

از مقاوم سازی سازه‌های تا حفاظت لرزه‌ای یکپارچه: واکاوی تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در میراث معماری ایران

داوود امامی میبدی^{۱*}، عیسی اسفنجاری کناری^۲، حامد عزیزی بندرآبادی^۳

۱. دانشجوی دکتری مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان،

ایران

۲. دانشیار دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استادیار گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

(این مقاله برگرفته‌شده از بخش مباحث نظری رساله دکتری نگارنده اول با موضوع «حفاظت لرزه‌ای طاق آهنگ خشتی در خانه‌های دشت یزد - اردکان با رویکرد کاربرد دانش بومی» به استادی دکتر عیسی اسفنجاری کناری و دکتر حامد عزیزی بندرآبادی در دوره دکتری مرمت دانشگاه هنر اصفهان است)

چکیده

زمین‌لرزه یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده بناهای تاریخی ایران است و تجربه زمین‌لرزه‌های اخیر نشان داده است که حفاظت لرزه‌ای این آثار نیازمند رویکردی فراتر از مقاوم‌سازی صرف سازه‌ای است. باوجود توسعه منشورها و اسناد بین‌المللی حفاظت، چگونگی انطباق این اصول با شرایط کالبدی، تاریخی و مدیریتی ایران همچنان با ابهام همراه است. از این‌رو، هدف این پژوهش تحلیل تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در میراث معماری، بررسی نسبت میان اصول منشورهای بین‌المللی و تجربه‌های اجرایی ایران و ارائه یک چارچوب مفهومی برای حفاظت لرزه‌ای بناهای تاریخی است. پژوهش حاضر از نوع کیفی و تفسیری بوده و با استفاده از تحلیل تطبیقی نمونه‌های موردی انجام‌شده است. داده‌های پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی گردآوری و سپس بر اساس یازده اصل حفاظت لرزه‌ای کدگذاری و مقایسه شده‌اند. در مرحله نهایی، با تحلیل الگوهای مشترک و روندهای تاریخی، چارچوب مفهومی تحول حفاظت لرزه‌ای در ایران استخراج‌شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تحول حفاظت لرزه‌ای در ایران در سه مرحله قابل تبیین است: رویکرد سازه‌محور، رویکرد ارزش‌محور و رویکرد یکپارچه مبتنی بر مدیریت ریسک و تاب‌آوری. همچنین تحلیل تطبیقی منشورهای بین‌المللی و تجربه‌های ایران منجر به استخراج سه خوشه اصلی حفاظت لرزه‌ای شامل ایمنی لرزه‌ای، حفاظت کالبدی و اصالت میراثی شد که هر یک مجموعه‌ای از اصول نظیر حداقل مداخله، عدم تعدی، خوانایی، سازگاری و دوام، اثربخشی و پایش، تمامیت، حرمت‌گذاری و برگشت‌پذیری را دربر می‌گیرد. بر پایه این خوشه‌ها، مدل مفهومی حفاظت لرزه‌ای پیشنهاد می‌شود که نشان می‌دهد تصمیم‌گیری در مداخلات لرزه‌ای باید حاصل برقراری تعادل میان الزامات ایمنی، حفاظت از کالبد تاریخی و صیانت از ارزش‌های میراثی باشد. نتایج پژوهش بیانگر آن است که حفاظت لرزه‌ای موفق در بناهای تاریخی صرفاً به ارتقای مقاومت سازه‌ای محدود نمی‌شود، بلکه مستلزم تلفیق هم‌زمان الزامات فنی، ویژگی‌های کالبدی و ارزش‌های فرهنگی در قالب یک چارچوب تصمیم‌گیری یکپارچه است.

تاریخ دریافت:

۱۴ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۲۱ تیر ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

زلزله،

مدل مفهومی،

حفاظت لرزه‌ای،

سیر تحول،

اصول حفاظت.

doi : 10.22034/ahdc.2026.24151.1900

E-ISSN: 2645-372X / © 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



۱- مقدمه

ایران سرزمینی پویا و بی‌قرار است. به استناد داده‌های مهلرزهای گردآوری‌شده از منابع تاریخی، سرزمین ایران زمین لرزه‌های گوناگونی را تجربه کرده است (امبرز و ملویل، ۱۳۷۷). بنا به این درک تاریخی، تعمیر و بازسازی پس از آخرین زمین‌لرزه می‌بایست مطالعه شود. درس‌های زلزله باید به‌طور مستمر آموخته شوند و همیشه آگاه باشیم که بین دو زمین‌لرزه به سر می‌بریم (فیلدن، ۱۳۸۳: ۱۱).

در ایران هم‌زمان با ورود فناوری‌های نوین و آیین‌نامه‌های مهندسی، حفاظت لرزه‌ای بناهای تاریخی تحت تأثیر دو جریان عمده شکل گرفته است؛ از یک‌سو، تجربه‌های مبتنی بر دانش بومی، شناخت مصالح و راهکارهای سازگار با زمینه و از سوی دیگر، مداخلات مبتنی بر استانداردها و فناوری‌های نوین مهندسی. تعامل و گاه تعارض میان این دو رویکرد، موجب شکل‌گیری تجربه‌های متنوعی در حفاظت لرزه‌ای شده است که مطالعه آن‌ها می‌تواند روند تحول اندیشه حفاظت در ایران را روشن سازد.

باوجود گسترش پژوهش‌ها در زمینه مقاوم‌سازی لرزه‌ای و حفاظت از بناهای تاریخی، بیشتر مطالعات بر ارزیابی روش‌های اجرایی یا فناوری‌های مقاوم‌سازی تمرکز داشته‌اند و کمتر به تحلیل تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای، نسبت میان اصول منشورهای بین‌المللی و تجربه‌های اجرایی ایران و تبیین چارچوبی مفهومی برای تصمیم‌گیری در مداخلات پرداخته‌اند. این خلأ، ضرورت پژوهشی را آشکار می‌کند که بتواند ضمن تبیین روند تحول حفاظت لرزه‌ای، ارتباط میان اصول نظری و تجربه‌های عملی را نیز روشن سازد.

