

Scenario-Calibrated Prioritization of Office Building Materials: A SWARA–SMART Multi-Criteria Framework

Omidreza Mikaeili ^a , Sajad Ranjbar Shah Koohi ^b , Mahdi Bitarafan ^{c*}

^aFaculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Technical and Engineering College,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b Researcher, Iranian Civil Defense Scientific Association

^c International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

<https://doi.org/10.22034/ispdrc.2025.2073844.1217>

ARTICLE INFO

Keywords:

construction materials,
multi-hazard,
vulnerability,
scenario calibration,
commercial building

Received:

6 October 2025

Received in revised form:

20 November 2025

Accepted:

27 November 2025

pp.278-297

ABSTRACT

This study proposes a rapid, scenario-based framework for the selection and prioritization of building materials and components in office buildings exposed to multi-hazard conditions. Expert judgments are integrated through SWARA (to weight criteria) and SMART (to rate alternatives), ensuring a transparent, traceable decision process. Eight criteria are considered—blast impact mitigation, fire resistance, seismic performance, debris removal, repairability, construction speed, execution complexity, and cost—and the option set covers structural system, exterior and interior walls, façade/curtain wall, glazing, roof system, window frames, interior finishes, and overall material weight. Data were collected from 15 domain experts (structural and architectural design, façade engineering, HSE/civil defense, and urban crisis management) via a staged survey with content validation and quality controls. To reflect context-dependence, the baseline SWARA weights are calibrated by four complementary scenarios: blast-focused (S1), fire-focused (S2), operations-focused (S3: speed/complexity/cost/debris/repair), and seismic-focused (S4). Results show a stable decision core across all scenarios: the structural system and exterior walls consistently rank among the most influential factors. Scenario shifts then elevate specific levers: glazing and façade details in S1–S2, and material weight (lightweighting) in S3–S4. The framework clarifies trade-offs between safety, constructability, and lifecycle recovery, and delivers actionable rankings that can guide budget allocation without relying on a single case study. The approach is readily transferable to similar projects and can be extended with uncertainty analysis and performance-based testing in future work.

Corresponding author , Mahdi Bitarafan , (Email: mahdi.bitarafan@iiees.ac.ir)

Extended Abstract

Introduction

Office buildings concentrate occupants, services, and value-dense assets, making them priority targets for risk reduction under multi-hazard conditions. Materials and envelope systems decisively shape blast and fire consequences, out-of-plane wall response under shaking, and the ease of post-event clearance and repair. This study develops a rapid, material-centric, scenario-based evaluation framework for office buildings. Unlike case-specific assessments, the approach generalizes findings by integrating expert judgment with multi-criteria analysis and calibrating priorities to the prevailing context (scenarios), thereby producing actionable, defensible rankings without relying on a single project.

Methodology

Eight criteria were defined to appraise material and component choices in office buildings: (C1) blast-effect reduction, (C2) fire resistance, (C3) seismic performance, (C4) debris-removal facilitation, (C5) repairability, (C6) construction speed, (C7) execution complexity, and (C8) cost. Criterion weights were derived using SWARA, and indicator/option scores under each criterion were elicited via SMART on a 1–9 semantic scale (poor–excellent). Data were gathered from 15 domain experts (structural/architectural design, façade engineering, HSE/civil defense, and urban crisis management) through a staged survey with content validation, consistency checks, and sensitivity analysis. To reflect context dependence, a scenario calibration layer was applied to the SWARA weights: four complementary scenarios were analyzed—blast-focused (S1), fire-focused (S2), operations-focused (S3: speed/ complexity/ cost/ debris/ repair), and seismic-focused (S4)—by proportionally emphasizing the relevant criterion(-ia) and renormalizing before aggregating SMART scores to final rankings.

Results and discussion

Baseline SWARA prioritization shows blast mitigation carries the highest weight (0.2531), followed by fire resistance (0.1947), seismic performance (0.1693), debris removal (0.1254),

cost (0.0963), repairability (0.0689), construction speed (0.0530), and execution complexity (0.0393). At the indicator level, glazing ranks first within blast mitigation; interior finishes dominate fire resistance; and the type of structural system leads complexity, speed, and cost. Overall material weight (light-/heavy-weight) is the top indicator for debris removal and consistently prevails alongside seismic and repairability considerations. Scenario analysis reveals a stable decision core across contexts: the structural system and exterior walls remain among the top drivers in all four scenarios. Emphasis shifts then lift specific levers: in S1 (blast), exterior walls, structural system, and glazing become most influential, highlighting continuous anchorage, out-of-plane restraint, laminated glazing, and robust façade attachments; in S2 (fire), exterior walls, structural system, and façade materials dominate, underscoring low-flame-spread surfaces, smoke-control layers, and structural fire protection; in S3 (operations) and S4 (seismic), material weight consistently enters the top tier with the structural system and exterior walls, indicating the cross-cutting benefits of light-weighting for faster execution, easier debris handling and repair, and lower seismic demand. These results clarify trade-offs between safety, constructability, and recovery, and provide transparent rankings that can guide budget allocation under different hazard and operational emphases.

Conclusion

The proposed SWARA–SMART, scenario-calibrated framework offers a transparent and rapid pathway to prioritize materials and components in office buildings under multi-hazard constraints. By revealing a robust core (structural system + exterior walls) and scenario-specific levers (glazing/façade under blast/fire; light-weighting under operations/ seismic), the method enables targeted investment without dependence on a single case study. The framework is readily transferable to similar projects by reusing the criteria set and scoring protocol and can be extended with uncertainty treatment and performance-based testing in future applications.



ارزیابی سناریومحور آسیب‌پذیری مصالح در ساختمان‌های اداری با رویکرد چندمعیاره SWARA-SMART

امید میکائیلی - دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سجاد رنجبر شاه کوهی - پژوهشگر انجمن علمی پدافند غیر عامل ایران، تهران، ایران
مهدی بیطرفان* - پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

<https://doi.org/10.22034/ispdr.2025.2073844.1217>

چکیده	واژگان کلیدی
<p>این پژوهش یک چارچوب سریع و مصالح‌محور برای ارزیابی و رتبه‌بندی آسیب‌پذیری مصالح در ساختمان‌های تجاری/اداری ارائه می‌کند که قضاوت خبرگان را با روش‌های SWARA (برای وزن‌دهی معیارها) و SMART (برای امتیازدهی گزینه‌ها) تلفیق می‌کند؛ داده‌ها از طریق پرسشنامه دلفی با ۱۵ خبره گردآوری شده است. در مدل، هشت معیار شامل کاهش اثر انفجار، مقاومت در برابر آتش، عملکرد لرزه‌ای، تسهیل آواربرداری، مرمت‌پذیری، سرعت اجراء پیچیدگی اجرا و هزینه تعریف و وارد تحلیل شد. افزون بر این، برای بازنمایی اقتضانات واقعی تصمیم‌گیری، کالیبراسیون سناریومحور (سناریوهای انفجارمحور، آتش‌محور، عملیات‌محور و لرزه‌محور) به مدل افزوده شد تا حساسیت نتایج نسبت به الگوی خطر و الزامات بهره‌برداری سنجیده شود. وزن‌دهی SWARA نشان داد کاهش اثر انفجار بیشترین وزن (۰.۲۵۳۱) را دارد و سپس مقاومت در برابر آتش (۰.۱۹۴۷)، عملکرد لرزه‌ای (۰.۱۶۹۳)، آواربرداری (۰.۱۲۵۴)، هزینه (۰.۰۹۶۳)، مرمت‌پذیری (۰.۰۶۸۹)، سرعت اجراء (۰.۰۵۳۰) و پیچیدگی اجراء (۰.۰۳۹۳) قرار می‌گیرند. در سطح شاخص‌ها، شیشه در معیار انفجار، دکوراسیون داخلی در معیار آتش، و نوع سیستم سازه‌ای در معیارهای پیچیدگی، سرعت و هزینه شاخص‌ترین نقش را دارند؛ همچنین وزن (سبکی/سنگینی) مصالح در آواربرداری، مرمت‌پذیری و لرزه‌ای شاخص غالب است. به‌کارگیری مدل روی مطالعه موردی، شاخص آسیب‌پذیری مصالح ۲۲/۶۰ درصد را به‌دست داد که از منظر پدافند غیرعامل در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. در جمع‌بندی، چارچوب پیشنهادی به طراحان و مدیران امکان می‌دهد انتخاب مصالح را شفاف، زمینه‌مند و قابل‌پیگیری انجام دهند؛ جایی‌که معیارهای انفجار و آتش اولویت دارند و سبک‌سازی هدفمند نیز به‌صورت میان‌بر مشترک برای آواربرداری، مرمت و بهبود پاسخ لرزه‌ای عمل می‌کند.</p>	<p>مصالح ساختمانی چندخطره آسیب‌پذیری</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۶</p> <p>صص: ۲۷۸-۲۹۷</p>

نویسنده مسئول: (Email: mahdi.bitarafan@iiees.ac.ir)

۱- مقدمه

شده تا نتایج، از سطح یک مصداق خاص فراتر رود و به راهنمای عمل عمومی قابل استفاده در پروژه‌های مشابه تبدیل شود. روند ادامه پژوهش به اختصار چنین است: ابتدا پیشینه نظری و تجربی مرور و جایگاه کار نسبت به ادبیات موجود تبیین می‌شود؛ سپس در بخش روش تحقیق، منطق وزن‌دهی SWARA، امتیازدهی SMART و سازوکار کالیبراسیون سناریوها تشریح می‌گردد؛ در ادامه، شاخص‌ها و گزینه‌های مصالح معرفی و نتایج وزن‌دهی/امتیازدهی ارائه می‌شود؛ پس از آن، ارزیابی سناریومحور چهارگانه S1 تا S4 تحلیل و مقایسه شده و هسته پایدار تصمیم استخراج می‌گردد؛ و نهایتاً جمع‌بندی پژوهش ارائه می‌شود (بخش‌های مسیرهای آتی نیز در پایان مقاله به صورت مستقل خواهد آمد).

۲- پیشینه پژوهش

بدنه پژوهش‌های مربوط به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر تهدیدهای انسان‌ساخت و طبیعی، طی سال‌های اخیر با تکیه بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رشد کرده است. در این میان، تمرکز بر مدل‌های سریع ارزیابی که بتوانند وزن معیارها و کارایی گزینه‌ها را هم‌زمان بسنجند افزایش یافته است. نخعی و همکاران (۲۰۱۶) با ترکیب SMART-SWARA، مدلی برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری ادارات در برابر انفجار (مطالعه موردی: Swiss Re Tower) ارائه کردند که مبنایی برای کارهای بعدی شد. سمت‌وسوی مشابهی در ارزیابی تهدیدهای انسان‌ساخت شهری با مدل‌های یکپارچه مشاهده می‌شود؛ به‌طور مشخص، بیطرفان و همکاران (۲۰۲۳) با Grey BWM-Grey MARCOS نشان دادند که ادغام روش‌های خاکستری می‌تواند عدم قطعیت قضاوت خبرگان را در شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدها پوشش دهد.

در سطح «جزء» و مصالح، نقش پوسته بیرونی و شیشه در رفتار انفجاری پررنگ است. هاشمی‌نسب و همکاران (۲۰۱۹) با فازی دلفی-فازی EDAS نشان دادند که انتخاب مصالح نما (ترکیب و ضخامت لایه‌ها) در کاهش فشار بازتابی و مدیریت خرده‌ریز مؤثر است. یافته‌های آزمایشگاهی بر روی شیشه لمینیت نیز این موضوع را تقویت می‌کند؛ از جمله نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) و گوئو و همکاران (۲۰۲۴) درباره نقش میان‌لایه‌های پلیمری در افزایش جذب انرژی و کنترل پاشش، و چارچوب تحلیل/طراحی الکیلانی و همکاران (۲۰۲۵) برای بهینه‌سازی پیکربندی شیشه‌های چندلایه در برابر بار انفجار. همسو با این جریان، مطالعه تقویت نماهای شیشه‌ای لایه‌ای در برابر بار انفجار (نخعی و همکاران، ۲۰۱۵) نیز بر ضرورت تقویت هدفمند جزئیات اتصال و لایه‌بندی تاکید دارد.

