاندارد، از جمله شایع‌ترین دلایل آتش سوزی‌های با منشأ برق هستند.

(Babrauskas, V.2020)

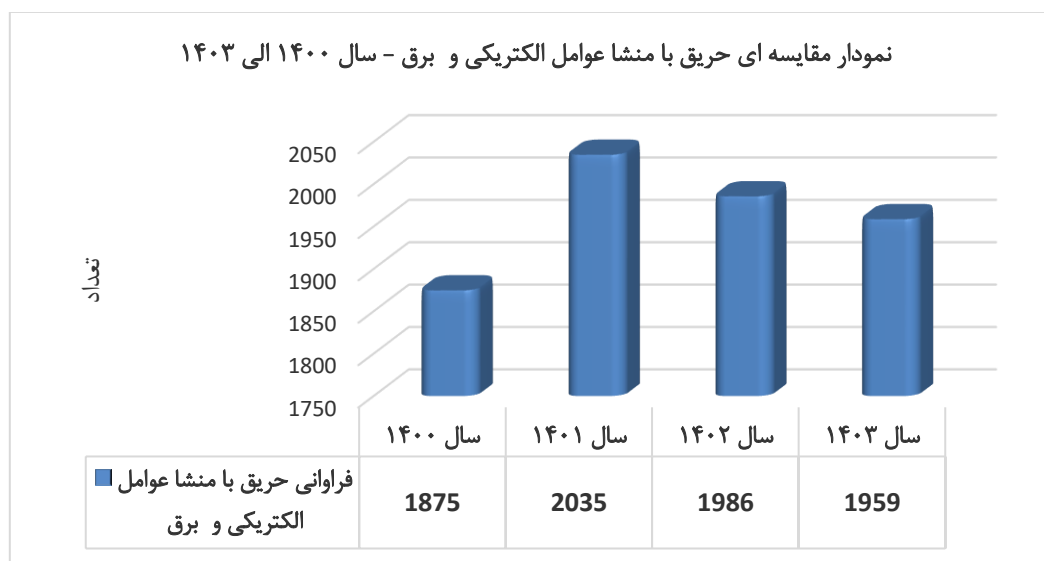
با توجه به چالش‌هایی چون فرسودگی شبکه توزیع برق در بافت‌های قدیمی، توسعه شهری بدون ارتقای متناسب ظرفیت شبکه، و فرهنگ نادرست استفاده از وسایل برقی، این خطر به شکل مضاعفی خودنمایی می‌کند. با توسعه فناوری و گسترش روزافزون استفاده از انرژی برق در زندگی شهری، وابستگی جامعه به سیستم‌ها و تجهیزات الکتریکی به طور چشمگیری افزایش یافته است. اگرچه این توسعه، رفاه و آسایش را برای شهروندان به ارمغان آورده، اما در مقابل، خطر وقوع آتش سوزی‌های ناشی از عوامل الکتریکی نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته است. آتش سوزی‌های با منشأ الکتریکی، نه تنها خسارات مالی گسترده‌ای به بار می‌آورند، بلکه جان شهروندان را نیز به طور جدی تهدید می‌کنند.

این تحقیق با هدف بررسی دقیق علل وقوع آتش سوزی‌ها در مناطق ۱۳ گانه شهر مشهد، از حدود ۵۰/۰۰۰ داده عملیاتی‌های اطفاء حریق ثبت شده سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری مشهد طی بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ بهره گرفته و با استفاده از این داده‌های میدانی، در پی آن است تا مهم‌ترین عوامل الکتریکی مؤثر در آتش سوزی‌های این کلانشهر را شناسایی، دسته‌بندی و اولویت‌بندی نماید. دستاوردهای این تحقیق می‌تواند نقشه راهی علمی برای برنامه‌ریزان شهری، مدیران ایمنی و

¹ National Fire Protection Association (NFPA)

سازمان‌های ذی‌ربط فراهم آورد تا با اتخاذ راهکارهای پیشگیرانه هدفمند، زمینه کاهش چشمگیر این آتش سوزی‌ها و ارتقای ایمنی الکتریکی در فضای شهری را فراهم سازند. کلاتشهری مانند مشهد، با ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله حضور سالانه میلیون‌ها زائر، تراکم بالای جمعیت، اختلاط کاربری مسکونی و تجاری-کارگاهی و وجود اماکن اقامتی و تجاری فراوان، بیش از دیگر شهرها در معرض تهدید آتش سوزی‌های الکتریکی قرار دارد. آمارهای سازمان آتش‌نشانی این شهر گواه آن است که سهم قابل توجهی از عملیات اطفاء حریق، مربوط به حوادثی با منشأ عوامل الکتریکی و برقی (مواردی همچون اتصالات نادرست سیم‌کشی، اضافه‌بار شبکه برق، استفاده از دستگاه‌های غیراستاندارد، فرسودگی تجهیزات و وسایل برقی، و عدم نگهداری صحیح و سرویس دوره‌ای پیشگیرانه) است. (شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای حریق با منشأ عوامل الکتریکی و برق شهر مشهد)

علاوه بر این، جدول آماری مقایسه‌ای ۱، نشان می‌دهد که علل وقوع آتش سوزی ناشی از عوامل الکتریکی بین سالهای ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ مربوط به سه عامل پر تکرار می‌باشد که مهمترین عامل ناشی از حریق با منشأ گرمای اجزای شبکه توزیع برق (سیم، کابل، سیم پیچ، باتری، کلید پریز) و مشکلات لوازم روشنایی و برقی (انواع لامپ و المنت، اتو، سشوار و لوازم صوتی و تصویری) است. (جدول ۱)



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای حریق با منشأ عوامل الکتریکی و برق - سال ۱۴۰۰ الی ۱۴۰۳ (شهر مشهد)

جدول ۱: جدول آماری فراوانی علل وقوع آتش سوزی ناشی از عوامل الکتریکی بین سالهای ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳

مجموع هر سطر	الکتریسته ساکن	سایر لوازم برقی (اتو، ششوار، فن، لوازم صوتی و تصویری، رایانه و ...)	لوازم روشنایی یا گرمایشی برقی (انواع لامپ، المنت، پتوی برقی و ...)	گرمای اجزای شبکه توزیع برق (سیم، کابل، سیم پیچ، باتری، کلید پریز)	
۱۸۷۵	۸	۱۳۳	۶۶	۱۶۶۸	سال ۱۴۰۰
۲۰۳۵	۵	۱۶۲	۷۹	۱۷۸۹	سال ۱۴۰۱
۱۹۸۶	۴	۱۳۷	۶۴	۱۷۸۱	سال ۱۴۰۲
۱۹۵۹	۲	۱۵۵	۶۶	۱۷۳۶	سال ۱۴۰۳
۷۸۵۵	۱۹	۵۸۷	۲۷۵	۶۹۷۴	مجموع هر ستون

حال با توجه به سهم غالب و رو به رشد حریق‌های با منشأ جریان برق، درک ساختار عاملی و شناسایی علل پنهان و اصلی این دسته از آتش سوزی‌ها برای طراحی برنامه‌های ایمنی، راهکارهای پیشگیرانه مؤثر و هدفمند و نجات جان و مال شهروندان امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. با وجود اهمیت موضوع، تاکنون مطالعه جامع و نظام‌مندی که به طور خاص به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل الکتریکی مؤثر در وقوع آتش سوزی‌های شهری با استفاده از داده‌های میدانی و روش‌های علمی پیشرفته پرداخته باشد، در کشور انجام نشده است. این شکاف پژوهشی، برنامه‌ریزی برای پیشگیری و مدیریت ریسک را با چالش مواجه کرده است.