پرسش‌های تحقیق

این تحقیق در پی پاسخ به این سؤالات است که رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در ایران چه تحولاتی را طی کرده‌اند؟ مداخلات انجام‌شده چه نسبتی با اصول حفاظت کالبدی دارند؟ و بر اساس تجربیات ایرانی چه چارچوبی برای حفاظت لرزه‌ای قابل‌ارائه است؟

هدف اصلی این پژوهش، تبیین روند تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در ایران و استخراج چارچوب مفهومی ارزیابی مداخلات لرزه‌ای در بناهای تاریخی است. در این راستا، پژوهش می‌کوشد با مطالعه و مقایسه نمونه‌های اجرایی حفاظت لرزه‌ای، الگوهای حاکم بر انتخاب مصالح، فنون و راهبردهای مداخله را شناسایی نموده و میزان انطباق آن‌ها را با اصولی چون برگشت‌پذیری، حداقل مداخله، سازگاری، عدم تهاجم، خوانایی، تمامیت و حرمت‌گذاری مورد ارزیابی قرار دهد. درنهایت پس از تبیین روند تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای، چارچوب مفهومی حفاظت لرزه‌ای مبتنی بر تجربیات ایرانی را ارائه دهد.

۲- پیشینه نظری تحقیق

تحلیل مطالعات پیشین نشان می‌دهد پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه حفاظت و بهسازی لرزه‌ای میراث معماری را می‌توان در دو جریان اصلی دسته‌بندی نمود. جریان نخست، مطالعات فنی و مهندسی هستند که عمدتاً بر ارزیابی آسیب‌پذیری، تحلیل رفتار سازه‌ای و معرفی روش‌های مقاوم‌سازی متمرکز بوده‌اند. جریان دوم، مطالعات نظری و حفاظتی هستند که بر اصول مداخله، ارزش‌های میراثی، اصالت، تمامیت و معیارهای اخلاقی حفاظت تمرکز داشته‌اند.

۲-۱- مطالعات ارزیابی، بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای بناهای تاریخی

بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه میراث معماری ایران به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تحلیل رفتار سازه‌ای بناهای تاریخی اختصاص دارد. این مطالعات عموماً با رویکرد مهندسی سازه و باهدف شناخت میزان آسیب‌پذیری، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای و ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی انجام‌شده‌اند. در این رویکرد، بناهای تاریخی اغلب

به‌مثابه سازه‌های مصالح بنایی غیرمسلح تلقی شده و تحلیل‌ها عمدتاً بر سنجش ظرفیت باربری و رفتار لرزه‌ای متمرکز بوده است.

در این زمینه، آزموده و سروقدمقدم به تحلیل سلسله مراتبی ساختمان‌های بنایی پرداخته‌اند (آزموده و سروقدمقدم، ۲۰۱۲). حجازی و میرقادرى رفتار لرزه‌ای گنبد‌های نظام‌الملک و تاج‌الملک مسجد جامع اصفهان، گنبد مسجد امام و مناره سین را مورد تحلیل عددی قرار داده‌اند (حجازی و میرقادرى، ۱۳۸۵). همچنین پس از انتشار دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای بناهای تاریخی ایتالیا، مطالعات متعددی در خصوص خانه کلانتر (غلامی و آخوندی، ۲۰۲۳)، خانه صدقیانی (داوری و همکاران، ۲۰۲۴)، خانه قدکی (داوری و همکاران، ۲۰۲۳) و خانه علی‌مسیو (غلامی و آخوندی، ۲۰۲۳) انجام شد که همگی بر ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل رفتار لرزه‌ای متمرکز بودند.

در ادامه، برخی پژوهشگران به مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری پرداخته‌اند. هادیان و سرتیپی‌پور این رویکرد را در بافت تاریخی نایبند به کار گرفتند (هادیان و سرتیپی‌پور، ۲۰۱۳). فیض‌الله‌بیگی نیز مدلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری پیشنهاد نموده است (فیض‌الله‌بیگی، ۱۳۹۶). روان‌خواه ارزیابی لرزه‌ای ارگ بم را با تأکید بر مدیریت خطرات طبیعی و انسانی موردبررسی قرار داده است (Ravankhah, 2019). دیانی و همکاران عملکرد لرزه‌ای بخش جنوبی مسجد جامع امام اصفهان را تحلیل کردند (Dinani et al, 2021).

گروه دیگری از مطالعات بر معرفی و ارزیابی روش‌های مقاوم‌سازی متمرکز بوده‌اند. اقبالی و همکاران روش‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌های مصالح بنایی را مرور کردند (دهکردی و همکاران، ۲۰۱۴). وفائی بانه تکنیک‌هایی همچون شاتکریت بتن، افزایش صلبیت با لایه بتنی، کاشت نزدیک سطح و استفاده از ورقه‌های GFRP را بررسی نمود (Banah&Banah, 2020). خلیل‌زاده وحیدی و همکاران نیز روش‌های مقاوم‌سازی بناهای خشتی را مورد مطالعه قرار دادند (خلیل‌زاده وحیدی و دیگران، ۱۳۹۸).

اگرچه این مطالعات نقش مهمی در شناخت رفتار لرزه‌ای و توسعه راهکارهای فنی مداخله داشته‌اند، اما عمدتاً در سطح ارزیابی آسیب‌پذیری یا معرفی روش‌های تقویت سازه‌ای باقی‌مانده‌اند و کمتر به نسبت میان مداخلات لرزه‌ای و اصول حفاظت میراث فرهنگی پرداخته‌اند.

۲-۲- مطالعات معیارهای مداخله و حفاظت سازه‌ای میراث معماری

در کنار مطالعات فنی و مهندسی، گروه دیگری از پژوهش‌ها بر مبانی نظری حفاظت، معیارهای مداخله و اصول تصمیم‌گیری در حفاظت سازه‌ای تمرکز داشته‌اند. هدف اصلی این مطالعات ایجاد تعادل میان الزامات فنی و ارزش‌های میراثی در فرآیند مداخله است.

در این زمینه، کورریا معیارهای ضمنی و صریح مداخله را به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری در پروژه‌های حفاظتی معرفی کرده است (Correia, 2016). میلتن و همکاران در پروژه‌های مرمت معماری خاکی شبه‌جزیره ایبری، معیارهایی همچون استحکام‌بخشی، بازسازی، ترکیب مجدد و تخریب کنترل‌شده را مورد استفاده قرار داده‌اند (Mileto et al, 2012). همچنین موسسه گتی با استناد به پژوهش تولز و همکاران، اصول شناخت بنا، حداقل مداخله و برگشت‌پذیری را به‌عنوان مبانی اصلی حفاظت سازه‌ای معرفی کرده است (Tolles et al, 2006).