در بافت‌های شهری پرتراکم، ساختمان‌های اداری در معرض ترکیبی از مخاطرات بیرونی و درونی (از انفجار و آتش‌سوزی تا زلزله و رخدادهای زنجیره‌ای) قرار دارند و هر تصمیم مصالحی، هم‌زمان بر ایمنی جانی، تداوم کسب‌وکار و هزینه چرخه عمر اثر می‌گذارد. با این حال، در عمل بخش بزرگی از انتخاب‌ها یا به اتکای تجربه‌های موردی انجام می‌شود یا بر مطالعه‌هایی تکیه دارد که تنها یک جزء یا یک معیار را بررسی کرده‌اند؛ در نتیجه پیوند میان «رفتار سازه‌ای و غیرسازه‌ای، زمان/هزینه اجرا، و قابلیت مرمت و آواربرداری به صورت یکپارچه دیده نمی‌شود. ضرورت و اهمیت این پژوهش دقیقاً در پرکردن همین خلأ است: ارائه چارچوبی سریع و سناریومحور که قضاوت خبرگان را به‌طور شفاف و کمی به وزن‌ها و امتیازها تبدیل کند، تبادل‌های طراحی را آشکار سازد و مسیر تخصیص منابع را در شرایط محدودیت زمان و بودجه روشن نماید.

مسئله محوری بدین صورت صورت‌بندی می‌شود که طراح و مدیر پروژه، در مواجهه با چند معیار هم‌زمان و گاه متعارض (کاهش اثر انفجار، مقاومت در برابر آتش، عملکرد لرزه‌ای، توانایی آواربرداری، مرمت‌پذیری، سرعت اجرا، پیچیدگی اجرا و هزینه) باید بدانند کدام شاخص‌های مصالح در اولویت سرمایه‌گذاری قرار می‌گیرند و این اولویت‌ها چگونه با تغییر زمینه خطر یا اقتضانات بهره‌برداری جابه‌جا می‌شود. مدل‌های مرسوم تک‌وزنه و غیرسناریویی، این بستر-وابستگی را بازتاب نمی‌دهند و در نتیجه خروجی‌شان به سادگی قابل دفاع یا تصمیم‌پذیر نیست. بنابراین نیازمند چارچوبی هستیم که از یک سو جامعیت شاخص‌ها را حفظ کند و از سوی دیگر، امکان کالیبراسیون برحسب سناریو را فراهم آورد تا پاسخ‌ها میانگین‌گیرانه نباشند، بلکه مشروط به زمینه ارائه شوند.

در پاسخ به این مسئله، اهداف تحقیق عبارت‌اند از: نخست، تدوین و اعتبارسنجی مجموعه‌ای روشن از شاخص‌های مصالح اثرگذار بر آسیب‌پذیری ساختمان‌های اداری در رویکرد چندمخاطره‌ای؛ دوم، وزن‌دهی شفاف معیارها با روش SWARA و امتیازدهی گزینه‌ها/شاخص‌ها با SMART به نحوی که خط سیر تصمیم قابل ردیابی باشد؛ سوم، تعریف چهار سناریوی مکمل— انفجارمحور (S1)، آتش‌محور (S2)، عملیات‌محور (S3)؛ متمرکز بر پیچیدگی/سرعت/هزینه/آوار/ترمیم و لرزه‌محور (S4)—و بازتوزیع نظام‌مند وزن معیارها برحسب سناریوی منتخب برای آشکارسازی حساسیت رتبه‌بندی‌ها؛ و چهارم، استخراج هسته پایدار تصمیم، یعنی آن دسته از شاخص‌ها که در اغلب سناریوها اثرگذار باقی می‌مانند و می‌توانند مبنای راهبردهای سازگار قرار گیرند. حذف مطالعه موردی در نسخه حاضر نیز به‌عمد انجام

در سطح معماری، ادبیات نشان می‌دهد ترکیب فرم+مصالح کلید کاهش خسارات ثانویه و کنترل مسیر موج است. بیطرفان و همکاران (۲۰۱۳) نقش فضاهای معماری در مقاومت در برابر انفجار را تبیین کرد؛ و مجموعه‌ای از پژوهش‌ها—از جمله «انتخاب ترکیب بهینه فرم‌های معماری از دیدگاه دفاع غیرعامل با AHP و IHWP» (بیطرفان و همکاران، ۲۰۱۵)، «نقش فرم‌های پایه ساختمان در حفاظت در برابر انفجار» (حسینی و همکاران، ۲۰۱۲)، و «ارزیابی انواع شکل بام در برابر انفجار» (پوری رحیم و همکاران)—نشان داده‌اند که فرم‌های فشرده و متقارن با شکست‌های کنترل‌شده پوسته و بازشوهای محدود، عملکرد بهتری دارند. در همین راستا، مطالعات کاربردی روی اجزای حساس نظیر بازشوهای سازگار با دفاع غیرعامل با روش AHP (حسینی و همکاران، ۲۰۱۳) و «ارزیابی انواع ورودی ساختمان در برابر انفجار» (پوری رحیم و همکاران، ۲۰۱۲)، به ظرایف هندسی—سازه‌ای و جزئیات ورودی اشاره می‌کنند. در حوزه کاربری اداری، «انتخاب بهترین فرم معماری ساختمان اداری با سطح عملکرد بی‌وقفه در برابر انفجار» (نخعی و همکاران ۲۰۱۵) معیارهای کارکردی—ایمنی را در کنار هم می‌سنجد. هم‌زمان، پیوند انتخاب مصالح فرم با تاب‌آوری چندمخاطره‌ای شهری در حال تقویت است. در بعد لرزه‌ای، بیطرفان و همکاران (۲۰۲۵) با RANCOM فازی نشان دادند شاخص‌های کالبدی (نوع مصالح، تراکم و فرم) و مدیریتی (مرمت‌پذیری و زمان بازگشت به کارکرد) بر تاب‌آوری مؤثرند؛ این یافته با مدل‌های نوین تاب‌آوری کالبدی—زمانی شهرها هم‌راستا است (مثلاً یانگ و همکاران، ۲۰۲۵، لیانگ و همکاران، ۲۰۲۴ و بیطرفان و نعمتی، ۲۰۲۶). در مقیاس سیاست‌گذاری شهری، «ارزیابی مخاطرات طبیعی در شهر تهران با رویکرد تلفیقی MCDM» (بیطرفان و همکاران، ۲۰۲۳) و «سنجش تاب‌آوری شهری در برابر حملات هوایی با IHWP» (بیطرفان و همکاران، ۲۰۲۳) نشان می‌دهند هم‌ترازسازی نقشه ریسک شهری با انتخاب‌های مصالح فرم در بنای واقعی، دقت تصمیم‌سازی را بالا می‌برد.

ادبیات مدیریت بحران شهری نیز بر فضاهای امن و کاهش مواجهه تاکید دارد: «انتخاب بهترین تونل‌های شهری به‌عنوان فضای امن با AHP» (مطالعه موردی ایران)» (نخعی و همکاران، ۲۰۱۵)، «ارزیابی آرایش فضای سبز شهری برای کاهش اثر انفجار بر ساختمان‌ها» (بیطرفان و همکاران، ۲۰۲۲)، و «ارزیابی جذابیت کاربری‌های شهری در برابر تهدیدات انسان‌ساخت با RANCOM-PIV» (بیطرفان و همکاران ۲۰۲۵b)، همگی بر نقش چینی کاربری‌ها، موانع نرم/سبز و راهروهای امن تأکید می‌کنند. همچنین «ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر حملات تروریستی» (مطالعه موردی: باغ‌فیض تهران)» (بیطرفان و همکاران، ۲۰۲۵) اهمیت بومی‌سازی سنج‌ها در مقیاس محله

را برجسته ساخته است. بوجان و چن (۲۰۱۰) در پژوهش به ارزیابی پیشگیری از انفجار ساختمان با استفاده از کامپوزیت پلیمری تقویت‌شده پرداختند. این کار مروری بر پیشگیری ساختمان در برابر انفجار ارائه می‌کند.

گبکن و دوج (۲۰۱۰) در پژوهش خود هندسه ساختمان و اثرات محیطی را به‌منظور جلوگیری از رسیدن امواج انفجاری به ساختمان ارزیابی کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که فشار بیشینه و تکانه به فاصله از مرکز انفجار، زاویه انفجار بازتابیده و مقاومت در برابر امواج وابسته است. افزون بر این، دریافتند که عناصر سازه‌ای می‌توانند هزینه‌های ناشی از انفجار را کاهش دهند.

یانگ و کیاو (۲۰۱۰) به بررسی مواد با جذب انرژی بالا برای طراحی مقاوم در برابر انفجار پرداختند. وضعیت کنونی مواد، چشم‌انداز طراحی برای طراحی مقاوم در برابر انفجار و در نظر گرفتن مطالعات موردی برای استفاده از مواد و فناوری‌های پیشرفته به‌منظور کاهش انفجار از نتایج این مطالعه است.

شی هونگ ژان و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای پارامتری انجام دادند تا واکنش شیشه پنجره‌های لایه‌لایه را در برابر بارهای انفجاری تعیین کنند.

هیدالانا و همکاران (۲۰۱۴)، در راستای مطالعه پیشین، به مدل‌سازی عددی و تحلیل عملکرد پنل‌های شیشه‌ای لایه‌لایه در برابر انفجار و تأثیر ویژگی‌های مادی آن پرداختند. این پژوهش روش جامعی را برای نشان دادن واکنش و رفتار پنل‌های شیشه‌ای لایه‌لایه در برابر انفجار تشریح می‌کند و اثر پارامترهای مهم مواد شیشه‌ای را نشان می‌دهد.

بیطرفان و نعمتی (۲۰۲۶) یک چارچوب احتمالاتی مبتنی بر یادگیری ماشین توضیح‌پذیر ارائه کردند که با ترکیب Random Forest و XGBoost و تحلیل SHAP نشان می‌دهد «فاصله از مرکز انفجار»، «مقدار معادل TNT» و «تعداد بلوک‌های واسط (اثر سپرمانع)» از اثرگذارترین عوامل بر سطح آسیب هستند. این نتایج، اهمیت عوامل کالبدی پوسته/جداره و نقش موانع شهری در تعدیل اثر موج انفجار را تقویت می‌کند و پشتوانه‌ای برای نگاه سناریومحور در تصمیم‌گیری مصالح فراهم می‌آورد (بیطرفان و نعمتی، ۲۰۲۶).

لانگدون و کان ول (۲۰۱۵) پژوهش‌های تجربی و عددی خود را درباره رفتار انفجاری کامپوزیت‌ها مطرح کردند. آن‌ها واکنش پلیمرهای تقویت‌شده، پنل‌های ساندویچی پلیمری و سازه‌های چندلایه لایه‌لایه الیاف فلزی را ارزیابی کردند.

در جمع‌بندی، مرور ادبیات از مدل‌های سریع SWARA-SMART (نخعی و همکاران، ۲۰۱۶) و ارزیابی تهدیدات با Grey BWM-MARCOS (بیطرفان و همکاران، ۲۰۲۳)، تا

شواهد جزءنگر درباره نما و شیشه لمینیت (هاشمی‌نسب و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ گوئو و همکاران، ۲۰۲۴؛ الکیلانی و همکاران، ۲۰۲۵) — نشان می‌دهد مدلی کاربردی و یکپارچه در سطح «مصالح بناهای تجاری» که معیارهای انفجار/آتش/زلزله/آواربرداری/مرمت‌پذیری را همزمان وزن‌دهی و تجمیع کند، هنوز کمیاب است؛ پژوهش حاضر تلاش می‌کند این خلأ را با چارچوب مصالح‌محور SMART-SWARA و اتکا بر قضاوت خبرگان پر کند.