لذا در این تحقیق سعی گردیده علاوه بر رفع ضعف پژوهش‌های قبلی مرتبط در دسترسی به داده‌های عملیاتی واقعی و جامع، با استفاده از روش تحلیل عاملی اکتشافی یک مبنای علمی برای شناسایی اولویت‌های علل الکتریکی وقوع حریق‌های شهری ایجاد گردد که قطعا با اقداماتی همچون برنامه‌ریزی در خصوص آموزش‌های ایمنی شهروندان و افزایش سطح توانمندی و آگاهی آنان به اقدامات پیشگیرانه، بهبود کیفیت ایمنی بناها و افزایش فرآیندهای نظارتی، کنترل، سرویس و نگهداری دوره‌ای تجهیزات ایمنی ساختمان‌ها می‌توان در کنترل و کاهش تعداد حریق و حوادث و همچنین خسارات جانی و مالی ناشی از آن مؤثر و چاره‌ساز واقع شد.

۲.۱. سوالات تحقیق

- علل و منشأ اصلی وقوع آتش سوزی‌ها در فضاهای مختلف شهری مشهود چه عواملی هستند؟
- اولویت‌بندی بین عوامل و مولفه‌های مؤثر بر وقوع آتش سوزی‌های شهری مشهود چگونه است؟
- علل و مولفه‌های بروز آتش سوزی‌های با منشأ جریان برق و الکتریسته چه مواردی می‌باشند؟
- پیشنهادات و راهکارها جهت کنترل و کاهش آتش سوزی‌های شهری (به طور خاص آتش سوزی با منشأ جریان برق و الکتریسته) کدام موارد می‌باشند؟

۳. پیشینه تحقیق

در این بخش به بررسی و مطالعه تعدادی از تحقیقات و مقالات خارجی و داخلی مرتبط با موضوع می‌پردازیم.

در این پژوهش با استفاده از رویکرد تحلیل عاملی به شناسایی ریسک حریق در ساختمان‌های بلند پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد که هفت ریسک اصلی به نام‌های ریسک عوامل فاجعه‌ساز، ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان، ریسک تیپ اطفاء حریق، ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق، ریسک رفتار انسانی، ریسک عملکرد حریق ساختمان و ریسک تخلیه ایمنی حریق شناسایی و تایید شدند. در زمینه ریسک عوامل فاجعه‌ساز نویسندگان بیان کرده‌اند که فقدان سیستم حفاظت رعدوبرق، تراکم ساکنین، ارتفاع ساختمان، عمر ساختمان، تجهیزات الکتریکی، کاربری ساختمان و شرایط آب و هوایی منطقه بر وقوع آتش‌سوزی تاثیر گذارند. (عادلی زاده، م. س. م. شبیری، ۱۳۹۸).

در مقاله‌ای به تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی حوادث آتش‌سوزی مختلف در شهر مانیلا از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ پرداخته شد. فراوانی وقوع حوادث آتش‌سوزی بر اساس کد علت‌های مختلف در بازه‌های زمانی ساعتی، روزانه، فصلی و سالانه بررسی شده است. نتایج نشان داده‌اند که حوادث آتش‌سوزی ناشی از خرابی در اتصالات الکتریکی در فاصله زمانی ۴ تا ۸ عصر دارای بیش‌ترین فراوانی وقوع هستند. هم‌چنین فصل تابستان دارای بیش‌ترین تعداد آتش‌سوزی می‌باشد. عوامل در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارتند از: اتصالات الکتریکی ناقص، ته‌مانده سیگار، حوادث مربوط به گاز مایع یا گاز، خرابی مکانیکی، آتش‌سوزی‌های عمدی، آتش‌سوزی وسایل و لوازم منزل و گرمای بیش از حد. (Balahadia, F.F, et al., 2017)

در این پژوهش به تحلیل ریسک آتش‌سوزی در مناطق مختلف شهر چانگشای استان هونان ۲ چین پرداختند. آنها به این منظور از داده‌های آتش‌سوزی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷ استفاده کردند. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین آتش‌سوزی‌ها (حدود ۳۴.۵ درصد) در عصر و در فاصله زمانی ساعت ۱۲ تا ۱۸ بوقوع پیوسته است. هم‌چنین اتصالات الکتریکی، بی‌دقتی در استفاده، سیگار، خودسوزی، ماشین آلات، دلایل عمدی و رعدوبرق مهترین علت‌های وقوع آتش‌سوزی معرفی شده‌اند. (Liu, D., Z. Xu, and C. Fan, 2019)

در این پژوهش به تحلیل فضایی-زمانی حوادث آتش‌سوزی در بافت شهری مشهد پرداختند. با استفاده از داده‌های ۵۶۳۷ حادثه آتش‌سوزی در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۹۵ و به کارگیری تکنیک‌های پیشرفته آماری و تحلیل‌های فضایی، نتایج نشان می‌دهد که الگوی فضایی حوادث به صورت خوشه‌ای است و کانون‌های اصلی آتش‌سوزی در مناطق مرکزی، پرتراکم و قدیمی شهر (به ویژه مناطق ۱، ۸ و ۱۱) واقع شده‌اند. از نظر زمانی، فصل زمستان و ساعات اوج مصرف برق (عصر و شب) بیش‌ترین تعداد حوادث را به خود اختصاص داده‌اند. مهم‌ترین علل وقوع آتش‌سوزی، مشکلات مرتبط با سیم‌کشی و سیستم برق، وسایل گرمایشی و بی‌احتیاطی شناسایی شدند. این مطالعه نتیجه می‌گیرد که عوامل کالبدی-فضایی (مانند فرسودگی بافت، تراکم جمعیت و کاربری اراضی) و عوامل انسانی نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع و توزیع مکانی-زمانی آتش‌سوزی‌های شهری دارند و لزوم مدیریت یکپارچه ریسک با تمرکز بر نوسازی بافت‌های فرسوده، نظارت بر تاسیسات برق و گاز و آموزش شهروندی را خاطرنشان می‌سازد. (لطف عطا، عیناز، و امیری، بیتا، ۱۴۰۲)