در ادامه این رویکرد، کورریا و والیمن بر تلفیق معیارهای مداخله و روش‌شناسی حفاظت در بناهای خشتی تأکید نموده‌اند (Correia & Walliman, 2014). وارگاس و نیومن نیز در حوزه حفاظت میراث خاکی در مناطق لرزه‌خیز، اصولی نظیر حداقل مداخله، برگشت‌پذیری و استفاده از مصالح سازگار را مورد توجه قرار داده‌اند (Vargas&Neumann, 2012). همچنین مهدیزاده و همکاران چارچوبی برای تصمیم‌گیری در مداخلات بناهای تاریخی ارائه نموده‌اند که در آن خطر لرزه‌ای، آسیب‌پذیری، سازگاری با اصول حفاظت و محدودیت‌های اجرایی به‌صورت هم‌زمان مدنظر قرار می‌گیرد (Mehdizadeh et al, 2017).

در ایران نیز برخی پژوهش‌ها به مبانی نظری حفاظت پرداخته‌اند. هوشیاری و همکاران با طرح مفهوم حفاظت شرقی، بر نقش ارزش‌های معنوی و ناملموس در فرآیند حفاظت تأکید کرده‌اند (هوشیاری و همکاران، ۱۴۰۱). دل و کمالی مدل حفاظت کالبدی - معنایی را برای میراث معماری ایران پیشنهاد نموده‌اند (دل و کمالی، ۱۴۰۰). پیروی و همکاران به تحلیل پارادایم‌های حفاظت معماری در ایران معاصر پرداخته‌اند (دل و کمالی، ۱۴۰۰) و پارسائی و همکاران با رویکرد ارزش‌محور، به بررسی نسبت میان حفاظت و بهسازی لرزه‌ای پرداخته‌اند (پارسائی و همکاران، ۱۳۹۶). درنهایت موضوع، دستاورد و محدودیت‌های پژوهش‌های جمع‌آوری‌شده در جدول ۱ آمده است.

باوجود توسعه هر دو جریان، ارتباط میان آن‌ها همچنان ضعیف باقی‌مانده است. به‌بیان‌دیگر، مطالعات مهندسی کمتر به معیارهای حفاظت توجه نموده‌اند و مطالعات حفاظتی نیز غالباً فاقد تحلیل تجربی مداخلات لرزه‌ای بوده‌اند. همچنین بخش عمده پژوهش‌های موجود به ارزیابی آسیب‌پذیری یا ارائه راهکارهای فنی محدودشده و بررسی تطبیقی تجربه‌های اجرایی ایران با اصول مستخرج از منشورها و اسناد بین‌المللی حفاظت کمتر موردتوجه قرارگرفته است. بررسی نظام‌مند ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که سه خلأ اصلی در دانش موجود قابل تشخیص است: نخست، غلبه رویکردهای ارزیابی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی بر مطالعات مرتبط با میراث معماری؛ دوم، فقدان تحلیل روند تحول مداخلات لرزه‌ای در نمونه‌های اجرایی ایران؛ و سوم، نبود پژوهشی که تجربه‌های حفاظت لرزه‌ای ایران را بر پایه اصول مستخرج از منشورها و اسناد بین‌المللی حفاظت به‌صورت تطبیقی ارزیابی نماید. پژوهش حاضر با تمرکز بر تجارب اجرایی حفاظت لرزه‌ای در پهنه‌های لرزه‌خیز ایران، درصدد پر کردن این شکاف و ارائه چارچوبی برای تحلیل نسبت میان مداخلات اجرایی و اصول حفاظت بین‌المللی است.

جدول ۱: دسته‌بندی پژوهش‌های مرتبط با حفاظت لرزه‌ای

پژوهش	حوزه مطالعه	موضوع اصلی	مهم‌ترین دستاورد	محدودیت پژوهش
آزموده و سروقدمقدم (2012)	ارزیابی لرزه‌ای	تحلیل سلسله‌مراتبی ساختمان‌های بنایی	توسعه روش تحلیل آسیب‌پذیری	عدم بررسی معیارهای حفاظت و مداخلات اجرایی
حجازی و میرقادر (1385)	تحلیل سازه‌ای	تحلیل عددی گنبدها و مناره‌های تاریخی	شناخت رفتار لرزه‌ای عناصر شاخص تاریخی	محدود به ارزیابی رفتار سازه‌ای
غلامی و آخوندی (2023)	ارزیابی لرزه‌ای	خانه کلاتر	ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس دستورالعمل ایتالیا	عدم ارائه چارچوب مداخله حفاظتی
داوری و همکاران (2024)	ارزیابی لرزه‌ای	خانه صدقیانی	تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای	عدم بررسی اصول حفاظت
داوری و همکاران (2023)	ارزیابی لرزه‌ای	خانه قدکی	ارزیابی آسیب‌پذیری	محدود به مرحله شناخت
غلامی و آخوندی (2023)	ارزیابی لرزه‌ای	خانه علی مسیو	تحلیل رفتار لرزه‌ای	فقدان ارزیابی معیارهای حفاظتی
هادیان و سرتیپی‌پور (2013)	ارزیابی لرزه‌ای	مقایسه روش‌های ارزیابی در نایبند	اعتبارسنجی روش‌های تحلیل آسیب‌پذیری	عدم پرداختن به تصمیم‌گیری مداخله
ولی و همکاران (2023)	ارزیابی میدانی	روش‌های استحکام‌بخشی سنتی	شناسایی فنون بومی تثبیت و تقویت	فقدان چارچوب نظری حفاظت
فیض‌الله‌بیگی (1396)	ارزیابی لرزه‌ای	مدل ارزیابی بناهای آجری	توسعه مدل بومی ارزیابی	عدم اتصال به راهبردهای مداخله
Ravankhah (2019)	ارزیابی خطر	ارگ بم	توجه به تهدیدات طبیعی و انسانی	عدم ارزیابی کیفیت مداخلات حفاظتی
Dinani et al. (2021)	تحلیل سازه‌ای	مسجد جامع امام اصفهان	ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تاریخی	عدم پرداختن به معیارهای حفاظت