۳- روش تحقیق

در این پژوهش، برای انتخاب و اولویت‌بندی مصالح و اجزای مؤثر در تاب‌آوری ساختمان‌های اداری، یک فرایند روش‌مند اجرا شد. ابتدا دامنه مطالعه و تعاریف هشت معیار اصلی (کاهش اثر انفجار، مقاومت در برابر آتش، عملکرد لرزه‌ای، توانایی آواربرداری، مرمت‌پذیری، سرعت اجرا، پیچیدگی اجرا و هزینه) بر اساس ادبیات و بازبینی خبرگان تثبیت گردید و فهرستی از شاخص‌ها/گزینه‌های مصالح در چهار دسته پوسته و نما (شیشه، نمای خارجی، دیوارهای پیرامونی)، اجزای سازه و سقف، جداکننده‌های داخلی و مؤلفه‌های وزنی تدوین شد. سپس با اجرای یک پیمایش تخصصی (دو دور غربالگری و یک دور نهایی‌سازی)، شاخص‌های کم‌اهمیت حذف و تعاریف مقیاس امتیازدهی یکدست شد. در گام وزن‌دهی، اهمیت نسبی معیارها با روش SWARA از پاسخ‌های خبرگان استخراج و به وزن‌های نرمال تبدیل شد تا نقشه ترجیحات جمعی به صورت شفاف به دست آید. بعد، عملکرد هر شاخص نسبت به هر معیار با روش SMART و بر مبنای مقیاس معنایی ۱ تا ۹ (ضعیف تا عالی) امتیازدهی شد؛ امتیازها هم‌تراز گردید و برای هر معیار، وزن نهایی شاخص‌ها محاسبه و در جداول گزارش شد. به منظور بازتاب وابستگی تصمیم به زمینه، کالیبراسیون سناریو محور انجام گرفت: چهار سناریوی مکمل تعریف شد — S1 انفجار محور، S2 آتش محور، S3 عملیات محور (پیچیدگی/سرعت/هزینه/آوار/ترمیم) و S4 لرزه محور — و در هر سناریو سهم معیار(های) کانونی به‌طور نظام‌مند پررنگ‌تر شد؛ سپس امتیازهای کل شاخص‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها برای هر سناریو جداگانه محاسبه گردید. در پایان، پایایی و پایداری نتایج با کنترل‌های کیفی (پاک‌سازی داده‌های ناهنجار، هم‌ترازی امتیازها و تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات معقول در وزن‌ها و سناریوها) بررسی شد و خروجی‌ها به صورت جداول قابل درج در متن/پیوست و خلاصه‌های تحلیلی ارائه گردید تا مسیر استفاده عملی از نتایج برای طراح، ناظر و کارفرما روشن باشد.

۳-۱- جمع‌آوری داده‌ها

فرایند جمع‌آوری داده‌ها با تکیه بر نظر ۱۵ خبره انجام شد که شامل طراحان سازه و معماری، متخصصان نما و پوسته، مدیران HSE و پدافند غیرعامل و کارشناسان مدیریت بحران شهری بودند. نمونه‌ها به صورت هدفمند و با رویکرد گلوله‌برفی انتخاب شدند تا اطمینان حاصل شود هر مشارکت‌کننده تجربه‌ای مستقیم در یکی از حوزه‌های سازه، پوسته/نما، مصالح و مدیریت ریسک دارد؛ معیارهای ورود شامل دست‌کم هفت سال سابقه مرتبط، آشنایی عملی با ارزیابی‌های انفجار، آتش و زلزله و آمادگی برای مشارکت در بیش از یک دور پرسشگری بود. گردآوری داده‌ها در یک مسیر پیوسته و یکپارچه پیش رفت: ابتدا با یک پیش‌پرسشنامه کوتاه، فهرست شاخص‌ها بازبینی و تعاریف یکدست شد و موارد مبهم حذف گردید؛ سپس بسته SWARA برای وزن‌دهی هشت معیار اصلی (کاهش اثر انفجار، مقاومت در برابر آتش، عملکرد لرزه‌ای، توانایی آواربرداری، مرمت‌پذیری، سرعت اجرا، پیچیدگی اجرا و هزینه) توزیع شد تا ترجیحات خبرگان به وزن‌های نرمال و قابل‌ردیابی تبدیل شود؛ در ادامه، همان گروه بسته SMART را دریافت کرد و عملکرد هر شاخص ذیل هر معیار را بر مبنای مقیاس معنایی ۱ تا ۹ (ضعیف تا عالی) امتیازدهی کرد تا امتیازهای هم‌تراز برای تجمیع فراهم شود. طی فرایند، کنترل‌های کیفی شامل راستی‌آزمایی روایی محتوایی توسط یک پنل کوچک از خبرگان، پالایش پاسخ‌ها (حذف پرسشنامه‌های دارای کسری داده معنادار یا تناقض آشکار و حذف پاسخ‌های تکراری)، هم‌ترازی امتیازها، و بازبینی موارد پرت از طریق تماس مجدد اجرا شد و محرمانگی هویت مشارکت‌کنندگان با اخذ رضایت آگاهانه رعایت گردید. پس از پاک‌سازی، داده‌های SWARA برای استخراج وزن‌های معیار و داده‌های SMART برای محاسبه امتیاز عملکرد شاخص‌ها آماده شد؛ سپس با کالیبراسیون سناریو محور (تعریف سناریوهای انفجار محور، آتش محور، عملیات محور و لرزه محور و بازتوزیع سهم معیارهای کانونی) امتیاز نهایی و رتبه‌بندی شاخص‌ها برای هر سناریو محاسبه و به صورت جداول استاندارد جهت درج مستقیم در متن مقاله آماده گردید.

۳-۲- جمع‌آوری داده‌ها

برای پیاده‌سازی مدل ارزیابی سریع معماری ساختمان‌های تجاری در برابر تهدیدها، از روش SMART (تکنیک رتبه‌بندی چندشاخصه ساده) استفاده شد. در این تکنیک می‌توان ترکیبی از شاخص‌های کیفی و کمی را به کار گرفت تا گزینه‌های مورد بررسی رتبه‌بندی شوند. در گام نخست، به منظور محاسبه وزن و طبقه‌بندی شاخص‌ها برای هر گزینه، بازه‌ای مشخص برای هر

۱۹۸۰)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (ساعتی و وارگاس، ۲۰۰۷)، آنتروپی (شانون، ۲۰۱۵) و کرسولیانس و تورسکیس، ۲۰۱۴)، FARE (گینوسیوس و همکاران، ۲۰۱۴، SWARA (زاوادسکاس و همکاران، ۲۰۰۸) و غیره. در میان این روش‌ها، SWARA یک روش جدید محسوب می‌شود. در این روش، نقش کارشناسان بسیار مهم است؛ زیرا آن‌ها وزن‌ها را ارزیابی و محاسبه می‌کنند. همچنین هر کارشناس اهمیت هر معیار را تعیین می‌کند. سپس همه معیارها از اولین تا آخرین رتبه‌بندی می‌شوند. برای این کار، کارشناس از دانش ضمنی و تجربیات خود استفاده می‌کند. بر اساس این تکنیک، مهم‌ترین معیار رتبه ۱ و کم‌اهمیت‌ترین معیار رتبه آخر را به دست می‌آورد. در نهایت، رتبه‌بندی کلی بر اساس میانگین امتیازهای کارشناسان تعیین می‌شود. توانایی کارشناسان در برآورد اهمیت نسبی معیارها در فرآیند تعیین وزن‌ها، مهم‌ترین عنصر در این روش است. این تکنیک برای هماهنگ‌سازی و جمع‌آوری داده‌ها از کارشناسان نیز مناسب است. علاوه بر این، روش پیچیده‌ای نیست و کارشناس به سادگی می‌تواند از آن استفاده کند. مزیت اصلی این روش در تصمیم‌گیری این است که در برخی موارد، اولویت‌ها بر اساس سیاست‌های شرکت یا کشور از قبل مشخص هستند و نیازی به ارزیابی مجدد برای رتبه‌بندی معیارها وجود ندارد. در سایر روش‌ها مانند AHP یا ANP، مدل بر اساس معیارها ایجاد می‌شود و ارزیابی کارشناسان بر اولویت‌ها و رتبه‌بندی‌ها اثرگذار است. بنابراین، روش SWARA در مواردی که کار می‌رود که اولویت‌ها بر اساس شرایط از پیش تعیین شده‌اند؛ و در نهایت، استفاده از SWARA برای محیط‌های خاص تصمیم‌گیری توصیه می‌شود.

۳-۴- تعریف سناریوها و تنظیم وزن‌ها

منطق انتخاب سناریوها بر این فرض استوار است که وزن‌دهی معیارها در ارزیابی چندمعیاره ذاتاً «بستر-وابسته» است و تصمیم درباره مصالح یک ساختمان اداری در بافت‌های شهری پرتراکم، بسته به الگوی خطر و الزامات بهره‌برداری، می‌تواند به نتایج کاملاً متفاوتی بینجامد؛ از این رو چهار سناریو تعریف شد تا طیف واقعی وضعیت‌های تصمیم را پوشش دهد و به جای یک پاسخ میانگین‌گیرانه، پاسخ‌های مشروط به زمینه به دست آید. سناریوی انفجارمحور (S1) به این دلیل وارد شد که بخش عمده‌ای از ریسک‌های حاد برون‌زا در ساختمان‌های شاخص شهری از طریق پوسته و بازشوها منتقل می‌شود و نقش اجزایی مانند شیشه، دیوارهای پیرامونی و جزئیات نما در کاهش پیامد انفجار تعیین‌کننده است؛ بنابراین لازم بود حالتی را بسنجیم که در آن معیار «کاهش اثر انفجار» بر سایر معیارها غلبه دارد.

شاخص تعریف شده و سپس شاخص‌ها توسط هر گزینه و با استفاده از فرمول‌های تعیین شده رتبه‌بندی می‌شوند. در مرحله بعد، وزن و اهمیت هر شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت، وزن نهایی و اولویت گزینه‌ها از ترکیب وزن‌ها به دست می‌آید. در ابتدا، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بر اساس سطح اهمیت اولویت‌بندی و وزن‌دهی می‌شوند. در این پژوهش، از تکنیک SWARA برای این منظور استفاده گردید. اگر i نشان‌دهنده تعداد شاخص‌های اصلی و j نشان‌دهنده تعداد زیرشاخص‌ها باشد، با تکنیک SWARA وزن W_i برای هر شاخص و وزن W_{ij} برای هر زیرشاخص به دست می‌آید. اگر امتیازی که هر یک از گزینه‌ها از سوی خبرگان دریافت می‌کنند را u_{ij} بنامیم، آنگاه امتیاز شاخص i از طریق میانگین وزنی امتیازات گزینه‌ها در زیرشاخص‌های مربوطه و با استفاده از فرمول (۱) تعیین می‌شود. بدیهی است که این مقدار عددی بین ۱ تا ۹ خواهد بود.

$$U_i = \frac{\sum_j w_{ij} u_{ij}}{\sum_j w_{ij} = \gamma} \quad \text{فرمول (۱)}$$

امتیاز کل (U) بر اساس امتیاز هر شاخص و وزن آن‌ها طبق فرمول (۲) تعیین می‌شود.

$$U = \frac{\sum_i U_i W_i}{\sum_i W_i} \quad \text{فرمول (۲)}$$

مقدار U عددی بین ۱ تا ۹ است که نشان‌دهنده میزان کارایی معماری ساختمان تجاری مورد نظر در برابر تهدیدها می‌باشد. به عبارت دیگر، سطح کارایی این ساختمان تجاری بر اساس این مدل تعیین خواهد شد. اگر این سطح با پارامتر L نمایش داده شود، برای محاسبه درصد آن از فرمول (۳) استفاده خواهد شد.

$$L = \frac{v}{q} \times 100 \quad \text{فرمول (۳)}$$

جدول ۱- سطوح مختلف مدل ارزیابی

سطح	درجه
$L < 40$	ضعیف
$40 \leq L < 70$	متوسط
$70 \leq L < 90$	خوب
$L \geq 90$	عالی

۳-۳- روش SWARA (تحلیل گام‌به‌گام نسبت ارزیابی وزن‌ها)

ارزیابی وزن یکی از مسائل مهم در بسیاری از موضوعات MADM (تصمیم‌گیری چندمعیاره) است. در میان روش‌های ارزیابی وزن که در مقالات معرفی شده‌اند می‌توان به این موارد اشاره کرد: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (ساعتی،

پوسته و نمای خارجی، نوع شیشه، قاب پنجره و سطح دکوراسیون داخلی) و هر گزینه بیانگر فناوری یا ماده‌ای مشخص برای تحقق آن است. هدف از سامان‌دهی این ماتریس، ایجاد زبان مشترک میان طراحان، مجریان و بهره‌برداران برای سنجش پیامدهای انتخاب‌های مصالح در مواجهه با مخاطراتی چون انفجار، آتش و زلزله و نیز اثر آن‌ها بر آواربرداری، مرمت‌پذیری، سرعت و پیچیدگی اجرا و هزینه‌های چرخه عمر است.

۴-۱- شاخص نوع مصالح سیستم سازه‌ای

این شاخص به جنس و فناوری سامانه باربر اصلی (بتن‌آرمه، فولادی، آجری، چوبی) می‌پردازد و بر پاسخ انفجار/آتش/زلزله، آواربرداری، مرمت‌پذیری و زمان/هزینه اجرا اثر مستقیم دارد. انواع آن عبارتند از:

فولادی: شکل‌پذیر و تعویض‌پذیر پساحادثه؛ مناسب انفجار/زلزله با جزئیات درست؛ نیازمند محافظت حریق.