¹ Changsha

² Hunan

این مقاله با عنوان «مروری بر فناوری‌های پیشگیری از آتش‌سوزی بر اساس علت حریق: انتخاب علل بر اساس آمار آتش‌سوزی در جمهوری کره» به تحلیل آماری علل وقوع آتش‌سوزی‌ها و ارائه راهکارهای پیشگیرانه مبتنی بر فناوری پرداخت است. این مطالعه با استناد به داده‌های ملی آتش‌سوزی کره جنوبی در بازه زمانی ۱۹۹۶-۲۰۲۱ نشان می‌دهد که ۶۲.۷ درصد از آتش‌سوزی‌ها در ساختمان‌ها رخ داده و مهم‌ترین علل به ترتیب شامل سهل‌انگاری (حدود ۵۰ درصد)، عوامل الکتریکی (۲۷.۴ درصد) و عوامل مکانیکی (۱۰.۵ درصد) بوده است. نویسندگان با طبقه‌بندی علل، سه محور اصلی برای تحلیل روندهای پژوهشی پیشگیری از آتش‌سوزی معرفی می‌کنند: پیشگیری از طریق تشخیص آتش و نشت گاز، پیشگیری در لوازم برقی و پیشگیری در سیستم‌های الکتریکی نسل جدید (شامل سیستم‌های فتوولتائیک، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی و پیل‌های سوختی هیدروژنی). در هر بخش، فناوری‌های نوین مانند حسگرهای گاز، تشخیص تصویری حریق، الگوریتم‌های تشخیص قوس الکتریکی و روش‌های تشخیص فرار حرارتی در باتری‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مقاله در نهایت چهار جهت‌گیری آینده برای پژوهش‌های پیشگیری از آتش‌سوزی ارائه می‌دهد: انتخاب سامانه تشخیص مبتنی بر ارزیابی ریسک، بهبود قابلیت اطمینان سامانه تشخیص، راه‌اندازی سامانه کنترل و پیشگیری از حریق و تقویت آموزش ایمنی متناسب با گروه‌های مختلف جمعیتی. این پژوهش بر لزوم یکپارچه‌سازی فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و توسعه سامانه‌های هوشمند برای پاسخ فعالانه در شرایط اضطراری تأکید می‌کند. (Lee, H.-G., Son, U.-N., et al., 2023)

در این پژوهش به بررسی عمیق و چندبعدی مشکل آتش‌سوزی در ساختمان‌های مسکونی کشور غنا پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد مشکلات الکتریکی مانند سیم‌کشی فرسوده و اضافه‌بار برق، استفاده نایم از گاز مایع و سوخت‌های اشتعال‌زا از علل اصلی آتش‌سوزی هستند. از سوی دیگر، نگرش‌های خطرناک ساکنان شامل خوش‌بینی غیرواقع‌بینانه، اولویت دادن مسائل اقتصادی بر ایمنی و عدم آگاهی کافی، موجب تشدید خطرات شده است. این تحقیق سطح پایین رعایت ایمنی را نیز تأیید می‌کند که شامل نبود تجهیزات اولیه مانند کپسول آتش‌نشانی و دکتور دود، نبود برنامه تخلیه اضطراری و تغییرات غیراصولی در ساختمان است. این مقاله نتیجه می‌گیرد که حل این بحران نیازمند یک رویکرد یکپارچه شامل آموزش همگانی، تقویت و اجرای مقررات ساختمانی و اجباری کردن تجهیزات ایمنی اولیه است. (Bismark Ackah, et al., 2024)

این مقاله به مرور سیستماتیک روش‌ها، فناوری‌ها و چالش‌های موجود در تعیین علت آتش‌سوزی‌های ناشی از سیستم‌های برق می‌پردازد. هدف اصلی آن ارائه یک دیدگاه جامع از پیشرفت‌های علمی و فنی در این حوزه حیاتی است. آتش‌سوزی‌های الکتریکی سهم قابل توجهی در کل حوادث آتش‌سوزی در ساختمان‌ها و صنایع دارند. تعیین دقیق علت آن‌ها نه تنها برای پیگیری قانونی و بیمه‌ای، بلکه برای پیشگیری از حوادث مشابه در آینده ضروری است. در این مقاله علل شایع آتش‌سوزی الکتریکی شامل موارد زیر است: اتصال کوتاه ناشی از شکستگی عایق، فشار مکانیکی و ... ، اضافه‌بار عبور جریان بیش از حد از ظرفیت کابل یا دستگاه، ایجاد قوس الکتریکی به ویژه در اتصالات شل و نادرست، افزایش مقاومت اتصالات گرم شدن نقاط اتصال (Hong-Danh Thai, et al., 2025).

این مقاله به طور جامع به بررسی علل، طبقه‌بندی‌ها و چالش‌های آتش‌سوزی‌های الکتریکی در محیط‌های خاص پرداخته و فناوری‌های پیشرفته تشخیص و اطفاء را خلاصه می‌کند. مطالعه نشان می‌دهد که علل آتش‌سوزی‌های الکتریکی پیچیده و متنوع هستند که شامل پیرشدن تجهیزات، نصب نادرست، اتصال کوتاه و اضافه بار می‌شوند. در محیط‌های خاص مانند زیردریایی‌ها، شناورهای سطحی و هواپیماها، خطر آتش‌سوزی‌های الکتریکی به دلیل فضای محدود، تجهیزات متراکم و عملیات نجات دشوار، بیشتر است. این مقاله همچنین تحلیل مفصلی از انواع مختلف آتش‌سوزی‌های الکتریکی شامل آتش‌سوزی کابل، آتش‌سوزی کابینت الکتریکی، آتش‌سوزی ترانسفورماتور، آتش‌سوزی باتری، آتش‌سوزی مرکز داده و آتش‌سوزی مسکونی ارائه داده و ویژگی‌ها و فناوری‌های پیشگیری و کنترل آن‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. در زمینه فناوری تشخیص، این مقاله پیشرفت فناوری‌هایی مانند تشخیص قوس، تشخیص ویدیویی و ترموگرافی مادون قرمز را خلاصه کرده و بر اهمیت انتخاب فناوری‌های مناسب بر اساس محیط‌های خاص تأکید می‌کند. در نهایت، این مقاله محدودیت‌های موجود در حوزه پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی‌های الکتریکی را شناسایی کرده، بر اهمیت تحقیقات بین‌رشته‌ای و توسعه مدل‌های پیشرفته ارزیابی ریسک تأکید نموده و جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده را ترسیم می‌کند. (Guohui Li, et al., 2025)

حال در جدول زیر به بررسی تطبیقی و مقایسه ای تحقیقات و پژوهش‌های فوق می‌پردازیم. (جدول ۲)

جدول ۲: جدول مقایسه ای تحقیقات پیشین خارجی و داخلی

نویسنده / سال پژوهش	کشور	دوره زمانی	روش تحقیق	یافته‌های کلیدی (علل اصلی آتش‌سوزی)
Balahadia et al. (2017)	مانیلا، فیلیپین	۲۰۱۱-۲۰۱۵	تحلیل آماری زمانی-مکانی	مشکلات الکتریکی و برقی، ته‌مانده سیگار، گاز
Liu et al. (2019)	چانگشا، چین	۲۰۱۱-۲۰۱۷	تحلیل ریسک و آمار توصیفی	اتصالات الکتریکی، بی‌دقتی، سیگار
Lee et al. (2023)	کره جنوبی	۱۹۹۶-۲۰۲۱	تحلیل آماری ملی	سهل‌انگاری (۵۰٪)، عوامل الکتریکی (۲۷.۴٪)
Hong-Danh Thai, et al., 2025	چین	نامشخص	شناسایی علل شایع آتش‌سوزی الکتریکی	اتصال کوتاه ناشی از شکستگی عایق، فشار مکانیکی و ...، اضافه بار عبور جریان بیش از حد از ظرفیت کابل
Bismark Ackah et al. (2024)	غنا	نامشخص	بررسی عمیق چندبعدی	سیم‌کشی فرسوده، نگرش‌های خطرناک ساکنان، نبود تجهیزات
Guohui Li, et al., 2025	-	۲۰۲۵	تبیین عوامل مؤثر و چالش‌های آتش‌سوزی‌های الکتریکی	پیرشدن تجهیزات برقی، نصب نادرست، اتصال کوتاه و اضافه بار
(۱۳۹۸) عادل‌زاده و شبیری	ایران	۱۳۹۸	تحلیل عاملی	هفت ریسک اصلی حریق (عوامل فاجعه‌ساز، تجهیزات، رفتار انسانی و ...)
(۱۴۰۲) لطف‌عطا و امیری	مشهد، ایران	۱۳۹۵-۱۳۹۹	تحلیل فضایی-زمانی و آماری	مشکلات برق، وسایل گرمایشی، بی‌احتیاطی

۳/۱ تحلیل انتقادی پیشینه تحقیق

با بررسی تطبیقی و انتقادی تحقیقات پیشین در حوزه علل آتش‌سوزی، می‌توان به نقاط قوت، ضعف‌ها و شکاف‌های پژوهشی موجود پی برد. این ارزیابی، ضرورت و اهمیت تحقیق حاضر را آشکار می‌سازد.