عدم انطباق راهکارها با اصول حفاظت میراث	ارائه راهکار مقاوم سازی	تیمچه مظفریه	ارزیابی و مقاوم سازی	Aghabeigi et al. (2021)
عدم تمرکز بر بناهای تاریخی	دسته بندی تکنیک های مقاوم سازی	روش های مقاوم سازی بناهای بنایی	مطالعه مروری	اقبال و همکاران (2014)
فقدان ارزیابی اثرات حفاظتی مداخلات	معرفی روش های نوین تقویت سازه ای	تکنیک های تقویت بناهای تاریخی	مقاوم سازی	Baneh & Baneh (2020)
عدم بررسی معیارهای ارزش محور	معرفی راهکارهای مقاوم سازی	بناهای خشتی	مقاوم سازی	خلیل زاده وحیدی و همکاران (1398)
فاقد تحلیل تجربیات ایران	معرفی معیارهای صریح و ضمنی مداخله	تصمیم گیری حفاظتی	معیارهای مداخله	Correia (2016)
محدود به بستر فرهنگی خاص	طبقه بندی انواع مداخلات حفاظتی	معماری خاکی ایبری	معیارهای مداخله	Mileto et al. (2012)
عدم آزمون در نمونه های ایرانی	تبیین اصول حداقل مداخله و برگشت پذیری	اصول مداخله	حفاظت سازه ای	Tolles et al. (2006)
فاقد تحلیل تطبیقی پروژه های اجرایی	تلفیق روش شناسی و معیارهای مداخله	بناهای خشتی	حفاظت سازه ای	Correia & Walliman (2014)
عدم انطباق با شرایط ایران	توسعه اصول حفاظت لرزه ای	میراث خاکی در مناطق لرزه خیز	حفاظت لرزه ای	Vargas & Neumann (2012)
عدم تحلیل مصادیق اجرایی ملی	توسعه مدل تصمیم گیری چندمعیاره	اولویت بندی مداخلات	تصمیم گیری حفاظتی	Mehdizadeh et al. (2017)
عدم ارتباط با حفاظت لرزه ای	تبیین تفاوت حفاظت شرقی و غربی	حفاظت شرقی	نظریه حفاظت	هوشیاری و همکاران (1401)
فقدان معیارهای ارزیابی لرزه ای	ارائه مدل حفاظت پایدار	حفاظت کالبدی - معنایی	نظریه حفاظت	دل و کمالی (1400)
عدم بررسی مداخلات اجرایی	تبیین تحولات فکری حفاظت در ایران	پارادایم های حفاظت	نظریه حفاظت	پیروی و همکاران (1401)
فقدان تحلیل گسترده نمونه های اجرایی	تلفیق حفاظت و بهسازی لرزه ای	بهسازی لرزه ای ارزش محور	حفاظت ارزش محور	پارسائی و همکاران (1396)

۳- روش شناسی تحقیق

این پژوهش از نوع تحقیقات کیفی و دارای ماهیت تحلیلی - تفسیری است. روش کلی تحقیق بر تلفیق دو مسیر استوار است: نخست حرکت از نظر به عمل از طریق استخراج اصول حفاظت لرزه ای از منشورها، کنوانسیون ها و اسناد بین المللی حفاظت؛ و دوم حرکت از عمل به نظر از طریق تحلیل تجارب اجرایی حفاظت لرزه ای در ایران. بدین ترتیب پژوهش با بهره گیری از رویکرد مهندسی معکوس، در پی شناسایی دستگاه نظری نهفته در پس مداخلات اجرایی حفاظت لرزه ای است. در مرحله نخست، با استفاده از روش تحلیل محتوا، اسناد و منشورهای بین المللی حفاظت مورد بررسی قرار گرفت و اصول مرتبط با مداخلات کالبدی و حفاظت سازه ای استخراج شد. در مرحله دوم، مداخلات حفاظت لرزه ای اجرا شده در بناهای تاریخی واقع در پهنه های لرزه خیز ایران شناسایی و گردآوری گردید. جامعه مطالعاتی پژوهش شامل بیست و چهار نمونه از آثار تاریخی متعلق به دوره های مختلف تاریخی است که در آن ها مداخلات سازه ای نقش محوری در فرایند مرمت داشته و مستندات علمی آن ها منتشر شده است. شایسته است ذکر شود نحوه انتخاب پروژه ها در این مقاله بر مبنای انتخاب پروژه های اجرایی بوده که مرمت سازه ای بخش کلیدی از کار مرمت بوده و اسناد و مدارک علمی آن منتشر شده، ارجاع شده است.^۱ در مرحله سوم، نمونه های مطالعاتی بر اساس دودسته شاخص شامل «ساختمایه و مصالح» و «فنون و

تکنیک‌های مداخله» تحلیل و سپس در پرتو اصول استخراج‌شده از اسناد بین‌المللی مورد ارزیابی تطبیقی قرار گرفتند. در این مرحله اصولی همچون برگشت‌پذیری، حداقل مداخله، سازگاری و دوام، عدم تهاجم، خوانایی، اثربخشی، کنترل‌پذیری، تمامیت و حرمت‌گذاری به‌عنوان معیارهای تحلیل انتخاب شدند. در مرحله نهایی، با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های ایرانی و اصول نظری حفاظت، روند تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در ایران تبیین گردید و بر مبنای آن چارچوب مفهومی پیشنهادی حفاظت لرزه‌ای ارائه شد. از این‌رو، پژوهش حاضر علاوه بر تحلیل تجربیات اجرایی، واجد جنبه نظری - مدل‌سازانه بوده و از استدلال منطقی و قیاس تطبیقی برای دستیابی به چارچوب مفهومی بهره می‌گیرد.