بتن‌آرمه: سخت و سنگین با مقاومت ذاتی بهتر در آتش؛ در انفجار/زلزله وابسته به جزئیات آرماتور؛ مرمت ممکن است کند و پرهزینه شود.

آجری: رفتار ترد و آوار سنگین؛ تنها با مسلح‌سازی و مهاربندی به قاب پیرامونی قابل قبول می‌شود.

چوبی: بسیار سبک و سریع‌اجرا؛ کاهش برش پایه؛ اما طراحی حریق و کنترل اتصالات در بار ضربه‌ای حیاتی است.

۴-۲- شاخص مصالح دیوارهای پیرامونی

منظور نوع مصالح و سامانه اجرایی دیوارهای پیرامونی ساختمان است که پوسته خارجی را تشکیل می‌دهد و معمولاً شامل لایه جداره، اتصالات و زیرسازه نگهدارنده است. انواع آن عبارتند از:

دیوار آجری: چیدمان واحدهای آجری با ملات (سیمانی/گچی)، بندکشی منظم و در صورت لزوم کلاف‌های افقی/عمودی.

پانل سه‌بعدی (D Panel): دو شبکه مش فولادی موازی با هسته عایق پلی‌استایرن میان آن‌ها و لایه اندود/شاتکریت در دو طرف.

دیوار LSF: قاب سردنورد گالوانیزه (استاد/تراک) با اتصال پیچ، پوشش صفحات روکش‌دار گچی یا فیبر-سیمانی و نوار درزگیر. دیوار بلوک سیمانی: بلوک‌های سبک/معمولی توخالی یا توپر از سیمان و ریزدانه، چیدمان با ملات و در صورت نیاز میلگردگذاری/گروت‌ریزی.

دیوار بلوک سفالی: واحدهای سفالی توخالی بر پایه خاک رس پخته، اتصال با ملات یا چسب‌های بنایی.

دیوار بتنی: بتن‌ریزی در قالب با آرماتور شبکه/میلگرد (یا

سناریوی آتش‌محور (S2) به‌واسطه نقش بار حریق داخلی، ماهیت پوشش‌ها و الزامات آیین‌نامه‌ای در تداوم بهره‌برداری و ایمنی جانی انتخاب شد؛ این سناریو می‌سنجد اگر مقاومت در برابر آتش محور شود، اولویت شاخص‌ها چگونه جابه‌جا می‌شود و کدام مداخله‌ها (از جنس دکوراسیون داخلی، سازه و پوسته) بیشترین بازده را دارند. سناریوی عملیات‌محور (S3) برای بازنمایی محدودیت‌های اجرا و بهره‌برداری واقعی (یعنی پیچیدگی و سرعت اجرا، هزینه، آواربرداری و ترمیم) طرح شد تا ببینیم وقتی تمرکز بر قابلیت تحویل، نگهداری و بازگشت سریع به سرویس است، کدام شاخص‌ها (مانند سیستم سازه‌ای، دیوارهای خارجی/داخلی و وزن مصالح) به صدر می‌آیند و چه تبادلهایی میان سبک‌سازی، صنعتی‌سازی و هزینه رخ می‌دهد. سناریوی لرزه‌محور (S4) نیز به دلیل جایگاه خطر زلزله در برنامه‌ریزی شهری و نقش بنیادی جرم مؤثر و انتخاب سامانه سازه‌ای در پاسخ لرزه‌ای تعریف شد تا اطمینان حاصل شود تصمیم‌های مصالحی مطلوب در سایر حوزه‌ها، عملکرد لرزه‌ای را تضعیف نمی‌کند.

این چهار سناریو هم‌پوشان و مکمل‌اند، نه متعارض؛ آن‌ها به تصمیم‌گیر کمک می‌کنند منابع را هدفمند تخصیص دهد، حساسیت رتبه‌بندی‌ها را نسبت به تغییر وزن‌ها آشکار کند و از وارونگی ناخواسته ترجیحات در زمینه‌های مختلف ریسک و بهره‌برداری پیشگیری نماید.

کالیبراسیون وزن‌ها در سناریوها بدین‌صورت انجام می‌شود: وزن‌های معیارها w_i که با SWARA به‌دست آمده‌اند، ثابت تلقی می‌گردند؛ سپس برای معیار(های) کانونی هر سناریو ضریب تأکید m_i اعمال و وزن‌های به‌روزرشده پس از نرمال‌سازی محاسبه می‌شوند $\hat{w}_i = \frac{m_i w_i}{\sum_j m_j w_j}$ پیکربندی ضرایب پیشنهادی عبارت است از S1: $C1 \times 1.5$ ، S2: $C2 \times 1.5$ ، S3: $C3 \times 1.3$ و S4: $C8 \times 1.5$ توجه شود که وزن‌های درون‌معیاری (اولویت شاخص‌ها داخل هر معیار) دست‌نخورده می‌ماند و صرفاً توزیع بین معیارها جابه‌جا می‌شود. تعیین مقدار دقیق ضرایب بر اساس سطح خطر سایت، الزامات بهره‌برداری و اجماع خبرگان مستندسازی می‌گردد.

۴-۳ شاخص‌ها و گزینه‌های مصالح ساختمانی

در این بخش «ماتریس ارزیابی» معرفی می‌شود که از دو مؤلفه‌ی مکمل تشکیل شده است: شاخص‌ها که ابعاد کالبدی و مصالحی اثرگذار بر پیامدهای مخاطرات را بازنمایی می‌کنند، و گزینه‌های مصالح که انتخاب‌های واقعی و متداول زیر هر شاخص‌اند. هر شاخص جنبه‌ای از طراحی و ساخت را پوشش می‌دهد (مانند نوع سیستم سازه‌ای، مصالح دیوارهای پیرامونی و جدانکننده،

طاق ضربی: تیر آهن‌های موازی با فواصل منظم و پرکردن میان آن‌ها با آجر فشاری و ملات (سیستم سنتی).

سقف فلزی سبک (عرشه فولادی/Deck): ورق عرشه دوزنقه‌ای پروفیل‌دار روی تیر/تیرچه، همراه با برش‌گیر و لایه بتن رویه.

سقف چوبی: تیرکها/الوارهای چوبی یا پانل‌های مهندسی‌شده چوبی (مانند CLT) با لایه رویه مناسب.

تیرچه‌بلوک: تیرچه‌های پیش‌ساخته بتنی/فولادی با بلوک‌های پرکننده سفالی/پلی‌استایرن و اجرای بتن درجا رویه.

دال بتن‌آرمه: دال‌های یک‌طرفه/دوطرفه بتنی مسلح (درجا یا پیش‌ساخته/پیش‌تنیده) به‌عنوان صفحه پیوسته سقف.

۴-۶- شاخص نوع شیشه ساختمان

منظور نوع و آرایش لایه‌های شیشه در واحدهای بازشو یا پوسته شفاف ساختمان است (لایه‌های شیشه، میان‌لایه‌ها و واحدهای دو/سه‌جداره).

شیشه معمولی (Float آئیل): تک‌لایه شیشه بدون میان‌لایه یا فرآوری لمینیت؛ به‌صورت پنجره یا پنل منفرد به‌کار می‌رود.

شیشه لمینیت (دو/چندلایه): دو یا چند لایه شیشه که با میان‌لایه پلیمری به‌صورت دائمی به هم چسبیده‌اند.

شیشه دو/سه‌جداره با لایه لمینیت (IGU لمینیت): واحد عایق شیشه‌ای چندجداره (دو یا سه جداره) که دست‌کم یکی از جداره‌ها لمینیت است و بین جداره‌ها فاصله درزبندی‌شده (هوای خشک یا گاز) وجود دارد.

۴-۷- شاخص قاب پنجره و جزئیات اتصال

منظور نوع قاب پیرامونی بازشوها و شیوه اتصال آن به دیوار/زیرسازه است؛ شامل مقطع قاب، یراق‌آلات، لقمه‌ها/براکت‌ها، مهارهای مکانیکی و درزبندی.

قاب UPVC: پروفیل‌های سخت PVC با تقویت‌کننده داخلی (معمولاً گالوانیزه)، اتصالات جوش حرارتی یا مکانیکی و یراق‌آلات استاندارد.

قاب آلومینیومی: پروفیل‌های اکستروژن آلومینیوم (Thermal/Non-thermal) با اتصالات مکانیکی، گسکت‌ها و درزبندی الاستومری.

قاب فولادی: پروفیل‌های فولادی نوردشده/جوش‌خورده با صفحات پلیت و مهارهای پیچ/جوش برای اتصال به پیرامون.

قاب چوبی: الوار یا پروفیل‌های چوبی طبیعی/مهندسی‌شده با اتصالات مکانیکی به چهارچوب و درزبندی مناسب.

جزئیات اتصال: براکت/پلیت مهار، پیچ/انکر مکانیکی، گروت/رزین در محل‌های لازم، لقمه‌های تنظیم، نوار درزبند و آب‌بندکننده‌ها.

۴-۸- شاخص سطح دکوراسیون داخلی

منظور میزان و نوع مصالح و پوشش‌های به‌کاررفته در فضاهای داخلی (پوشش دیوار، سقف کاذب، کف‌پوش، دیوارکوب/قرنیز،

پانل‌های بتنی پیش‌ساخته)، شامل لایه نهایی اندود/نما. دیوار شیشه‌ای/کرتن‌وال: واحدهای شیشه‌ای در قاب آلومینیومی یا سیستم استیک/یونیتایز/فریم‌لس، متکی بر زیرسازه فلزی و قطعات اتصال.

۴-۳- شاخص مصالح دیوارهای جداکننده داخلی

منظور نوع مصالح و سامانه اجرایی دیوارهای غیرسازه‌ای داخل بناست که فضاهای داخلی را از هم جدا می‌کند (معمولاً تیغه‌ها/پارتیشن‌ها).

دیوار آجری داخلی: چیدمان واحدهای آجری با ملات (گچی/سیمانی) برای تیغه‌های غیر باربر.

پانل سه‌بعدی (D Panel) داخلی: دو شبکه مش فولادی با هسته پلی‌استایرن و پوشش اندود یا شاتکریت در طرفین.

دیوار LSF/خشک: قاب سردنورد گالوانیزه (استاد و تراک) با اتصالات پیچی و صفحات روکش‌دار گچی یا فیبر-سیمانی.

دیوار بلوک سیمانی داخلی: بلوک‌های سیمانی توخالی/توپر (معمولی یا سبک) با ملات بندکشی برای تیغه‌بندی.

دیوار بلوک سفالی داخلی: واحدهای سفالی توخالی مخصوص تیغه، اجرا با ملات یا چسب بنایی.

دیوار بتنی سبک/پیش‌ساخته داخلی: پانل‌های بتنی سبک یا پیش‌ساخته نازک برای جداسازی فضاهای داخلی.

۴-۴- شاخص پوسته و نمای خارجی

منظور نوع پوشش و سامانه اجرایی سطح خارجی ساختمان است که بر روی زیرسازه نگهدارنده اجرا می‌شود و شامل لایه نهایی نما، اتصالات و اجزای الحاقی آن است.

نمای آجری: اجرای واحدهای آجر نما بر روی بستر مناسب (ملات یا زیرسازه فلزی/مش) با بندکشی و در صورت لزوم قلاب‌ها و اتصالات مکانیکی.

نمای سنگی: صفحات سنگ طبیعی (تراورتن/گرانیت/...)، نصب‌شده به روش تر (ملاتی) یا خشک با اتصالات مکانیکی به زیرسازه فلزی.

نمای سیمانی: اندودهای پایه سیمان (ساده یا الیاف‌دار/پلیمری) بر روی لایه کروم‌بندی/شبکه، شامل لایه‌های زیرکار و رویه.

نمای کامپوزیت: ورق‌های کامپوزیت (معمولاً آلومینیوم کامپوزیت پانل/ACP) نصب‌شده روی زیرسازه فلزی به‌صورت پنل‌های مدولار با درزهای کنترلی.

نمای شیشه‌ای/کرتن‌وال: سامانه پوسته شفاف با واحدهای شیشه‌ای در قاب آلومینیومی، اجرا به روش استیک یا یونیتایز، شامل مولیون/ترنسوم، گسکت‌ها و اتصالات به سازه پشتیبان.

۴-۵- شاخص نوع سیستم سقف طبقات

منظور نوع سامانه پوشش و دیافراگم هر طبقه است که با اجزای باربر جانبی/اقاب‌ها درگیر می‌شود و شامل لایه اصلی سقف و اجزای همراه آن است.