۱. نقاط قوت و یافته‌های مشترک در پیشینه تحقیق:

- تأیید عوامل کلان: عمده تحقیقات داخلی و خارجی بر نقش محوری "مشکلات الکتریکی" (اتصالات، سیم‌کشی فرسوده، اضافه‌بار) و "عوامل انسانی" (سهل‌انگاری، بی‌احتیاطی) به عنوان دو رکن اصلی وقوع آتش‌سوزی اتفاق نظر دارند (1402، لطف عطا و امیری، 2023; Lee, et al., 2017; Balahadia, et al., 2017). این همسویی، نشان‌دهنده جهان‌شمول بودن این چالش‌هاست.
- توسعه چارچوب‌های تحلیلی: تحقیقاتی مانند عادل‌زاده و شبیری (۱۳۹۸) با به کارگیری رویکردهایی مانند تحلیل عاملی و شناسایی عوامل مدیریتی، انسانی و فنی، گام‌هایی بلند در جهت یافتن ساختار و طبقه‌بندی علل برداشته‌اند.
- اهمیت تحلیل‌های فضایی-زمانی: پژوهش‌های داخلی مانند لطف عطا و امیری (۱۴۰۲) به خوبی نشان داده‌اند که الگوی وقوع آتش‌سوزی‌ها، خوشه‌ای بوده و در بافت‌های فرسوده، مرکزی و پرتراکم شهری متمرکز است. این یافته بر لزوم در نظرگیری بُعد مکانی در مدیریت ریسک تأکید دارد.

۲. شکاف‌ها و محدودیت‌های پژوهش‌های پیشین:

- عدم تمرکز بر ساختارهای پنهان علل: اگرچه برخی پژوهش‌ها مانند عادل‌زاده و شبیری (۱۳۹۸) به فهرست کردن علل پرداخته‌اند، اما کمتر از روش‌های آماری پیشرفته مانند تحلیل عاملی اکتشافی (EFA) برای کشف و استخراج عوامل پنهان و ساختارهای زیربنایی حاکم بر مجموعه پیچیده‌ای از علل وقوع استفاده کرده‌اند. این امر منجر به درکی سطحی و فهرست‌وار شده است.
- ضعف در پیوند یافته‌ها با راهکارهای عملیاتی بومی: با وجود ارائه راهکارهای فناورانه در تحقیقاتی مانند Lee, et al. (2023)، اغلب فاصله بین یافته‌های پژوهشی و راهکارهای اجرایی و بومی متناسب با شرایط خاص شهرهای ایران (از نظر اقتصادی، فرهنگی و مدیریتی) احساس می‌شود.
- تحقیق حاضر با آگاهی از شکاف‌های فوق، با رویکردی نوآورانه به تحلیل آتش‌سوزی‌های کلانشهر مشهد می‌پردازد. استفاده از روش تحلیل عاملی اکتشافی بر روی یک بانک اطلاعاتی گسترده و جامع (50000 مورد حریق) از کلانشهر مشهد، امکان کشف ساختارهای پنهان و عوامل اصلی را فراهم می‌سازد. این پژوهش تنها به ارائه یک فهرست از علل بسنده نکرده، بلکه با دسته‌بندی کمی و تعیین سهم هر عامل در تبیین واریانس، اولویت‌بندی علمی و دقیقی برای مداخلات ارائه می‌دهد.

۴. روش شناسی تحقیق

در این تحقیق ابتدا از داده‌های آماری ثبت شده کدهای علل حریق سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد طی سالهای ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۳ (مجموعاً حدود 50/000 مورد آتش‌سوزی) استفاده گردیده است. (شکل ۳: نمونه فرم ثبت داده‌های عملیات‌های اطفاء حریق)

داده‌های ثبتی مربوط به علل و منشا وقوع آتش‌سوزی در ۲۵ مولفه مختلف (هر مولفه در واقع مربوط به یک کد علت حریق تعریف شده در سامانه اطلاعات عملیاتی سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد می‌باشد) و تعداد ۱۱۰ مورد نمونه (هر نمونه مقدار فراوانی وقوع حریق با کد علت‌های مشخص حریق در یک ماه از سال طی سالهای ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ می‌باشد) دسته‌بندی گردیدند. سپس از این مجموعه داده‌ها به عنوان متغیرهای روش تحلیل عاملی اکتشافی جهت شناسایی الگوها و ساختار عوامل موثر بر حریق و حوادث شهری استفاده گردید که در ادامه به بیان مراحل روش انجام تحقیق پرداخته شده است. جهت انجام الگوریتم تحلیل عاملی اکتشافی از نرم افزار spss-26 استفاده گردید.

سامانه مدیریت عملیات مهار															
دلبورد	آمار روزانه ایستگاه‌ها	کاربران سیستم	کارمندان												
کد عملیات: 140408010042	نوع عملیات: حریق	ایستگاه: 8	شعبه: B												
تاریخ عملیات: 1404/08/01	کد تاسی: 3-32-96-66-0-0-0	پیکام	آمار و گزارشات												
اطلاعات عمومی															
مالک: نامشخص نوع تصرف: زمین آدرس: طبرسی شمالی 56 - نیک خلق 9 - مقابل پلاک 131 - داخل زمین محصور اطلاع دهنده به 125: کارشناس پاسکو: سید مهدی میرانوری ماهیت حریق: عمدی شرح علت: انداختن شی داغ یا آتشی از (گریته، فندک، ته سیگار و ...) توسط شخص یا اشخاص ناشناس بر روی شایعات و شاخ و برگ داخل زمین محصور، سبب بروز حریق و گسترش آن شده بود، که پس از رسیدن با رعایت موارد ایمنی اطفاء کامل انجام شد. ملاحظات: پوشش گذاری به صورت حدودی میباشد. کد علت جدید: 151-شایعات و زباله خارج از ساختمان و وسایل نقلیه ماده سوختنی درگیر در حریق: گیاهان و مواد گیاهی خشک و تر (علوفه، ...) منابع تولید حرارت اولیه در حریق‌ها: کبریت، فندک، شمع، ذغال آفروخته															
زمان‌های عملیات <table border="1"> <thead> <tr> <th>زمان اعلام به ایستگاه</th> <th>مدت زمان رسیدن</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01:36:22</td> <td>00:07:54</td> </tr> <tr> <td>01:37:20</td> <td>00:02:49</td> </tr> <tr> <td>01:44:16</td> <td>00:00:32</td> </tr> <tr> <td>01:47:05</td> <td>00:20:24</td> </tr> </tbody> </table> زمان خروج از ایستگاه: 01:37:20 زمان رسیدن به محل: 01:44:16 زمان پایان عملیات: 01:47:05 زمان برگشت به ایستگاه: 01:47:37 زمان رسیدن به ایستگاه: 01:56:46 علت تاخیر حضور در محل: بعد مسافت				زمان اعلام به ایستگاه	مدت زمان رسیدن	01:36:22	00:07:54	01:37:20	00:02:49	01:44:16	00:00:32	01:47:05	00:20:24		
زمان اعلام به ایستگاه	مدت زمان رسیدن														
01:36:22	00:07:54														
01:37:20	00:02:49														
01:44:16	00:00:32														
01:47:05	00:20:24														
جزئیات عملیات <table border="1"> <thead> <tr> <th>آتش نشانان در عملیات (کد پرسنلی، مشخصات آتش نشان، سمت، ایستگاه، نمره در عملیات): 3 نفر</th> <th>10</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>میلاد حاجی علی ابادی</td> <td>16300</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>سید علی میر عباسی</td> <td>15229</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>جواد افراشاملو</td> <td>16254</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table> خودروهای اعزامی (نام خودرو، راننده، واحد سازمانی، شماره خودرو، کد موتوری، خسارت): 1 خودرو				آتش نشانان در عملیات (کد پرسنلی، مشخصات آتش نشان، سمت، ایستگاه، نمره در عملیات): 3 نفر	10	8	میلاد حاجی علی ابادی	16300	8	سید علی میر عباسی	15229	8	جواد افراشاملو	16254	8
آتش نشانان در عملیات (کد پرسنلی، مشخصات آتش نشان، سمت، ایستگاه، نمره در عملیات): 3 نفر	10	8													
میلاد حاجی علی ابادی	16300	8													
سید علی میر عباسی	15229	8													
جواد افراشاملو	16254	8													