تصویر ۱: فرآیند پژوهش در تحقیق حاضر

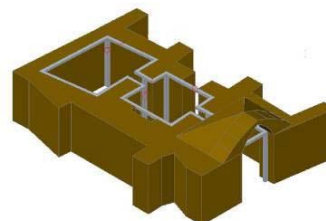
۴- یافته‌های تحقیق

۴-۱- تحلیل ساختمایه و مصالح (Material)

در بررسی تجربه‌های حفاظت کالبدی ساختمایه‌های گوناگونی بکار رفته است که نشان‌دهنده رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در بازه زمانی دوره پهلوی اول تا زمان حال است. استفاده از مصالحی همچون بتن مسلح در گنبد سلطانیه (Pisani, 2020)، شیخ صفی اردبیلی (رضازاده، ۱۴۰۰) نشان‌دهنده استفاده از ساخت مایه‌های مدرن در ساخت‌وساز و بالطبع آن تأثیر آن در مرمت بناهای تاریخی است. استفاده از تیر باربر فلزی در مرمت مسجد جامع ساوه پیشنهادشده است (زرگر و میرهاشمی، ۱۳۹۷). استفاده از قاب فلزی نگه‌دارنده نما نمونه دیگری از انتقال و تسری الگوهای ساخت‌وساز است که به امر حفاظت انتقال یافته است (تصویر ۳ و ۲). در حفاظت کالبدی برخی بناها به‌صورت ترکیبی از فولاد و بتن مسلح بوده مانند گنبد مدرسه سپهسالار (سعیدی، ۱۳۷۶) و مسجد جامع همدان (تاج‌بخشیان و محبعلی، ۱۳۹۵) که هم از بتن مسلح و هم خرپاهای سنگین فلزی استفاده شده است. اقبال به ساخت مایه‌های مدرن محدود به نیمه اول قرن بیستم نبوده بلکه در اواخر این قرن استفاده از مصالحی چون FRP در بقعه پیر احمد شهرکرد و ارگ بم (Rouhi & Rouhi, 2021) و ژئوگرید در اصطبل ارگ بم (Ravankhah, 2019)، اصفهک (پارسی و منصوری، ۱۳۹۵)، اردکان با مش پلاستیکی در خانه طبایی اردکان (CRAteree, 2010) و کارخانه درخشان یزد (عزیزی و دیگران، ۱۴۰۲) مطمح‌نظر حفاظت‌گران بوده است. پس از منشور مکزیکو جامعه حفاظتی عطف‌نظر و بازگشتی دوباره به مصالح بومی پیدا می‌کند (ابراهیمی، ۱۳۹۸). استفاده از مصالح سنتی همچون خشت، چوب و سازو در مسجد ده نو میبد (اسفنجاری، ۱۴۰۱)، سازو در خانه سیستانی (Jäger, 2007)، مسجد پیامبر ارگ بم (Jafar Rouhi et al, 2017) چرخاب اردکان، نی در دروازه دوم ارگ بم (Mokhtari et al, 2008)، چوب در خانه میرزا نعیم (Shad, 2015) و یا به‌صورت ترکیب با مصالح مدرن (حجره بازار ارگ بم) مدنظر قرار می‌گیرد. بررسی تحول ساختمایه‌های به‌کاررفته در حفاظت لرزه‌ای نشان می‌دهد که مسیر حفاظت کالبدی در ایران از «اعتماد به مصالح مدرن باهدف افزایش مقاومت» به سمت «مصالح سازگار و کم‌مداخله باهدف بهبود رفتار لرزه‌ای» حرکت کرده است. در این روند، بتن مسلح و فولاد که در نیمه نخست قرن بیستم نماد پیشرفت فنی تلقی می‌شدند، به‌تدریج جای خود را به مصالح سبک‌تر، شکل‌پذیرتر و درنهایت مصالح بومی دادند.



تصویر ۲: طرح قاب فلزی نگهدارنده برج خرقان
(مأخذ: پارسایی و دیگران، ۱۳۹۶)



تصویر ۳: طرح قاب نگهدارنده حجره خشتی ارگ بم
(مأخذ: حجازی و دیگران، ۱۳۹۴)

۴-۲- تحلیل تکنیک و فنون ساختمانی (Technique)

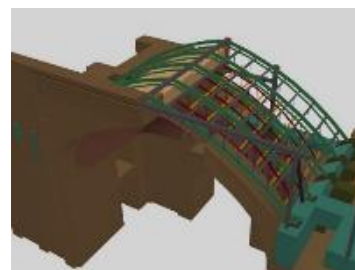
قریب به اکثر پروژه‌های حفاظت کالبدی در حوزه حفاظت لرزه‌ای معطوف به افزایش ظرفیت بناهای تاریخی بوده و رویکرد کاهش تقاضای لرزه‌ای کمتر به اجرا رسیده است. در حوزه افزایش ظرفیت لرزه‌ای بناهای تاریخی در نواحی لرزه‌خیز نیز بیشتر فنون به سمت افزایش مقاومت و افزایش سختی سوگیری نموده است. برای مثال در بناهای سلطانیه (Feizolahbeigi et al, 2024) و شیخ صفی اردبیلی (ویور، ۱۳۵۵) رویکرد افزایش مقاومت منجر به خلق پوسته بتنی مستحکم شده است. تکیه بر مدول الاستیسته بالا و مقاومت کشش زیاد در ابتدای قرن گذشته، مرمت سازه‌های تاریخی را به‌سوی کاربرد فولاد در مسجد جامع ارومیه (رضازاده، ۱۴۰۰: ۳۵۳) و تکیه معاون الملک (مرادی و دیگران، ۱۳۸۷: ۲۱۱) سوق داد. از سویی دیگر معضل مقاومت کشش پایین بتن و استفاده از بتن مسلح جهت رفع این نقصان، مشکل جدیدی برای مداخله در بناهای تاریخی پدید آورد که همانا افزایش ابعاد و ضخامت بود. استفاده از فنون ترکیبی در مسجد جامع ساوه و مسجد سپهسالار و مسجد جامع همدان (تاج‌بخشیان و محبعلی، ۱۳۹۵) در امتداد ناچیزانگاری مقاومت فشاری مصالح بنایی و نادیده انگاری مقاومت فرمی است (تصویر ۴ و ۵ و ۶). در برخی مداخله‌ها افزایش سختی با افزایش وزن همراه بوده است. به سخن دیگر مدول الاستیسته و مقاومت کششی بالا در فولاد و بتن مسلح وزن زیاد به همراه دارد و با رایج شدن مصالحی مانند فیبر کربن و FRP معضل وزن بالا نیز مرتفع گردید. استفاده از FRP به‌صورت میلگرد در برج ۳۲ ارگ بم (خاتونی مقدم، ۱۳۸۷؛ حجازی و دیگران، ۱۳۹۴) و خانه سیستانی (Jafar Rouhi et al, 2017) صفحه‌ای در بقعه بابا پیر احمد شهرکرد و پایه پل‌های سنگی راه‌آهن دوره پهلوی در حفاظت کالبدی بکار رفته است. هرچند در برخی مداخله‌های کالبدی از فنون مدرن استفاده شده است ولی رویکرد این فنون به سمت افزایش شکل‌پذیری بوده است. تکنیک استفاده از مش‌های ژئوگرید در اصطبل ارگ بم (Aveta et al, 2017؛ شرفی، ۱۳۸۴) و بافت اصفهک (پارسی و منصوری، ۱۳۹۵) مش پلاستیکی (خانه طبایی، کارخانه درخشان) مش گالوانیزه در خانه‌های کاشان (حلی، ۱۳۹۵) در حوزه مصالح نوین و استفاده از مش سازه در خانه سیستانی (D'Ayala & Fodde, 2008) و مسجد پیامبر ارگ بم، چرخاب اردکان نمونه‌ای از این رویکرد هستند. کلاف کشی با میلگرد فولادی (کارخانه درخشان و اکثر خانه‌های تاریخی)، چوب