جدول ۲- اولویت‌بندی معیارهای مصالح ساختمانی

اولویت‌ها	میانگین	نام	معیار
۱	۱/۰۵	C1	توانایی کاهش اثر انفجار
۲	۲/۳۸	C2	توانایی مقاومت در برابر آتش
۸	۶/۷۸	C3	پیچیدگی اجرا
۷	۵/۴۳	C4	سرعت اجرا
۵	۴	C5	هزینه
۴	۳/۲۹	C6	توانایی آواربرداری
۶	۴/۹۳	C7	قابلیت ترمیم
۳	۲/۸۶	C8	زلزله

جدول ۴ اولویت‌ها و وزن‌های نهایی معیارهای مصالح ساختمانی را نشان می‌دهد. در ستون «وزن» جدول، وزن هر معیار که از روش SWARA به دست آمده است، ارائه شده است. بر اساس جدول، معیار توانایی کاهش اثر انفجار با وزن ۰.۲۵۳۱ در رتبه اول قرار دارد. معیارهای توانایی مقاومت در برابر آتش و زلزله به ترتیب با وزن‌های ۰.۱۹۴۷ و ۰.۱۶۹۳ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. معیارهای توانایی آواربرداری، هزینه، قابلیت ترمیم، سرعت اجرا و پیچیدگی اجرا به ترتیب با وزن‌های ۰.۱۲۵۴، ۰.۰۹۶۳، ۰.۰۶۸۹، ۰.۰۵۳۰ و ۰.۰۳۹۳ در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۳- اولویت و وزن نهایی معیارهای مصالح ساختمانی

معیار	نماد	وزن نهایی	وزن مقایسه‌ای	میانگین اهمیت مقایسه‌ای
کاهش اثر انفجار	C1	۰.۲۵	۱.۰۰	۱
مقاومت در برابر آتش	C2	۰.۱۹	۰.۷۶	۰.۳۰۰
زلزله	C8	۰.۱۶	۰.۶۶	۰.۱۵۰
آواربرداری	C6	۰.۱۲	۰.۴۹	۰.۳۵۰
هزینه	C5	۰.۰۹	۰.۳۸	۰.۳۰۰
قابلیت ترمیم	C7	۰.۰۶	۰.۲۷	۰.۴۰۰
سرعت اجرا	C4	۰.۰۵	۰.۲۰	۰.۳۰۰
پیچیدگی اجرا	C3	۰.۰۳	۰.۱۵	۰.۳۵۰

اولویت‌بندی شاخص‌های مصالح ساختمانی

در این بخش، بر پایه‌ی داوری خبرگان، اهمیت هر شاخص در هر معیار محاسبه و وزن‌دهی شده است. برای خوانایی، ابتدا نگاشت نمادها می‌آید و سپس برای هر معیار (C1 تا C8) یک

مبلمان ثابت و عناصر تزئینی) از نظر کمیت و ماهیت مادی آن‌هاست.

سطح پایین: حداقل پوشش ضروری (رنگ یا اندود ساده)، سقف کاذب محدود یا بدون سقف کاذب، کفپوش اقتصادی، عناصر تزئینی کم.

سطح متوسط: پوشش‌های متعارف (رنگ/گچ پرداخت‌شده، دیوارکوب محدود)، سقف کاذب سبک یک‌سطح، کفپوش رایج (سرامیک/المنیت)، مبلمان ثابت معمول.

سطح بالا: پوشش‌های چندلایه و پر جزئیات (دیوارکوب گسترده، پانل‌های تزئینی)، سقف‌های کاذب چندسطح با نورپردازی، کفپوش‌های ممتاز (پارکت/سنگ)، مبلمان ثابت و عناصر تزئینی گسترده.

۹-۴- شاخص وزن مصالح مصرفی (بار مرده نسبی)

تعریف شاخص: مجموع وزن اجزای کالبدی به‌کاررفته در هر عضو/سطح (دیوار، سقف، نما و...) که به‌صورت بار مرده بر سازه وارد می‌شود و معمولاً بر حسب kg/m^2 یا kn/m^2 بیان می‌گردد. سبک: سامانه‌ها و مصالح با جرم پایین در واحد سطح/طول (مانند LSF/دیوار خشک، پانل‌های سبک، عرشه فولادی، شیشه‌های لایه‌ای نازک).

متوسط: سامانه‌ها با جرم میانه در واحد سطح/طول (مانند بلوک سفالی/سیمانی سبک، تیرچه‌بلوک متعارف، اندوهای معمول). سنگین: سامانه‌ها و مصالح با جرم بالاتر در واحد سطح/طول (مانند دیوار یا دال بتنی، سنگ ضخیم نما، مصالح بنایی توپر).

۵- یافته‌ها و نتایج

در این بخش، ابتدا نتایج روش SWARA ارائه می‌شود که در آن به اولویت‌بندی معیارهای مصالح ساختمانی و شاخص‌ها پرداخته شده است. سپس نتایج وزن‌دهی به گزینه‌ها که از روش SMART به دست آمده است، بیان می‌گردد.

۵-۱- اولویت‌بندی معیارهای مصالح ساختمانی

بر اساس نظر کارشناسان در زمینه مصالح ساختمانی، معیار توانایی کاهش اثر انفجار به عنوان اولویت اول شناخته شد. اولویت دوم مربوط به معیار مقاومت در برابر آتش‌سوزی است. معیارهایی شامل مقاومت در برابر زلزله، توانایی آواربرداری، هزینه، قابلیت ترمیم، سرعت اجرا و پیچیدگی اجرا به ترتیب به‌عنوان اولویت‌های سوم تا هشتم در نظر گرفته شده‌اند که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جمع‌بندی تحلیلی کوتاه به‌همراه جدول وزن‌های نهایی شاخص‌ها ارائه می‌شود.

(C2) توانایی مقاومت در برابر آتش

بالاترین وزن به دکوراسیون داخلی می‌رسد (۰.۱۶۰۳). کاهش بار حریق، انتخاب پوشش‌های دیرسوز/کم‌دود و کنترل مواد تزئینی، بیشترین بازده کاهش خطر را دارد. سپس سازه و دیوارهای خارجی می‌آیند (۰.۱۳۳۶ و ۰.۱۳۱۰). وزن کل (۰.۰۵۶۳) در آتش تعیین‌کننده نیست؛ یعنی سبک‌سازی به‌تنهایی جایگزین راهبردهای کاهش بار حریق نمی‌شود.

جدول ۶- اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در معیار توانایی مقاومت در برابر آتش

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
دکوراسیون داخلی	C2-8		1.00	0.16
سیستم سازه‌ای	C2-2	0.200	0.83	0.13
دیوارهای خارجی	C2-3	0.020	0.81	0.13
دیوارهای جداکننده داخلی	C2-4	0.030	0.79	0.12
نوع سقف طبقات	C2-6	0.020	0.77	0.12
پوسته خارجی نما	C2-5	0.300	0.59	0.09
قاب پنجره‌های	C2-7	0.010	0.59	0.0950
شیشه	C2-1	0.250	0.47	0.0760
وزن مصالح	C2-9	0.350	0.35	0.0563

(C3) پیچیدگی اجرا

سازه (0.1647) مهم‌ترین محرک پیچیدگی است؛ بعد دیوارهای خارجی/داخلی (۰.۱۲۶۷ و ۰.۱۲۳۰). به بیان اجرایی، انتخاب سامانه سازه‌ای، سطح نیاز به تخصص/زمان/تجهیزات را تعیین می‌کند. قاب پنجره کم‌پیچیدگی‌ترین مؤلفه است (0.0595).

جدول ۷- اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در معیار

پیچیدگی اجرا

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
سیستم سازه‌ای	C3-2		1.00	0.16
دیوارهای خارجی	C3-3	0.300	0.76	0.12
دیوارهای جداکننده داخلی	C3-4	0.030	0.74	0.12
پوسته خارجی نما	C3-5	0.020	0.73	0.12
نوع سقف طبقات	C3-6	0.010	0.72	0.11
وزن مصالح	C3-9	0.030	0.70	0.11
شیشه	C3-1	0.250	0.56	0.09
دکوراسیون داخلی	C3-8	0.200	0.46	0.07
قاب پنجره‌های	C3-7	0.300	0.36	0.05

جدول ۴- نگاهت نماد شاخص‌ها

کد	نام شاخص
*-1	شیشه
*-2	سیستم سازه‌ای ساختمان
*-3	دیوارهای خارجی ساختمان
*-4	دیوارهای جداکننده داخلی ساختمان
*-5	پوسته خارجی نما
*-6	نوع سقف طبقات
*-7	قاب پنجره‌های
*-8	دکوراسیون داخلی
*-9	وزن مصالح

(C1) توانایی کاهش اثر انفجار

تمرکز روی پوسته بیرونی نتیجه‌بخش‌ترین است: شیشه و دیوارهای خارجی تقریباً هم‌وزن‌اند (۰.۱۹۷۵ در برابر ۰.۱۹۵۶). پس راهبرد صحیح ترکیب شیشه مناسب + دیواره مقاوم است؛ پوسته نما سوم است (۰.۱۶۳۰). سقف طبقات (۰.۰۴۴۸) کم‌اثرترین شاخص انفجاری گزارش شده و پرداختن افراطی به آن بازدهی کمتری نسبت به پوسته خواهد داشت.

جدول ۵- اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در معیار توانایی

کاهش اثر انفجار

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
شیشه	C1-1		1.00	0.19
دیوارهای خارجی	C1-3	0.010	0.99	0.19
پوسته خارجی نما	C1-5	0.200	0.82	0.16
سیستم سازه‌ای	C1-2	0.300	0.63	0.12
قاب پنجره	C1-7	0.250	0.50	0.10
وزن مصالح	C1-9	0.350	0.37	0.07
دکوراسیون داخلی	C1-8	0.400	0.26	0.05
دیوارهای جداکننده داخلی	C1-4	0.150	0.23	0.04
نوع سقف طبقات	C1-6	0.030	0.22	0.04

بازگشت به بهره‌برداری را تسریع می‌کند. قاب پنجره کم‌اثرترین باقی می‌ماند.

C4) سرعت اجرا

سرعت پروژه را سازه (0.1625) و وزن کل (0.1609) می‌سازند؛ هر چه سامانه سبک‌تر و صنعتی‌تر باشد، سرعت بالاتر است. سپس دیوارهای خارجی/داخلی قرار دارند. قاب پنجره کم‌اثرترین است (0.0467).

جدول ۱۰ اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در معیار -

توانایی آواربرداری

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
وزن مصالح	C6-9		1.0000	0.1895
سیستم سازه‌ای	C6-2	0.200	0.8333	0.1579
دیوارهای خارجی	C6-3	0.300	0.6410	0.1215
دیوارهای جداکننده داخلی	C6-4	0.020	0.6285	0.1191
نوع سقف طبقات	C6-6	0.030	0.6102	0.1156
شیشه	C6-1	0.250	0.4881	0.0925
دکوراسیون داخلی	C6-8	0.010	0.4833	0.0916
پوسته خارجی نما	C6-5	0.400	0.3452	0.0654
قاب پنجره‌های	C6-7	0.400	0.2466	0.0467

جدول ۸ - اولویت‌ها نهایی شاخص‌ها در معیار سرعت اجرا

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
سیستم سازه‌ای	C4-2		1.00	0.16
وزن مصالح	C4-9	0.010	0.99	0.16
دیوارهای خارجی	C4-3	0.200	0.82	0.13
دیوارهای داخلی	C4-4	0.020	0.80	0.13
نوع سقف طبقات	C4-6	0.030	0.78	0.12
پوسته خارجی نما	C4-5	0.250	0.62	0.10
شیشه	C4-1	0.300	0.48	0.07
دکوراسیون داخلی	C4-8	0.400	0.34	0.05
قاب پنجره‌های	C4-7	0.200	0.28	0.04

C5) هزینه

سه ردیف اول هزینه، همان الگوی اجراست: سازه $(0.1625) >$ دیوارهای خارجی $(0.1609) >$ دیوارهای داخلی (0.1341) . یعنی سبد هزینه، عمدتاً در این سه شاخص قفل است. وزن کل کم‌اثرترین است (0.0467) ؛ بنابراین کاهش جرم لزوماً با کاهش هزینه مستقیم هم‌ارز نیست و باید جداگانه دیده شود.