شکل ۳. نمونه فرم داده‌های ثبتی عملیات‌های اطفاء حریق در سازمان آتش‌نشانی مشهد

تحلیل عاملی اکتشافی^۱ یک روش آماری چندمتغیره است که برای شناسایی ساختارهای زیربنایی (عوامل یا سازه‌های پنهان) در میان مجموع‌های از متغیرهای مشاهده پذیر استفاده میشود. این روش به پژوهشگران کمک میکند تا ابعاد اصلی پرسشنامه‌ها یا مجموعه داده‌ها را کشف و متغیرها را در عوامل مرتبط دسته‌بندی کنند. (Fabrigar & Wegener, 2012)

تحلیل عاملی اکتشاف معمولاً زمانی استفاده می‌شود که هدف پژوهشگران کشف الگوها یا ساختارهای زیربنایی در یک مجموعه داده بدون از پیش تعریف کردن یک مدل خاص است که آن را برای تولید فرضیه‌ها و درک روابط پیچیده مناسب می‌سازد. (Douglas, D., et al., 2021)

علاوه بر این، تحلیل عاملی اکتشافی زمانی ارزشمند است که محققان بخواهند تعداد متغیرها را به مجموعه کوچکتری از عوامل کاهش دهند که ساختار داده‌ها را به طور موثر توضیح می‌دهد. (Sürücü, L., et al., 2022)

اجرای یک تحلیل عاملی اکتشافی معتبر، مستلزم طی کردن گام‌های متوالی و دقیقی است که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته شده است. (شکل ۴)



شکل ۴. نمودار فرآیند روش تحلیل عاملی اکتشافی

۴، ۱. گامهای اجرای تحلیل عاملی اکتشافی :

۱. تعیین مناسب بودن داده‌ها :

برای تحلیل عاملی قبل از اجرای EFA، باید بررسی شود که داده‌ها برای این تحلیل مناسب هستند. این کار با استفاده از دو شاخص اصلی انجام میشود :

¹ (Exploratory Factor Analysis - EFA)

- آزمون کایزر-مایر-اولکین^۱: مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱ است و مقادیر بالاتر از ۰.۶ نشان دهنده کفایت نمونه گیری هستند. (Kaiser, 1974)
- آزمون بارتلت^۲: این آزمون معناداری ($p < 0.05$) نشان می‌دهد که همبستگی‌های بین متغیرها برای تحلیل عاملی مناسب هستند. (Bartlett, 1954)
- ۲. تعیین روش استخراج عوامل: روشهای مختلفی برای استخراج عوامل وجود دارد، از جمله:
 - تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۳: در صورتی که هدف کاهش داده‌ها باشد.
 - تحلیل عاملی محورهای اصلی: زمانی که هدف کشف ساختارهای پنهان است. (Costello & Osborne, 2005)
- ۳. تعیین تعداد عوامل استخراج شده: برای تعیین تعداد عوامل بهینه از معیارهای زیر استفاده میشود:
 - معیار کیزر^۴: حفظ عوامل با مقادیر ویژه^۵ بیشتر از ۱
 - نمودار اسکری^۶: انتخاب عوامل قبل از نقطه شکست در نمودار
 - تحلیل موازی^۷: مقایسه مقادیر ویژه داده‌های واقعی با داده‌های تصادفی. (Hayton et al., 2004)
- ۴. روش چرخش عوامل برای تفسیرپذیری بهتر عوامل، از روشهای چرخش استفاده میشود:
 - چرخش واریماکس^۸: برای عوامل ناهمبسته
 - چرخش ابلیمین^۹: برای عوامل همبسته. (Tabachnick & Fidell, 2019)
- ۵. تفسیر عوامل و نامگذاری آنها پس از چرخش، بارهای عاملی^{۱۰} بررسی میشوند. معمولاً بارهای عاملی بالاتر از ۰.۴ معنادار در نظر گرفته میشوند هر عامل بر اساس متغیرهایی که بیشترین بار را روی آن دارند، نامگذاری میشود. (Stevens, 2012)

۵. نتایج تحقیق

این تحقیق با هدف شناسایی منشا و علل پنهان مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی با منشا عوامل برق و الکتریسیته در کلانشهر مشهد انجام شده است. با توجه به اهمیت ایمنی شهری، درک ساختار عاملی حریق می‌تواند به طراحی برنامه‌های ایمنی و راهکارهای پیشگیرانه مؤثر کمک کند. در ادامه نتایج تحلیل عاملی اکتشافی علل وقوع دسته آتش‌سوزی کلانشهر مشهد

¹ Kaiser-Meyer-Olkin-(KMO)

² Bartlett's Test of Sphericity

³ Principal Component Analysis - (PCA)

⁴ Kaiser's Criterion

⁵ Eigenvalues

⁶ Scree Plot

⁷ Parallel Analysis

⁸ Varimax

⁹ Oblimin

¹⁰ Factor Loadings

که بر روی 50/000 داده آماری ثبت شده عملیات های اطفاء حریق سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد طی سالهای ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۳ و با استفاده نرم افزار spss-26 انجام گردیده، ارائه می گردد .