تصویر ۵: اجرای فونداسیون بتنی روی دیوار آجری در مسجد جامع همدان (مأخذ: تاج بخشیان، ۱۳۸۸).



تصویر ۴: روجوب کردن مناره جهت اجرای شناژ بتنی در مسجد جامع همدان (مأخذ: تاج بخشیان، ۱۳۸۸).



تصویر ۶: طرح خرابای فلزی به همراه شناژ بتنی در مسجد جامع همدان (مأخذ: تاج بخشیان، ۱۳۸۸).

در خانه میرزا نعیم بم (Shad, 2015) و چوب و سازه در گنبد مسجد جامع ده نو، شوره نی در دروازه دوم ارگ بم (مهرآیین، ۱۳۸۹؛ Mokhtari et al, 2008) تأثیر بسزایی در رفتار لرزه‌ای سازه دارند. فنون دیگری که در حوزه حفاظت کالبدی با رویکرد حفاظت موزه‌ای در این پهنه سرزمینی انجام شده است، استفاده از قاب نگهدارنده فضایی است. این تکنیک هم به‌صورت قاب فلزی در برج خرقان (صفری و توکلو، ۱۳۹۵) و هم قاب چوبی مسلح شده در حجره بازار بم (حجازی و دیگران، ۱۳۹۴) رؤیت می‌گردد. پس از زلزله بم تأثیر آپلیفت (uplift) و مؤلفه قائم زلزله در شکست و تخریب بناهای تاریخی موردتوجه دوچندان قرار گرفت به‌گونه‌ای که برخی از فنون مداخله معطوف به کاهش تأثیر این مؤلفه گردید. استفاده از مهارهای قائم در بطن اثر تاریخی به صورت‌های میلگرد FRP (خانه سیستانی) طناب سازه‌ای کلفت در تکیه ارگ بم (فرح بخش، ۱۳۸۶؛ Jafar Rouhi, 2016) و انبار گوشه غربی خانه سیستانی ریزشمع بتنی در قلعه فلک الافلاک

(خالو و یکرنگ نیا، ۱۴۰۲) همگی نشان‌دهنده اثر ملاحظات حفاظتی و دوخت و دوز اثر با شالوده جهت مقابله با حرکت روبه بالای آثار تاریخی در هنگام زلزله است. برخی تکنیک‌های نوین حفاظت لرزه‌ای که در بخش افزایش سختی و شکل‌پذیری سازه در مقابله با زلزله کاربرد دارد در حوزه آثار تاریخی مدرن و میراث معماری صنعتی بکار گرفته می‌شود. استفاده از تکنیک «ژاکت فلزی» در ستون‌های آجری، «دیافراگم صلب» در سقف‌های تیرآهنی و طاق ضربی، اضافه نمودن «دیوار برشی» در پیکره کالبدی، «کاشت میلگرد» در دیوارهای بنایی و اجرای کلاف فلزی یا بتنی قائم درون دیوار در کارخانه چرم‌سازی تبریز رؤیت می‌گردد (نژاد ابراهیمی و دیگران، ۱۴۰۱).

تکنیک دیگری که در حفاظت لرزه‌ای تأثیرگذار هست مربوط به فنونی است که بر روی ظرفیت تقاضا اثر می‌گذارد. تکنیک تقویت شالوده و افزایش ظرفیت خاک پیرامون اثر نمونه‌هایی از این فنون هستند. در قلعه فلک الافلاک به کارگیری شمع و ریز شمع‌ها در مداخله منجر به کاهش نیروی زلزله و حفاظت لرزه‌ای اثر می‌گردد. نمونه دیگر افزایش ظرفیت تقاضا را می‌توان در جداسازهای لرزه‌ای (بیس ایزولاتورها) مشاهده نمود. در بررسی مداخله‌های حفاظتی تنها جزئیاتی که نگارنده مشاهده نموده و این نقش را بر عهده می‌گیرد در طرح نشیمنگاه تیرهای فلزی ایوان غربی بوده است (زرگر و میرهاشمی، ۱۳۹۷: ۲۳۳). البته قابل‌ذکر است که این دیتایل در ابتدا باهدف متعادل کردن انبساط و انقباض حرارتی طراحی شده بوده است و نه در راستای جداسازی لرزه‌ای.

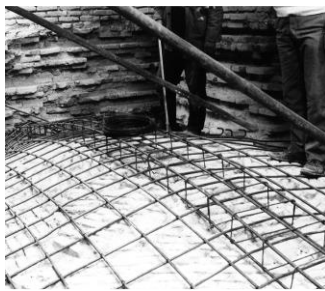
تحول فنون حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان می‌دهد که تمرکز اولیه برافزایش مقاومت و سختی سازه بوده است؛ درحالی‌که در دوره‌های متأخر، افزایش شکل‌پذیری، کنترل مسیر انتقال نیرو و کاهش تقاضای لرزه‌ای موردتوجه قرار گرفته است. به بیان دیگر، حفاظت لرزه‌ای از رویکرد «تقویت جرم و سختی» به سمت «مدیریت رفتار سازه‌ای» تحول یافته است.