جدول ۱۱ - اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در

معیار قابلیت ترمیم

شاخص	نماد	میانگین اهمیت مقایسه‌ای	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
وزن مصالح	C7-9		1.00	0.18
سیستم سازه‌ای	C7-2	0.200	0.83	0.15
دیوارهای خارجی	C7-3	0.300	0.64	0.12
دیوارهای جداکننده داخلی	C7-4	0.020	0.62	0.11
نوع سقف طبقات	C7-6	0.030	0.61	0.11
شیشه	C7-1	0.250	0.48	0.09
دکوراسیون داخلی	C7-8	0.010	0.48	0.09
پوسته خارجی نما	C7-5	0.400	0.34	0.06
قاب پنجره‌های	C7-7	0.400	0.24	0.04

توضیح: ردیف اول (C7-9) به‌عنوان مبنا در ستون «ادغام اولیه» و «وزن مقایسه‌ای» برابر ۱.۰۰۰۰ لحاظ شده است.

جدول ۹ - اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در معیار هزینه

شاخص	نماد	میانگین	وزن مقایسه‌ای	وزن نهایی
سیستم سازه‌ای	C5-2		1.00	0.16
دیوارهای خارجی	C5-3	0.010	0.99	0.16
دیوارهای جداکننده داخلی	C5-4	0.200	0.82	0.13
پوسته خارجی نما	C5-5	0.020	0.80	0.13
نوع سقف طبقات	C5-6	0.030	0.78	0.12
شیشه	C5-1	0.250	0.62	0.10
دکوراسیون داخلی	C5-8	0.300	0.48	0.07
قاب پنجره‌های	C5-7	0.400	0.34	0.05
وزن مصالح	C5-9	0.200	0.28	0.04

C8) زلزله

وزن مصالح (0.1804) مهم‌ترین عامل لرزه‌ای است (کاهش جرم = کاهش برش پایه). سپس سازه (0.1443) و پوسته نما (0.1110). بنابراین راهبرد لرزه‌ای مؤثر، ترکیب سبک‌سازی + سامانه سازه‌ای شکل‌پذیر + جزئیات مناسب پوسته است.

C6) توانایی آواربرداری و C7) قابلیت ترمیم

در هر دو معیار، وزن مصالح صدرنشین است (۰.۱۸۹۵)، سپس سازه (0.1579) و دیوارهای خارجی (0.1215). نتیجه روشن است: سبک‌سازی هدفمند و انتخاب سامانه سازه‌ای مناسب،

جدول ۱۲ - اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها در

معیار زلزله

وزن نهایی	وزن مقایسه‌ای	میانگین	نماد	شاخص
0.18	1.00		C8-9	وزن مصالح
0.14	0.80	0.250	C8-2	سیستم سازه‌ای
0.11	0.61	0.300	C8-5	پوسته خارجی نمای ساختمان
0.10	0.60	0.020	C8-3	دیوارهای خارجی
0.10	0.58	0.030	C8-6	نوع سقف طبقات
0.09	0.53	0.100	C8-8	دکوراسیون
0.09	0.52	0.010	C8-4	دیوارهای جداکننده داخلی
0.08	0.47	0.100	C8-1	شیشه
0.07	0.39	0.200	C8-7	قاب پنجره‌های

توضیح: ردیف اول (C8-9) به‌عنوان مینا در ستون ادغام اولیه و وزن مقایسه‌ای برابر ۱.۰۰۰۰ لحاظ شده است.

۳-۵- نتایج روش SMART برای امتیازدهی به گزینه‌های مصالح ساختمانی

نتایج امتیازدهی نشان می‌دهد «مصالح سبک صنعتی» در اغلب شاخص‌های اجرایی و پس‌احداثه (پیچیدگی کمتر، سرعت اجرا، آواربرداری، مرمت‌پذیری و تا حدی لرزه‌ای) برتری معناداری دارند، درحالی‌که «سامانه‌های سنگین/جرم‌مند» در معیارهای خطر محور انفجار و آتش امتیاز بالاتری می‌گیرند؛ بنابراین الگوی غالب، تبدیلی جرم-کارایی است و انتخاب نهایی به وزن‌دهی SWARA وابسته می‌ماند.

شیشه: شیشه ضد انفجار در کاهش اثر انفجار و آواربرداری/مرمت برتری قاطع نسبت به شیشه معمولی دارد، هرچند شیشه معمولی از منظر هزینه و تا حدی سهولت اجرا امتیاز بالاتری گرفته است؛ لذا در نواحی بحرانی نما، انتخاب شیشه لمینیت/ضدانفجار توجیه‌پذیر است و استفاده از شیشه معمولی صرفاً در مناطق کم‌خطر پیشنهاد می‌شود.

سیستم سازه‌ای: بتن‌آرمه در انفجار و آتش امتیاز پیشرو دارد، اما فولادی در سرعت اجرا، آواربرداری، مرمت‌پذیری و عملکرد لرزه‌ای بالاتر ارزیابی شده است. بدین ترتیب، اگر وزن معیارهای خطر محور (C1 و C2) غالب باشد، بتن‌آرمه مزیت می‌یابد؛ در صورت تأکید بر راهبری عملیات و بازگشت سریع به بهره‌برداری، سامانه فولادی منطقی‌تر است.

دیوارهای خارجی/داخلی: دیوار خشک/LSF و پانل‌های سبک در سرعت، پیچیدگی، آواربرداری، مرمت و لرزه‌ای امتیازهای بالا دارند؛ در مقابل دیوار بتنی (و تا حدی بنایی سنگین) در انفجار و آتش بالاتر است ولی در شاخص‌های اجرایی ضعیف‌تر دیده می‌شود. راهبرد عملی، به‌کارگیری پوسته مقاوم‌تر در بیرون همراه با تقسیمات داخلی سبک و قابل‌تعویض است.

پوسته و نما: نمای سیمانی تصویر متعادلی از کارایی چندمعیاره (اجرایی/پس‌احداثه/لرزه‌ای) نشان می‌دهد؛ «نمای سنگی» در آتش/انفجار بهتر است اما در سادگی اجرا و مرمت عقب می‌ماند؛ «نمای شیشه‌ای تمام‌عیار» کمترین کارایی انفجاری/آتش را دارد و تنها با شیشه لمینیت و اتصالات مهاربندی‌شده قابل توصیه است.

سقف طبقات: دال بتن‌آرمه در انفجار/آتش امتیاز بالاتری دارد، در حالی‌که «سقف فلزی سبک/Deck» در سرعت، آواربرداری، مرمت و لرزه‌ای مطلوب‌تر ارزیابی شده است. «طاق ضربی» هرچند در سرعت/هزینه نمره خوبی گرفته، ولی به‌دلیل کارایی پایین لرزه‌ای و قدیمی‌بودن فناوری، گزینه ارجح نیست.

قاب پنجره: UPVC و آلومینیوم از نظر سهولت اجرا، آواربرداری، مرمت و لرزه‌ای نمره بالایی دارند؛ قاب فولادی در انفجار/آتش بهتر است اما امتیازهای اجرایی/مرمتی پایین‌تری دارد. در هر حال، جزئیات اتصال و مهاربندی به پیرامون تعیین‌کننده است.

دکوراسیون داخلی: «مصالح سنگی» در انفجار/لرزه‌ای نمره بالاتری گرفته‌اند، اما گزینه‌های سبک‌تر (مثلاً پوشش‌های خشک) از نظر سرعت/مرمت/هزینه مناسب‌ترند؛ توصیه می‌شود در مسیرهای فرار و فضاهای پرتردد، بار حریق و ریزآوار با انتخاب مصالح کم‌دود و سبک مدیریت شود.

وزن مصالح (شاخص فراگیر): وزن کم تقریباً در همه معیارهای اجرایی و پس‌احداثه امتیاز برتر دارد و حتی در «کاهش اثر انفجار» نیز نمره بالایی گرفته است؛ لذا کاهش بار مرده) مشروط به کنترل الزامات آتش و دوام) مزیت سیستماتیک ایجاد می‌کند.

در جمع‌بندی، الگوی بهینه برای ساختمان تجاری در معرض مخاطرات ترکیبی، ترکیب پوسته مقاوم (شیشه لمینیت/نما با جزئیات مهاربندی‌شده، یا لایه بیرونی سخت) با اجزای داخلی سبک و تعویض‌پذیر و انتخاب یک سیستم سازه‌ای متناسب با اولویت‌های وزنی SWARA است؛ یعنی اگر تمرکز بر انفجار/آتش است، تمایل به بتن‌آرمه با پوسته مقاوم و شیشه لمینیت؛ و اگر راهبری عملیات/بازگشت سریع اولویت دارد، قاب فولادی با جداره‌ها و تقسیمات سبک و ماژولار ترجیح دارد.

۴-۵- ارزیابی نتایج در سناریوهای S1-S4

برای سنجش پایداری تصمیم در زمینه‌های متفاوت ریسک و بهره‌برداری، وزن معیارها بر اساس SWARA کالیبره و چهار سناریو (S1 تا S4) اعمال شد. نتایج مینا قبلاً گزارش شده است؛ در این بخش فقط پیامد سناریوها (جابه‌جایی رتبه شاخص‌ها و تمرکز مداخله) ارائه می‌شود. در هر سناریو، «سه شاخص برتر» آورده شده و یک برداشت کوتاه برای هدایت مداخله اضافه شده است.