۵،۱ تحلیل عاملی اکتشافی علل آتش سوزی (حریق)

۱ - بررسی کفایت نمونه گیری و آزمون بارتلت^۱:

آزمون کایزر-مایر-اولکین^۲: مقدار KMO برابر با ۰.۸۸۸ است که نشان دهنده کفایت بالای نمونه گیری برای تحلیل عاملی است. آزمون بارتلت^۳: این آزمون برای بررسی وجود همبستگی بین متغیرها استفاده شده است. نتایج نشان می دهد: مقدار کای اسکوئر (۲۳۱۴.۱۸۳) با درجه آزادی (۳۰۰) و سطح معنی داری (۰.۰۰۰) حاکی از آن است که ماتریس همبستگی برای تحلیل عاملی مناسب است. (جدول ۳)

جدول ۳. مقادیر کفایت نمونه گیری و آزمون بارتلت عوامل آتش سوزی (حریق)

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.888
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2314.183
	df	300
	Sig.	0.000

۲ - واریانس تبیین شده توسط عوامل^۴

تحلیل عاملی با روش اکتشافی انجام شده و ۵ عامل استخراج شده اند که مجموعاً ۷۰.۷۵۳٪ از واریانس کل را تبیین می کنند. (جدول ۴)

جزئیات هر عامل:

- عامل ۱: ۴۶.۹۵۷٪ از واریانس را تبیین می کند (قوی ترین عامل).
- عامل ۲: ۸.۱۳۳٪ از واریانس.
- عامل ۳: ۵.۹۷۴٪ از واریانس.
- عامل ۴: ۵.۰۷۱٪ از واریانس.

^۱ Bartlett's Test of Sphericity

^۲ Kaiser-Meyer-Olkin

^۳ Bartlett's Test of Sphericity

^۴ Total Variance Explained

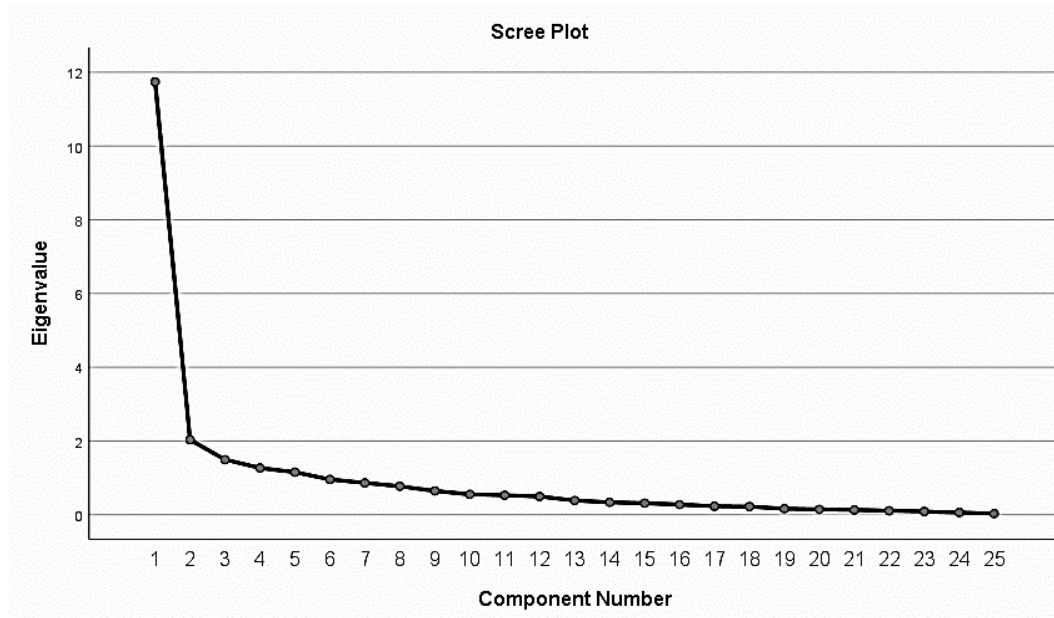
- عامل ۵: ۴.۶۱۷٪ از واریانس.

جدول ۴. مقادیر واریانس تبیین شده توسط عوامل دسته آتش سوزی (حریق)

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared			Rotation Sums of Squared		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	11.739	46.957	46.957	11.739	46.957	46.957	11.695	46.780	46.780
2	2.033	8.133	55.090	2.033	8.133	55.090	1.732	6.927	53.707
3	1.494	5.974	61.065	1.494	5.974	61.065	1.601	6.403	60.110
4	1.268	5.071	66.136	1.268	5.071	66.136	1.354	5.415	65.525
5	1.154	4.617	70.753	1.154	4.617	70.753	1.307	5.228	70.753
6	.957	3.830	74.583						
25	.032	.129	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

۳- نمودار سنگ ریزه^۱ نیز کاهش شیب مقدار ویژه را پس از عامل ۵ نشان می‌دهد که تأیید می‌کند استخراج ۵ عامل مناسب است. (شکل ۵)



شکل ۵. نمودار سنگ ریزه *Scree Plot* عوامل آتش سوزی (حریق)

¹ Scree Plot

۴- ماتریس مؤلفه‌ها^۱ و ماتریس چرخش یافته^۲ (جدول ۵ و ۶)

جدول ۵. ماتریس مؤلفه‌ها عوامل دسته آتش سوزی (حریق)

ردیف	عنوان عامل	درصد واریانس تبیین شده
عامل ۱	گرمای اجزای شبکه توزیع برق و مشکلات الکتریکی تجهیزات و وسایل برقی	۴۶.۷۸۰
عامل ۲	بی احتیاطی و رفتارهای پرخطر انسانی	۶.۹۲۷
عامل ۳	اشتعال مایعات و گازهای قابل اشتعال	۶.۴۰۳
عامل ۴	فعالیت های روزانه پرریسک	۵.۴۱۵
عامل ۵	حوادث صنعتی / مکانیکی و تصادفات خودروها	۵.۲۲۸

جدول ۶. ماتریس چرخش یافته عوامل مختلف آتش سوزی (حریق) شهر مشهد

	عوامل				
	۱	۲	۳	۴	۵
بازی کردن بچه ها با کبریت و مواد آتش زا		.۶۶۹			-.۳۸۹
اتصال سیم های برق	.۹۲۵				
انداختن ته سیگار	.۴۴۳	.۳۵۶	-.۴۲۲		
انتقال حرارت به علت مجاورت	.۷۰۳		.۴۳۵		
افروختن آتش در فضای سبز				.۸۵۰	
سوزاندن ضایعات				.۹۳۶	
نشت گازهای قابل اشتعال			.۸۰۴		
نشت یا چکیدن مایعات قابل اشتعال			.۸۶۴		
اشکالات در سیستم وسایل برقی	.۸۷۵				
اشتعال بخار مایعات قابل اشتعال			.۶۷۲		
کشیدن بار اضافی از شبکه برق	.۸۴۴				
روشن کردن آتش توسط معتادین		.۷۹۳			
جرقه زدن وسایل برقی	.۷۹۳			.۷۷۷	
داغ کردن وسایل به علت کار زیاد	.۶۷۶		-.۳۱۰		
سوزاندن زباله			.۳۵۸	.۷۵۲	
آشپزی				.۷۸۸	
تصادفات منجر به حریق	.۳۴۲				.۶۶۳
ایجاد اصطکاک	.۴۰۹				-.۶۲۰

^۱ Component Matrix

^۲ Rotated Component Matrix

روشن کردن وسایل نفت سوز			۰.۶۷۸		
آتش زدن عمدی توسط افراد		۰.۷۷۶			
افتادن شی داغ یا آتشزا بر روی مواد قابل اشتعال	۰.۹۰۵				
روشن کردن سیگار		۰.۷۶۱			
واژگونی خودرو		۰.۴۴۴			۰.۴۹۹
آتش زدن توسط شخص به علت بی احتیاطی	۰.۷۲۵		-۰.۳۷۳		

۵- برای تفسیر بهتر عوامل، از چرخش Quartimax با نرمالیزاسیون کایزر استفاده شده است. نتایج ماتریس چرخش یافته به صورت جدول زیر تفسیر می‌شود. (جدول ۷)