۴-۳- تحلیل انطباق با اصول حفاظتی

۴-۳-۱- برگشت‌پذیری (Reversibility)

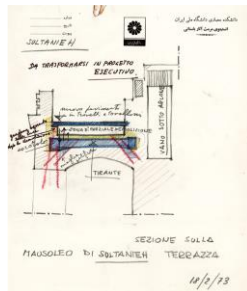
مفهوم برگشت‌پذیری در حفاظت لرزه‌ای در قالب مفاهیمی مانند «قابلیت درمان‌پذیری دوباره»^۲، «قابلیت جمع‌آوری»^۳، «قابلیت عقب‌نشینی»^۴، «قابلیت اصلاح و تغییر»^۵، «قابلیت حذف‌پذیری»^۶ مصداق پیدا می‌کند. بنا به این تعریف مفهوم برگشت‌پذیری در حفاظت لرزه‌ای که با اقدامات فیزیکی در بنای تاریخی روبرو است، اصلی چالش‌برانگیز خواهد بود. از لحاظ نظری چون هیچ‌گاه نمی‌توان رد زمان و اقدام (حتی کمترین اقدام فیزیکی) را کامل بر اثر پاک نمود، این مفهوم دارای ابهام نظری است و باید با استفاده از درجه‌بندی یا مصادیق آن را تعریف نمود. در همین ارتباط برخی اسناد از واژه «حذف‌پذیری» (Removability) استفاده می‌کنند. در منشور زیмбаووه (حفاظت سازه‌ای) اقدامات اتخاذشده باید به گونه‌ای باشد که هنگام دستیابی به دانش جدید قابلیت حذف شدن و یا جایگزین با اقدامات مناسب‌تر را داشته باشد. در این منشور حتی برای اقدامات اضطراری مانند اقدامات پس از زلزله نیز رعایت این شرط لازم است (ICOMOS, 2003:3).

مفهوم جایگزین دیگر برای برگشت‌پذیری، مفهوم «درمان‌پذیری مجدد» (Retreatability) است که در منشور بورا دیده می‌شود. در این منشور تأکید می‌شود که تغییرات برگشت‌ناپذیر آخرین راه‌حل برای مرمت بوده و این تغییرات نباید مانع از اقدامات مرمتی آینده شوند (ICOMOS, 1999:8). در حوزه حفاظت لرزه‌ای مفهوم قابلیت درمان مجدد می‌تواند خطرناک و مداخله‌گر باشد و امکان تحریف اثر و تغییرات گسترده در اثر را به وجود می‌آورد^۷. برای بررسی مفهوم برگشت‌پذیری در مداخله‌های سازه‌ای جامعه آماری می‌توان درجه‌بندی از کم تا زیاد استفاده نمود (جدول ۳). برای مفهوم برگشت‌ناپذیری می‌توان اقداماتی که در بناهایی مانند گنبد سلطانی، مسجد سپهسالار، مسجد جامع ساوه انجام‌شده نام برد (تصاویر ۷-۹).



تصویر ۸: اجرای شبکه میلگرد روی طاق در سلطانیه (مأخذ:

(Pisani, 2020).



تصویر ۷: جزئیات اجرایی در مرمت گنبد سلطانیه (مأخذ: Pisani, 2020).



تصویر ۹: اجرای رینگ بتن مسلح در گنبد سلطانیه (مأخذ:

(Pisani, 2020).

در گنبد سلطانیه با حذف کمربند آجری فرسوده و اجرای کمربند بتنی عملاً رینگ بتنی بخشی از بنا شده است. در اجرای این رینگ حتی از آجرهای قدیمی به عنوان قالب برای تیر بتنی استفاده شده که امکان برگشت پذیری را ناممکن می نماید. در مسجد سپهسالار نیز این موضوع تکرار می شود و کلاف بتنی درون خاک انداز گنبد و ساختار فلزی به همراه فونداسیون بتنی تعبیه شده در دل بنا، بخش جدایی ناپذیر از بنا شده است و مفهوم بازگشت پذیری در این بنا عملاً جایگاهی ندارد. مصداق دیگر که رویکردی مشابه مسجد سپهسالار را پیش می گیرد، در مسجد جامع همدان به وقوع می پیوندد. در این مسجد ساختار ترکیبی بتنی - فلزی به صورت پنهان داخل ایوان جنوبی بکار رفته است. در مجموعه شیخ صفی الدین در اردبیل نیز ترکیب کمربندهای فلزی و لایه بتنی به عنوان اقدامی یکپارچه کننده با ساختار قدیمی، اجازه تجزیه بخش مرمتی پس از مداخله را ناممکن نموده است. ویور در گنبد چینی خانه شیخ صفی اردبیلی از تکنیک «تجدید آستری» (Re-Lining) نام می برد که در آن تعدادی دنده (تویزه) فولادی که از تیزه گنبد منشعب شده و به کلاف پاکار گنبد متصل شده، استفاده می شود. ویور پس از تقویت درون پوسته آجری گنبد با فولاد از یک لایه عایق رطوبتی و سپس یک لایه ۵ سانتیمتری اندودسیمان پاششی با توری سیمی نام می برد (ویور، ۱۳۵۵: ۵۷). دسته بعدی بناهایی است که این مفهوم تاحدی در آن رعایت شده است که شامل بناهای زیر است: در تغییر کاربری کارخانه چرم سازی تبریز، برای افزایش سختی بنا چندین دیواربرشی به ساختمان اضافه شده که به نظر مشاور چون این بخش جدا از سازه باربر بوده، قابلیت برگشت به حالت قدیمی در صورت نیاز را دارا است. به نظر نگارنده در خانه های کاشان مش گالوانیزه بکار رفته روی طاق ها با ملات پالونه طاق درگیر می شود و امکان بازگشت پذیری طاق به حالت قدیمی از بین می رود. این در حالی است که مش گالوانیزه توسط مفتول های آهن سفید به طاق خشتی اتصال داده شده است و این عناصر پیونددهنده امکان برگشت پذیری را کاهش می دهد (تصاویر ۱۰-۱۲).



تصویر ۱۱: اجرای پالونه آجری بر روی طاق خشتی خانه منوچهری کاشان (مأخذ: نگارندگان).



تصویر ۱۰: اجرای مش گالوانیزه با لقمه های گچی بر روی طاق خشتی در خانه منوچهری کاشان (مأخذ: نگارندگان).



تصویر ۱۲: سوراخ کاری طاق خشتی جهت اتصال طاق به مش فلزی در خانه های کاشان (مأخذ: نگارندگان).