جدول ۱۳ (SMART) وزن گزینه‌ها در معیارهای مورد بررسی -

شاخص	گزینه	وزن در معیار توانایی کاهش اثر انفجار	وزن در معیار توانایی مقاومت در برابر آتش	وزن در معیار پیچیدگی اجرا	وزن در معیار سرعت اجرا	وزن در معیار هزینه	وزن در معیار توانایی آواربرداری	وزن در معیار قابلیت ترمیم	وزن در معیار زلزله
شیشه	شیشه معمولی	۱.۱۰	۵.۱۱	۸.۷۶	۸.۱۲	۹.۱۸	۲.۲۳	۳.۱۷	۳.۱۷
	شیشه ضد انفجار	۸.۱۴	۵.۱۴	۴.۴۲	۴.۱۱	۲.۱۷	۸.۲۴	۷.۱۵	۷.۱۵
سیستم سازه‌ای ساختمان	اسکلت فولادی	۷.۲۱	۴.۱۹	۴.۴۵	۸.۸۸	۳.۱۶	۸.۱۷	۸.۱۷	۸.۱۷
	اسکلت بتنی	۸.۸۷	۸.۸۷	۲.۱۳	۲.۴۲	۲.۱۲	۲.۲۳	۳.۱۱	۳.۱۱
	ساختمان آجری	۳.۲۵	۱.۲۰	۸.۳۱	۵.۴۶	۸.۱۹	۳.۳۲	۴.۱۷	۴.۱۷
دیوارهای خارجی ساختمان	ساختمان چوبی	۱.۲۹	۱.۱۱	۶.۴۱	۷.۱۴	۷.۲۳	۶.۳۴	۲.۱۲	۲.۱۲
	دیوار آجری	۴.۱۵	۷.۱۸	۴.۴۲	۴.۱۷	۲.۳۱	۳.۱۷	۴.۱۶	۴.۱۶
	دیوار پانل	۴.۱۷	۳.۱۲	۸.۳۵	۳.۲۳	۳.۱۷	۷.۱۸	۶.۲۳	۶.۲۳
	دیوار خشک	۲.۳۲	۴.۱۹	۸.۹۵	۸.۷۹	۸.۱۴	۸.۱۴	۸.۲۵	۸.۲۵
	دیوار بلوک سیمانی	۶.۲۷	۷.۱۰	۶.۲۹	۷.۱۴	۳.۱۹	۴.۱۷	۵.۳۰	۵.۳۰
	دیوار بلوک سفالی	۴.۲۴	۷.۱۲	۵.۳۵	۵.۱۷	۲.۲۵	۶.۲۹	۵.۲۸	۵.۲۸
دیوارهای جداکننده داخلی ساختمان	دیوار بتنی	۸.۷۹	۸.۷۹	۲.۱۲	۲.۱۸	۱.۱۷	۲.۳۳	۲.۱۳	۲.۱۳
	دیوار آجری	۴.۱۹	۷.۱۲	۴.۱۶	۴.۱۹	۲.۱۹	۳.۴۶	۴.۱۹	۴.۱۹
	دیوار پانل سه‌بعدی	۴.۱۲	۳.۱۲	۸.۱۷	۳.۱۸	۳.۳۶	۷.۲۸	۶.۲۹	۶.۲۹
	دیوار خشک	۳.۱۵	۴.۱۲	۸.۸۴	۸.۸۹	۸.۲۴	۸.۳۴	۸.۲۱	۸.۲۱
	دیوار بلوک سیمانی	۶.۳۷	۶.۷۸	۶.۲۸	۷.۱۲	۴.۲۵	۴.۴۵	۵.۴۱	۵.۴۱
	دیوار بلوک سفالی	۳.۷۹	۷.۱۶	۵.۳۶	۵.۲۴	۳.۱۲	۶.۵۰	۵.۳۹	۵.۳۹
پوسته خارجی نما	دیوار بتنی	۸.۸۵	۸.۷۹	۵.۱۶	۲.۳۶	۱.۱۶	۲.۵۱	۲.۱۱	۲.۱۱
	نمای آجری	۵.۱۱	۶.۱۴	۵.۱۷	۵.۴۱	۷.۱۷	۳.۴۷	۴.۱۴	۴.۱۴
	نمای کامپوزیت	۶.۴۲	۴.۱۷	۴.۱۹	۶.۵۰	۵.۲۳	۷.۳۶	۷.۱۶	۷.۱۶
	نمای سیمانی	۵.۱۴	۷.۱۹	۸.۷۹	۸.۸۴	۶.۲۵	۸.۸۹	۷.۱۹	۷.۱۹
	نمای سنگی	۶.۲۴	۸.۱۷	۳.۲۴	۴.۱۶	۳.۲۱	۳.۲۱	۳.۳۲	۳.۳۲
نوع سقف طبقات	نمای شیشه‌ای	۱.۲۷	۱.۱۲	۱.۱۷	۲.۱۹	۲.۱۴	۴.۳۲	۶.۲۴	۶.۲۴
	تیرچه‌بلوک	۶.۲۳	۷.۱۹	۵.۱۹	۵.۲۶	۶.۲۴	۴.۳۳	۴.۱۷	۴.۱۷
	دال بتن‌آرمه	۸.۲۹	۸.۱۶	۱.۲۱	۲.۳۲	۳.۱۷	۳.۲۵	۲.۳۱	۲.۳۱
	سقف فلزی سبک	۳.۲۷	۳.۱۵	۴.۱۸	۷.۱۱	۴.۱۷	۷.۱۵	۷.۱۷	۷.۱۷
قاب پنجره	طلق ضربی	۳.۲۱	۶.۱۴	۸.۱۱	۸.۱۷	۸.۱۷	۳.۳۶	۳.۳۲	۳.۳۲
	UPVC	۴.۲۱	۴.۲۳	۸.۷۶	۸.۱۴	۶.۱۹	۸.۱۷	۸.۱۹	۸.۱۹
	فولادی	۷.۱۷	۶.۲۵	۶.۳۲	۵.۱۷	۷.۱۷	۳.۱۹	۵.۱۴	۵.۱۴
	چوبی	۲.۱۷	۱.۲۶	۶.۳۵	۴.۱۹	۸.۹۷	۸.۱۹	۳.۱۷	۳.۱۷
	آلومینیومی	۶.۲۹	۶.۲۷	۸.۲۴	۸.۱۲	۴.۱۴	۸.۱۲	۷.۱۸	۷.۱۸
دکوراسیون داخلی	شیشه‌ای	۱.۲۵	۴.۲۸	۵.۲۷	۸.۱۹	۶.۲۵	۵.۱۱	۳.۳۳	۳.۳۳
	چوبی	۳.۴۱	۸.۲۷	۸.۳۴	۵.۴۲	۵.۱۶	۶.۱۷	۳.۳۶	۳.۳۶
	سنگی	۷.۱۴	۸.۳۲	۲.۱۵	۳.۱۷	۴.۱۷	۲.۲۳	۸.۳۵	۸.۳۵
وزن مصالح	وزن کم ساختمان	۸.۱۷	۵.۲۴	۸.۸۷	۸.۱۹	۶.۱۹	۸.۸۸	۸.۲۹	۸.۲۹
	وزن زیاد ساختمان	۸.۱۹	۵.۲۶	۲.۱۱	۳.۱۳	۶.۲۵	۲.۱۱	۳.۲۵	۳.۲۵

سناریوی انفجار محور S1

در سناریوی انفجار محور که در آن معیار کاهش اثر انفجار پرننگ تر شده است، پوسته پیرامونی نقش اصلی را برعهده می‌گیرد: دیوارهای خارجی در رتبه نخست قرار می‌گیرد و پس از آن سیستم سازه‌ای و مصالح شیشه دیده می‌شوند. معنای عملی این الگو روشن است: ابتدا باید یکپارچگی دیوار پیرامونی را با جزئیات مهاربندی، اتصالات پیوسته، تقویت‌های موضعی و کنترل گسیختگی برون‌صفحه تضمین کرد؛ سپس انتخاب سامانه سازه‌ای با جزئیات ضدپیشرفت خرابی (روابط کششی سرتاسری، گره‌های شکل‌پذیر، دیافراگم پیوسته) در کاهش پیامد و محدود کردن ریزش‌های پی‌درپی مؤثر است. در گام سوم، شیشه لمینیت/ضدانفجار به‌همراه قاب و اتصالات مهارشده، ریسک ریزآوار تیز و پرسرعت را کاهش می‌دهد و مسیرهای خروج را ایمن‌تر می‌سازد. شاخص‌های پوسته/نمای خارجی و وزن مصالح مصرفی نیز به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند و بر لزوم توجه هم‌زمان به جزئیات نما و سبک‌سازی هدفمند تأکید دارند؛ درحالی‌که عناصر کم‌حجم‌تر مانند «قاب پنجره» اثر کلان کمتری بر نتیجه سناریویی دارند و باید تابع راهبرد دیوار-نما-شیشه دیده شوند.

جدول ۱۴ — سناریوی S1 (انفجار محور): رتبه‌بندی

شاخص‌ها بر اساس امتیاز تجمیعی

رتبه	شاخص	امتیاز تجمیعی (S1)
1	C*-3 دیوارهای خارجی	0.1503
2	C*-2 سیستم سازه‌ای	0.1416
3	C*-1 مصالح شیشه	0.1243
4	C*-5 پوسته/نمای خارجی	0.1197
5	C*-9 وزن مصالح مصرفی	0.1102
6	C*-4 دیوارهای جداکننده داخلی	0.0943
7	C*-6 نوع سقف طبقات	0.0935
8	C*-8 دکوراسیون داخلی	0.0879
9	C*-7 قاب پنجره	0.0782

سناریوی آتش محور S2

در سناریوی آتش محور که در آن مقاومت در برابر آتش (C2) پرننگ‌تر شده است، نتیجه‌ها نشان می‌دهد عناصر پوسته همچنان تعیین‌کننده‌اند. دیوارهای خارجی در رتبه نخست و با فاصله اندک

سیستم سازه‌ای در رتبه دوم قرار می‌گیرد؛ این یعنی کنترل گسترش آتش و حفظ یکپارچگی جداره‌ها همراه با حفاظت حریق سازه، بیشترین بازده را در کاهش ریسک آتش دارند. پوسته/نمای خارجی جایگاه سوم را می‌گیرد که بر لزوم انتخاب پوشش‌های دیرسوز، کم‌دود و کم‌اشتعال و نیز جزئیات اتصال ایمن در نما تأکید می‌کند. در ادامه، شاخص‌هایی مانند شیشه و وزن مصالح اثر ثانویه دارند و باید تابع راهبرد اصلی دیوار-سازه-نما دیده شوند؛ یعنی ابتدا رفتار حریق پوسته و سازه را مدیریت کنیم و سپس به بهینه‌سازی شیشه، وزن و سایر اجزا بپردازیم.

جدول ۱۵ — سناریوی S2 (آتش محور): رتبه‌بندی

شاخص‌ها بر اساس امتیاز تجمیعی

رتبه	شاخص	امتیاز تجمیعی (S2)
1	C*-3 دیوارهای خارجی	0.1434
2	C*-2 سیستم سازه‌ای	0.1427
3	C*-5 پوسته خارجی نما	0.1126
4	C*-1 شیشه	0.1116
5	C*-9 وزن مصالح	0.1095
6	C*-4 دیوارهای جداکننده داخلی	0.1028
7	C*-6 نوع سقف طبقات	0.1019
8	C*-8 دکوراسیون داخلی	0.0983
9	C*-7 قاب پنجره‌های	0.0771

سناریوی عملیات محور S3

در سناریوی عملیات محور (که بر پیچیدگی و سرعت اجرا، هزینه، آواربرداری و ترمیم تمرکز دارد) سیستم سازه‌ای و دیوارهای خارجی همچنان تعیین‌کننده‌ترین شاخص‌ها باقی می‌مانند و وزن مصالح مصرفی به‌طور سیستماتیک به جمع سه‌تای برتر می‌پیوندد. معنای اجرایی این نتایج روشن است: انتخاب سامانه سازه‌ای صنعتی و کم‌پیچیدگی (جزئیات اجرایی ساده، امکان پیش‌ساختگی و مونتاژ سریع)، همراه با جداره‌های سبک و قابل تعویض، هم زمان اجرا و هزینه را کنترل می‌کند و هم در صورت حادثه، آواربرداری و مرمت را تسهیل می‌سازد. بنابراین راهبرد برنده در S3، سبک‌سازی هدفمند + صنعتی‌سازی + طراحی قابل تعمیر است؛ به‌نحوی که قفل‌های اجرایی پروژۀ در سازه و جداره‌ها باز شود و چرخه بازگشت به سرویس کوتاه‌تر گردد.

۶- نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که ترکیب روش های SWARA و SMART همراه با کالیبراسیون سناریو محور می تواند فرآیند انتخاب مصالح در ساختمان های اداری را از سطح قضاوت های پراکنده و میانگین گیر به یک چارچوب تصمیم یار، زمینه مند و قابل دفاع ارتقا دهد. وزن دهی SWARA ابتدا تصویری شفاف از ترجیحات خبرگان در سطح معیارها ارائه کرد و سپس SMART این ترجیحات را به سطح شاخص ها ترجمه نمود؛ اما نقطه تمایز کار، وارد کردن منطق سناریو بود که امکان داد نتیجه ها مشروط به الگوی خطر و اقتضانات بهره برداری تفسیر شوند. بر اساس نتایج، یک هسته پایدار تصمیم در همه سناریوها تکرار شد: نوع سیستم سازه ای و دیوارهای خارجی همواره در میان مؤثرترین شاخص ها قرار گرفتند و عملاً ستون فقرات تصمیم به شمار آمدند؛ به این معنا که هر راهبرد مؤثر، ناگزیر باید بر گزینش سامانه سازه ای مناسب با جزئیات قابل اتکا و نیز طراحی و اجرای دیوار پیرامونی با اتصالات پیوسته، مهاربندی صحیح و کنترل رفتار برون صفحه تکیه کند.

در کنار این هسته پایدار، اهرم های مکمل سناریویی نمایان شد که جهت گیری مداخله ها را دقیق تر می کند. در سناریوی انفجار محور، پوسته و شیشه پررنگ می شوند و ضرورت استفاده از شیشه لمینیت/ضدانفجار، بهبود اتصالات قاب-دیوار-نما و یکپارچگی لایه های پوسته برجسته می گردد؛ در سناریوی آتش محور، رفتار حریق جدارها و نما در کنار حفاظت حریق سازه تعیین کننده است و انتخاب پوشش های دیرسوز، کم دود و کم گسترش آتش با جزئیات اتصال ایمن بر اولویت قرار می گیرد؛ در سناریوهای عملیات محور و لرزه محور، وزن مصالح مصرفی به طور سیستماتیک به جمع شاخص های کلیدی می پیوندد و پیام روشن آن سبک سازی هدفمند است که هم سرعت و هزینه اجرا را کنترل می کند و هم در پساحادثه (از آواربرداری تا مرمت) بازگشت به سرویس را تسریع و در زلزله، برش پایه را کاهش می دهد. این هم نشینی «سازه-دیوار پیرامونی-پوسته/شیشه-وزن» نشان می دهد که تصمیم درست، تصمیمی تک بعدی نیست؛ بلکه ترکیبی هماهنگ است که بین کاهش پیامد انفجار و آتش، کارایی اجرا و مرمت، و عملکرد لرزه ای تعادل ایجاد می کند.