جدول ۷. نتایج ماتریس چرخش یافته عوامل آتش سوزی (حریق) شهر مشهد

ردیف	عنوان عامل	درصد واریانس تبیین شده	متغیرها (مولفه ها)	بار عاملی متغیر	تفسیر عامل
عامل ۱	گرمای اجزای شبکه توزیع برق و مشکلات الکتریکی تجهیزات و وسایل برقی	۴۶.۷۸۰	اتصال سیم های برق	۰.۹۲۵	این عامل نشان دهنده نقش مهم مشکلات شبکه توزیع برق و تجهیزات و وسایل الکتریکی در وقوع آتش سوزی است. برجستگی این عامل می‌تواند بازتابی از ترکیب سنی ساختمان‌ها، توسعه شتابان شهری، و استفاده گسترده از وسایل برقی غیر استاندارد و نگهداری نامتوازن باشد. تراکم بالای جمعیت و حضور کاربری‌های تجاری-کارگاهی در محلات مسکونی، احتمال کشیدن بار اضافی از شبکه برق و استفاده از چندراهی‌های غیراستاندارد را افزایش می‌دهد.
			افتادن شی داغ یا آتشزا بر روی مواد قابل اشتعال	۰.۹۰۵	
			اشکالات در سیستم وسایل برقی	۰.۸۷۵	
			کشیدن بار اضافی از شبکه برق	۰.۸۴۴	
			جرقه زدن وسایل برقی	۰.۷۹۳	
عامل ۲	بی احتیاطی و رفتارهای پرخطر انسانی	۶.۹۲۷	روشن کردن آتش توسط معتادین	۰.۷۹۳	این عامل به رفتارهای پرخطر کودکان و سهل انگاری افراد معتاد و دارای اختلال روانی و بی احتیاطی در خاموش کردن ته مانده سیگار روشن اشاره دارد. مداخله‌های آموزشی هدفمند، کنترل محیطی و
			آتش زدن عمدی توسط افراد با اختلالات شناختی/روانی	۰.۷۷۶	
			روشن ماندن سیگار	۰.۷۶۱	

		بازی کردن بچه‌ها با کبریت و مواد آتش‌زا	۰.۶۶۹	سیاست‌های حمایتی اجتماعی در این دسته موثرترند.
عامل ۳	اشتعال مایعات و گازهای قابل اشتعال	نشت یا چکیدن مایعات قابل اشتعال	۰.۸۶۴	این عامل بر نقش مواد قابل اشتعال (گازها و مایعات) در آتش‌سوزی تأکید دارد و نشان می‌دهد کنترل یکپارچه ایمنی سوخت‌ها در منازل و کسب‌وکارها (بازرسی دوره‌ای اتصالات گاز، استانداردسازی انبارش مایعات قابل اشتعال، تهویه) اولویت دارد.
		نشت گازهای قابل اشتعال	۰.۸۰۴	
		اشتعال بخار مایعات قابل اشتعال	۰.۶۷۲	
عامل ۴	فعالیت‌های روزانه پرریسک	سوزاندن ضایعات	۰.۹۳۶	این عامل فعالیت‌های معمولی مانند آشپزی یا دفع زباله و ضایعات را به عنوان عوامل خطر برجسته می‌کند. آشپزی، سوزاندن زباله. این عامل ترکیب "رفتارهای عادی ولی پرریسک" است. مداخلات مبتنی بر پیام‌رسانی عمومی، برجسب‌های هشدار، و دستورالعمل‌های خانگی و محل کار برای کاهش ریسک در این دسته اهمیت دارد.
		افروختن آتش در فضای سبز	۰.۸۵۰	
		آشپزی (وسایل پخت و پز)	۰.۷۸۸	
		سوزاندن زباله	۰.۷۵۲	
عامل ۵	حوادث صنعتی / مکانیکی و تصادفات خودروها	تصادفات خودرو منجر به حریق	۰.۶۶۳	این عامل به حوادث غیرعمدی مانند تصادفات یا اصطکاک مکانیکی مربوط می‌شود. واژگونی خودرو، اصطکاک و تصادفات منجر به حریق شاخص‌اند. این عامل پیوندی با ایمنی ترافیکی، نگهداری مکانیکی و استانداردسازی عملیات‌های صنعتی/کارگاهی دارد.
		ایجاد اصطکاک	۰.۶۲۰	
		واژگونی خودرو	۰.۴۹۹	

۶. جمع‌بندی و پیشنهادات

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل پنهان مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی‌های با منشأ برق و الکتریسیته در کلانشهر مشهد انجام شده است. با توجه به اهمیت ایمنی شهری، درک ساختار عاملی این دسته از حریق‌های شهری می‌تواند به طراحی برنامه‌های ایمنی و راهکارهای پیشگیرانه مؤثر کمک کند.

تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی است که با روش تحلیل عاملی اکتشافی انجام شده است. در این تحقیق ابتدا از 50/000 داده آماری ثبت شده عملیات‌های اطفاء حریق سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد طی سالهای ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۳ استفاده شد. داده‌های ثبتی مربوط به علل و منشأ وقوع آتش‌سوزی در ۲۵ مولفه مختلف (هر مولفه در واقع مربوط به یک کد علت حریق تعریف شده در سامانه اطلاعات عملیاتی سازمان آتش‌نشانی شهر مشهد می‌باشد) و تعداد ۱۱۰ مورد نمونه (هر نمونه مقدار فراوانی وقوع حریق با کد علت‌های مشخص حریق در یک ماه از سال طی سالهای ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ می‌باشد) دسته‌بندی گردیدند. سپس از این مجموعه داده‌ها به عنوان متغیرهای روش تحلیل عاملی اکتشافی جهت شناسایی الگوها و ساختار عوامل مؤثر بر حریق و حوادث شهری استفاده گردید که در ادامه به بیان مراحل روش انجام تحقیق پرداخته شده است. جهت انجام الگوریتم تحلیل عاملی اکتشافی از نرم افزار spss-26 استفاده گردید. کفایت نمونه و مناسب بودن ماتریس همبستگی در آتش‌سوزی با $KMO=0.888$ و آزمون بارتلت $\chi^2(300)=2314.183, p<0.001$ تأیید گردید. برای تعیین تعداد عوامل از ترکیب معیار مقادیر ویژه بزرگتر از ۱، نمودار اسکری و تفسیرپذیری نظری استفاده شد.

تحلیل عاملی اکتشافی، پنج عامل اصلی برای دسته‌بندی آتش‌سوزی‌ها شناسایی کرد که در مجموع ۷۰.۷۵٪ از واریانس را تبیین می‌کنند. اصلی‌ترین عامل گرمای اجزای شبکه توزیع برق و مشکلات الکتریکی وسایل برقی (۴۶.۹۶٪) است. این عامل که به تنهایی نزدیک به ۵۰ درصد از واریانس کل را تبیین می‌کند، به وضوح عامل اصلی و پیش‌ران غالب در وقوع آتش‌سوزی‌های شهری مشهد شناسایی گردید. مؤلفه‌های بار عاملی بسیار بالا در این عامل، همگی مستقیم‌ترین و متداول‌ترین اشکالات و نقص‌های الکتریکی هستند که شامل مؤلفه‌هایی چون اتصال سیم‌ها، کشیدن بار اضافی از شبکه برق، جرقه زدن وسایل برقی و اشکالات در سیستم وسایل برقی را در بر می‌گیرد. برجستگی و اولویت عوامل الکتریکی را می‌توان بازتابی از ترکیب چندین چالش زیرساختی و فرهنگی در کلانشهر مشهد دانست: فرسودگی شبکه برق در بافت‌های قدیمی، توسعه شتابان شهری بدون ارتقای متناسب ظرفیت شبکه برق، استفاده گسترده از وسایل برقی غیراستاندارد، فرهنگ نادرست نگهداری و استفاده از سیستم‌های الکتریکی، تراکم بالای جمعیت و اختلاط کاربری مسکونی با تجاری-کارگاهی، فشار مضاعفی بر شبکه برق وارد کرده و احتمال وقوع آتش‌سوزی برقی را به شدت افزایش می‌دهد.