انتقال عملی این یافته ها به پروژه، مستلزم آن است که پیش از انتخاب مصالح، یک صورت جلسه سناریویی در آغاز فاز طراحی تنظیم شود؛ در این صورت جلسه دامنه خطر غالب و اولویت های بهره برداری (سرعت، هزینه، ترمیم پذیری) مشخص و وزن های معیارها متناسب با آن کالیبره می شوند. سپس در طراحی مفهومی، انتخاب سامانه سازه ای با تأکید بر شکل پذیری، پیوستگی

جدول ۱۶- سناریوی S3 (عملیات محور): رتبه بندی

شاخص ها بر اساس امتیاز تجمیعی

رتبه	شاخص	امتیاز تجمیعی (S3)
1	C*-2 سیستم سازه ای	0.1453
2	C*-3 دیوارهای خارجی	0.1435
3	C*-9 وزن مصالح	0.1175
4	C*-1 شیشه	0.1128
5	C*-5 پوسته خارجی نما	0.1120
6	C*-4 دیوارهای جداکننده داخلی	0.1029
7	C*-6 نوع سقف طبقات	0.1019
8	C*-8 دکوراسیون داخلی	0.0912
9	C*-7 قاب پنجره های	0.0728

سناریوی لرزه محور S4

در سناریوی که معیار C8 (عملکرد لرزه ای) تقویت شده، الگوی تصمیم بر کاهش جرم مؤثر و انتخاب سامانه سازه ای شکل پذیر متمرکز می شود. نتایج نشان می دهد «سیستم سازه ای و دیوارهای خارجی همچنان دو محرک اصلی اند و وزن مصالح مصرفی به طور پایدار در جمع سه شاخص برتر قرار می گیرد؛ معنایش این است که سبک سازی حساب شده (کاهش بار مرده اجزا، استفاده از جداره های سبک و اتصالات کنترلی) همراه با جزئیات سازه ای مناسب (دیافراگم های پیوسته، گره های شکل پذیر و مسیرهای بار قابل اعتماد) بیشترین بازده را در کاهش برش پایه و جلوگیری از آسیب های برون صفحه ای دیوارها دارد. هم زمان، توجه به جزئیات اتصال پوسته به سازه ضروری است تا تمرکز تنش ها و جدایش های موضعی در نما/دیوار رخ ندهد.

جدول ۱۷- سناریوی S4 (لرزه محور): رتبه بندی

شاخص ها بر اساس امتیاز تجمیعی

رتبه	شاخص	امتیاز تجمیعی (S4)
1	C*-2 سیستم سازه ای	0.1436
2	C*-3 دیوارهای خارجی	0.1418
3	C*-9 وزن مصالح	0.1198
4	C*-5 پوسته خارجی نما	0.1140
5	C*-1 شیشه	0.1128
6	C*-6 نوع سقف طبقات	0.1002
7	C*-4 دیوارهای جداکننده داخلی	0.1000
8	C*-8 دکوراسیون داخلی	0.0926
9	C*-7 قاب پنجره های	0.0751

(شیشه لمینیت، اتصالات نما، دیافراگم‌ها) برای کالیبراسیون مدل.

- ابزار پیاده‌سازی و BIM: توسعه پلاگین BIM/Grasshopper که وزن‌های SWARA و امتیازهای SMART را روی مدل پروژه اعمال کند و Heatmap سناریویی و گزارش‌های خودکار تولید نماید.

- گسترش دامنه کاربری: باز کالیبراسیون برای کاربری‌های دیگر (مسکونی متراکم، درمانی، زیرساختی) و اقلیم/آیین‌نامه‌های متفاوت؛ همچنین ارزیابی تأثیر زنجیره تأمین و نوسان بازار مصالح بر رتبه‌بندی.

- تصمیم‌گیری مقاوم به عدم قطعیت: استفاده از چارچوب‌های Robust Decision Making و تحلیل ارزش اطلاعات برای تعیین اینکه کجا جمع‌آوری داده بیشتر (مثلاً آزمون شیشه یا اتصال نما) بیشترین بهبود را در قطعیت تصمیم ایجاد می‌کند.

دیافراگم‌ها، مسیرهای بار قابل اعتماد و جزئیات ضدپیشرفت خرابی در کنار طرح دیوار پیرامونی با اتصالات پیوسته و تقویت‌های موضعی به‌عنوان تصمیم‌های پایه تثبیت می‌گردد. در طراحی تفصیلی، پوسته/نما و شیشه برحسب سناریوی غالب بهینه می‌شوند: در S1 به سمت شیشه لمینیت و مهاربندی نما، در S2 به سمت مصالح و پوشش‌های دیرسوز با جزئیات اتصال مقاوم در برابر حرارت، و در S4 با توجه ویژه به اتصال پوسته به سازه برای مهار آسیب‌های برون‌صفحه‌ای. در تمام حالات، سبک‌سازی هدفمند—به‌ویژه در اجزای غیرسازه‌ای و داخلی—به‌عنوان راهبرد افقی دنبال می‌شود، مشروط بر آنکه الزامات آتش، دوام و عملکرد بهره‌برداری حفظ گردد.

مزیت مهم رویکرد حاضر آن است که شفافیت و قابلیت ردیابی تصمیم را افزایش می‌دهد: هر تغییری در فرض سناریو یا وزن‌ها، اثر مستقیم و قابل توضیحی بر رتبه شاخص‌ها دارد و این ویژگی از وارونگی‌های ناخواسته در مسیر تصمیم‌گیری می‌کند. به بیان دیگر، مدیر پروژه و طراح می‌توانند ببینند با پررنگ‌شدن یک خطر یا محدودیت اجرایی، کدام شاخص‌ها به صدر می‌آیند و بودجه محدود باید به کدام «نقاط اهرمی» تخصیص یابد. برآیند همه این‌ها یک توصیه روشن است: سازه مناسب و شکل‌پذیر به‌علاوه دیوار پیرامونی مقاوم با جزئیات اتصال صحیح و پوسته/شیشه متناسب با خطر که با سبک‌سازی حساب‌شده تکمیل می‌شود، راهبردی است که در اکثر زمینه‌ها بیشترین سازگاری و اثربخشی را نشان می‌دهد و می‌تواند مبنای تصمیم‌سازی حرفه‌ای در طرح و اجرای ساختمان‌های اداری قرار گیرد.

۷- مسیرهای آتی پژوهش

SWARA/SMART قطعی با نسخه‌های فازی، خاکستری یا بازه‌ای و اجرای مونت‌کارلو روی وزن‌ها و امتیازها برای کمی‌سازی عدم قطعیت.

- یکپارچه‌سازی چندخطره زنجیره‌ای: توسعه سناریو به درخت رخداد چندخطره (Seismic-Fire, Blast-Fire) با اختصاص احتمال وقوع و محاسبه ریسک موردانتظار.

- کوپل با شبیه‌سازی عددی: پیوند دادن خروجی‌های MCDA با FE/Explicit برای نما/دیوار/شیشه (مثلاً تحلیل انفجار گذرا و شکست برون‌صفحه) و CFD/Fire برای دمای مؤثر و گسترش دود؛ استفاده از این نتایج برای به‌روزرسانی امتیاز شاخص‌ها.

- اعتبارسنجی میدانی/پساحادثه: تطبیق رتبه‌ها با داده‌های واقعی پروژه و گزارش‌های حادثه/آزمون‌های میدانی

1. Bitarafan, A., Hossieni, S. B., Jalali, G. R., Yazdanfar, S. A., & Norouzian, S. (2022). Assessment of Urban Green Space Arrangements to Reduce Explosion Impacts on Buildings. *Safe City*, 5(1), 37-49.
2. Bitarafan, A., Shahbazi, M. A., & Habib, F. (2025). Assessing the Attractiveness of Urban Uses Against Man-made Threats Using the RANCOM-PIV Method. *Journal of Urban Studies on Space and Place*, 9(34), 91-108.
3. Bitarafan, M., & Amini Hossini, K. (2023). Developing a Model for Assessing Urban Resilience to Aerial Attacks Using the IHWP Method: A Case Study of District 5, Tehran. *Safe City*, 6(1), 116-142.
4. Bitarafan, M., & Nemat, A. (2026). Constructed urban infrastructure safety prediction under explosive effects using hybrid explainable ML approaches. *Structures*, 84, 110928. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.110928>.
5. Bitarafan, M., Abazarlou, S., & Zarei, G. H. (2025). Assessing Urban Resiliency Against Terrorist Attacks (Case study: Bagh-e-Fayz neighborhood in Tehran). *Journal of Urban Studies on Space and Place*, 9(34), 131-152.
6. Bitarafan, M., Amini Hosseini, K., & Hashemkhani Zolfani, S. (2023). Evaluating natural hazards in cities using a novel integrated MCDM approach (case study: Tehran city). *Mathematics*, 11(8), 1936.
7. Bitarafan, M., Hosseini, K. A., & Zolfani, S. H. (2023). Identification and assessment of man-made threats to cities using integrated Grey BWM-Grey MARCOS method. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(2), 581-599.
8. Bitarafan, M., Hosseini, K. A., Hashemkhani Zolfani, S., & Ziari, K. (2025). Evaluating earthquake resilience in urban areas: A novel fuzzy RANCOM approach. *Environment, Development and Sustainability*.
9. Bitarafan, M., Hosseini, S. B., Abazarlou, S., & Mahmoudzadeh, A. (2015). Selecting the optimal composition of architectural forms from the perspective of civil defense using AHP and IHWP methods. *Architectural Engineering and Design Management*, 11(2), 137-148.
10. Bitarafan, M., Hosseini, S. B., Javad hashemi-fesharaki, S., & Esmailzadeh, A. (2013). Role of architectural space in blast-resistant buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 2(1), 67-73.
11. Buchan, P. A., & Chen, J. F. (2010). Blast protection of buildings using fibre-reinforced polymer (FRP) composites. In *Blast protection of civil infrastructures and vehicles using composites* (pp. 269-297). Woodhead Publishing.

12. Gebbeken, N., & Döge, T. (2010). Explosion protection—architectural design, urban planning and landscape planning. *International Journal of Protective Structures*, 1(1), 1-21.
13. Hasheminasab, H., Hashemkhani Zolfani, S., Bitarafan, M., Chatterjee, P., & Abhaji Ezabadi, A. (2019). The role of façade materials in blast-resistant buildings: an evaluation based on fuzzy Delphi and fuzzy EDAS. *Algorithms*, 12(6), 119.
14. Hidallana-Gamage, H. D., Thambiratnam, D. P., & Perera, N. J. (2014). Numerical modelling and analysis of the blast performance of laminated glass panels and the influence of material parameters. *Engineering Failure Analysis*, 45, 65-84.
15. Hosseini, B., Bitarafan, M., Hosseini, B., & Hashemi-fesharak, J. (2013). Openings compatible with passive defense architecture by using Analytic hierarchy process (AHP). *Journal of Architecture and Urban Planning*, 6(11), 25-38.
16. Hosseini, S. B., Bitarafan, M., Hashemi-Fesharaki, S. J., & Norouzian-Maleki, S. (2012). The role of basic forms buildings in explosion protection. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2(8), 47-50.
17. Langdon, G. S., Lee, W. C., & Louca, L. A. (2015). The influence of material type on the response of plates to air-blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 78, 150-160.
18. Liang, Y., Wang, C., Chen, G., & Xie, Z. (2024). Evaluation framework ACR-UFDR for urban form disaster resilience under rainstorm and flood scenarios: A case study in Nanjing, China. *Sustainable Cities and Society*, 107, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105424>
19. Nakhaei, J., Bitarafan, M., & Lale Arefi, S. (2015). Choosing the best urban tunnels as safe space in crisis using AHP method: a case study in Iran. *Journal of Architecture and Urbanism*, 39(2), 149-160.
20. Nakhaei, J., Bitarafan, M., Lale Arefi, S., & Kapliński, O. (2016). Model for rapid assessment of vulnerability of office buildings to blast using SWARA and SMART methods (a case study of swiss re tower). *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(6), 831-843.
21. Nakhaei, J., Forghani, S., Bitarafan, M., Lale Arefi, S., & Šaparauskas, J. (2015). Reinforcement of laminated glass facades against the blast load. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(8), 1085-1097.
22. Purirahim, A. A., Bitarafan, M., Arefi, S. L., & Setareh, A. A. (2012). Evaluation of Types of Buildings Entrances against Explosion. *American Journal of Advanced Scientific Research (AJASR)*, 1(1).

23. Rahim, A. A. P., Bitarafan, M., & Arefi, S. L. (2013). Evaluation of types of shapes of building roof against explosion. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 1.
24. Yang, F., Wang, Y., Che, M., & Luo, J. (2025). The evaluation and analysis of spatial and temporal evolution of urban resilience in the Yangtze River Economic Belt. *Sustainability*, 17(16), 7408. <https://doi.org/10.3390/su17167408>
25. Yang, M., & Qiao, P. (2010). High energy absorbing materials for blast resistant design. In *Blast Protection of Civil Infrastructures and Vehicles Using Composites* (pp. 88-119). Woodhead Publishing.
26. Zhang, X., Hao, H., & Ma, G. (2013). Parametric study of laminated glass window response to blast loads. *Engineering Structures*, 56, 1707-1717.