عوامل اصلی دیگر آتش‌سوزی‌های شهر مشهد شامل بی‌احتیاطی و رفتارهای پرخطر انسانی (۸.۱۳٪)، اشتعال مایعات و گازهای قابل اشتعال (۵.۹۷٪) و فعالیت‌های روزانه پریسک (۵.۰۷٪) می‌باشند.

پیشنهادهای این تحقیق شامل یافته‌های کلیدی زیر در مورد علل وقوع آتش‌سوزی (حریق) شهری است که میتوان از آنها در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی بلندمدت، میان‌مدت و سالیانه سازمان آتش‌نشانی مشهد و همچنین سایر شهرهای ایران استفاده نمود. (جدول ۸)

جدول ۸. پیشنهادات مربوط به دسته عوامل آتش‌سوزی‌های شهری (حریق)

ردیف	عنوان موضوع	پیشنهادهای اجرایی
1	ایمنی شبکه توزیع برق و وسایل و تجهیزات و وسایل برقی	۱. افزایش نظارت بر ایمنی سیم‌کشی و تجهیزات برقی. ۲. بازرسی دوره‌ای سیم‌کشی در ساختمان‌های قدیمی؛ الزام صدور گواهی سلامت الکتریکی هنگام نقل و انتقال ملک. ۳. نصب محافظ‌نشتی جریان (RCD) و فیوزهای مناسب؛ استانداردسازی چند راهی‌ها و سیم‌های رابط. ۴. برنامه‌های آگاهی‌رسانی درباره خطر اضافه‌بار و استفاده هم‌زمان از وسایل پرمصرف.
2	کاهش بی‌احتیاطی و رفتارهای پرخطر انسانی	۱. آموزش خانوارها درباره نگهداری کبریت/فندک دور از دسترس کودکان؛ کمپین‌های مدرسه‌محور. ۲. آموزش عمومی برای کاهش سهل‌انگاری (به ویژه در مورد کودکان و معتادین). ۳. راهبردهای کاهش آسیب در نقاط پرخطر شهری و همکاری میان آتش‌نشانی، خدمات اجتماعی و پلیس.
3	مدیریت ایمنی سوخت‌ها و مایعات و گازهای قابل اشتعال	۱. بازرسی دوره‌ای اتصالات گاز شهری؛ نصب هشداردهنده‌های گاز در فضاهای بسته. ۲. کنترل دقیق تر مواد قابل اشتعال در محیط‌های شهری. ۳. دستورالعمل‌های انبارش و انتقال ایمن مایعات قابل اشتعال در کارگاه‌ها و مغازه‌ها.
4	ایمنی فعالیت‌های روزمره پر ریسک	۱. دستورالعمل‌های آشپزی ایمن، به ویژه برای اجاق‌های فرسوده؛ ممنوعیت و جایگزین‌های سوزاندن زباله. ۲. ارتقای فرهنگ ایمنی در فعالیت‌های روزمره مانند آشپزی و دفع زباله. ۳. سیاست‌های کنترل سیگار در اماکن پرریسک و کمپین‌های هشدار عمومی.
5	پیشگیری از حوادث صنعتی، مکانیکی و تصادفات خودرویی	۱. استانداردسازی نگهداری خودرو و تجهیزات مکانیکی در کاربری‌های مجاور مسکونی. ۲. آموزش کارگاهی درباره اصطکاک، جرقه و منابع اشتعال؛ هماهنگی با برنامه‌های ایمنی ترافیک

۷. منابع تحقیق

1. Power, M. (2023). *Riskwork: Essays on the Organizational Life of Risk Management*. Oxford University Press.
2. Johansson, H. (2024). *Decision Making in Fire Risk Management*. Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
۳. مرجانی، سید عباس. (۱۳۹۲). شناسایی و معرفی عمده‌ترین عوامل طبیعی و غیر طبیعی آسیب رسان به کتابخانه‌ها: توصیه‌ها و راهبردها. شمس: نشریه الکترونیکی سازمان کتابخانه‌ها، موزه‌ها و مرکز اسناد آستان قدس رضوی 5، (شماره ۱۸ بهار ۱۳۹۲)، ۱-۲۰.
4. Babrauskas, V. (2020) "Electrical Fires: Why They Start and How They Spread." *Journal of Fire Sciences*, vol. 38, no. 5, , pp. 399-425.
5. Hopkin, P. (2022). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating, and Implementing Effective Risk Management*. Kogan Page.
۶. ارزیابی ریسک حریق (هاشم ستاره ، علیرضا کوهپایی) انتشارات فن آوران سال ۱۳۹۱ نوبت دوم
7. Xia, Z., et al., Detecting urban fire high-risk regions using colocation pattern measures. *Sustainable cities and society*, 2019. 49: p. 101607.
8. Todorovic, S. (2020). *Modelling risk factors in urban residential fires in Helsinki*.
9. Omar, M., Mahmoud, A., & Abdul Aziz, S. B. (2023). Critical Factors Affecting Fire Safety in High-Rise Buildings in the Emirate of Sharjah, UAE. *Fire*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.3390/fire6020068>
۱۰. عادل زاده، م. س.م. شبیری، شناسایی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند: یک رویکرد تحلیل عاملی. نشریه علمی-پژوهشی شهر ایمن، ۱۳۹۸.
11. Ghouchani, M., M. Taji, and M. Darbaniyan, Evaluation of the Effective Factors on Increasing the Risk of Damages to Urban Buildings in Post-earthquake Fire Crisis by AHP Method. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 2019. 9(3): p. 306-293.
12. Bartlett, M. S. (1954). A note on the multiplying factors for various chi-square approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 16 (2), 296-298.
13. Costello, A. B., & Osborne, J. W. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10 (7), 1-9.
14. Fabrigar, L. R., & Wegener, D. T. (2012). *Exploratory factor analysis*. Oxford University Press.
15. Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor retention decisions in exploratory factor analysis: A tutorial on parallel analysis. *Organizational Research Methods*, 7 (2), 191-205.
16. Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39 (1), 31-36.
17. Stevens, J. P. (2012). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Routledge.
18. Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7th ed.). Pearson.
19. <https://doi.org/10.3390/fire8040154>
20. https://www.researchgate.net/publication/382809752_A_Survey_of_Electrical_Fire_Causes_Assessment_Technology, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3437175
21. Douglas, D., Gunzler, Adam, T., Perzynski., Adam, C., Carle. (2021). *Exploratory Factor Analysis*. doi: 10.1201/9780203701133-11
22. Sürücü, L., Yıkılmaz, İ., & Maşlakçı, A. (2022). Exploratory factor analysis (EFA) in quantitative researches and practical considerations. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 13(2), 947-965.