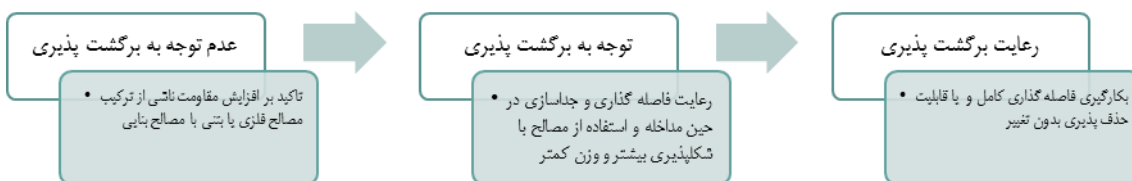
در بقعه بابا پیر احمد شهرکرد، مشاور یک رینگ بتنی جهت بستر نوارهای FRP و سپس لایه سیمانی دیگری جهت محافظت از این نوارهای مقاوم کننده در دورتادور گنبد ایجاد نموده است. هرچند استفاده از صفحات FRP به تنهایی امکان

برگشت‌پذیری را ممکن می‌سازد ولی در این بنای آجری به‌کارگیری آستر بتنی جهت نشیمن و همین‌طور روکش این صفحات، باعث فاصله گرفتن از برگشت‌پذیری کامل آن می‌شود. در مرمت بناهای اصفهک که از مش پلاستیکی به همراه اندود گچی استفاده شده است. این تکنیک با لقمه‌های فلزی که به‌صورت صفحاتی با ورق با ضخامت کم هستند تکمیل شده است. در رویکرد برگشت‌پذیر از فنونی استفاده شده که هم در خارج صفحه المان باربر استفاده شده و هم اگر از مصالحی استفاده شده که برای پیوند این صفحات بکار رفته، این مصالح هماهنگ با تکنیک‌های بومی و رفتار سازه‌ای المان واسط بوده است. در خانه سیستانی به‌عنوان یکی از نمونه‌های مشهور، از مش ساخته‌شده با الیاف خرما و سازو به‌عنوان اتصال دو مش استفاده شده است. این رویکرد در مسجد پیامبر ارگ بم متعاقباً دنبال شده است و مفهوم برگشت‌پذیری را به واسط امکان برداشتن مش به ذهن متبادر می‌سازد (تصاویر ۱۳-۱۵).



تصویر ۱۵: مهار طناب‌های سازو طاق
تصویر ۱۳: اجرای طناب سازو در زیر
تصویر ۱۴: اجرای مش و طناب
انبار گوشه خانه سیستانی ارگ بم طاق انبار گوشه خانه سیستانی ارگ
سازو بر روی طاق انبار گوشه خانه سیستانی ارگ بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).
(مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).
(مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).

در مسجد جامع ده نو نیز حفاظت پیشگیرانه لرزه‌ای، اسفنجاری را به سمت استفاده از دو سازو کلفت در محدوده تنش کششی گنبد هدایت نموده که قابلیت حذف‌پذیری را داراست. در خانه‌های محله چرخاب اردکان نیز همین رویکرد دنبال شده ولی بجای استفاده از مش زیر طاق به تعریف المان‌های خطی بسنده نموده‌اند. در خانه طبایی اردکان که توسط کراتر مرمت‌شده از مش پلاستیکی بر روی بدنه بادگیر استفاده شده که قابلیت حذف‌پذیری را داشته است. در رویکرد نهایی که مصداق کامل مفهوم برگشت‌پذیری بوده در مرمت‌هایی است که المان‌های مقاومتی به‌صورت جدا از بنا بوده و امکان حذف‌پذیری کامل را فراهم می‌کنند. در برج خرقان با استفاده از قاب فلزی نگهدارنده، ساختار تاریخی را از داخل نگه‌داشته است. در پروژه دیگر حجازی برای حفظ بخش‌های باقیمانده حجره بازار ارگ بم، مبادرت به تعریف المان‌های قائم چوبی نموده است که در ترکیب با کلاف چوبی بالای آن، رفتار لرزه‌ای بنای خشتی را بهبود می‌بخشد هرچند شالوده تعریف‌شده برای این طرح‌ها علاوه بر مداخله تهاجمی در بستر زمین مفهوم برگشت‌پذیری را رعایت نمی‌نماید. در عملیات مرمتی دیگر، عزیزی اقدام به ایجاد انسجام رفتاری و یکپارچگی ستون‌های آجری کارخانه درخشان با ایجاد کمربند فلزی در پاکار طاق‌ها و اتصال آن‌ها با کش فولادی نموده است. می‌توان گفت تمامی تکنیک‌هایی که در رده برگشت‌پذیر قرار دارند از نوع مداخله‌های آشکار هستند که امکان برداشتن و حذف‌پذیری در آن‌ها وجود دارد (جدول ۲). این در حالی است که رعایت مفهوم برگشت‌پذیری در مداخله‌های لرزه‌ای پنهان و نیمه پنهان، مسئله‌ای غامض‌تر شده و باید این مفهوم را در کنار مفاهیم دیگر موردسنجش و تحلیل قرارداد که در بخش بعد بدان پرداخته خواهد شد؛ بنابراین، حفاظت لرزه‌ای در ایران در ابتدا مقاومت کالبدی را در پیوستگی و چسبندگی بین مصالح تقویتی و بنای تاریخی و افزایش صلبیت می‌دیدند است و اصل برگشت‌پذیری قربانی مقاومت یگانه شده مداخله، بوده و مقاوم‌سازی جایی برای مفهومی مانند برگشت‌پذیری در خود راه نمی‌دهد. درحالی‌که باگذشت زمان و توجه به مصالح شکل‌پذیر همخوان با بنای تاریخی و رعایت جداسازی کالبدی، به اصل برگشت‌پذیری توجه شده است (تصویر ۱۶).



تصویر ۱۶: تحولات اصل برگشت پذیری در مقایسه تجربه های حفاظتی

جدول ۲: دسته بندی مداخله های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل برگشت پذیری

برگشت پذیر مدرن	برگشت پذیر سنتی	تأحیدی برگشت پذیر	برگشت ناپذیر
قاب داخلی یا بیرونی نگهدارنده، کش فلزی متصل به کمر بند	شبکه مش با مصالح بومی، المان های کششی بومی، مهارچوبی	مش گالوانیزه با ایجاد فاصله، مش ژئوگرید یا پلاستیکی یا با FRPT، جداسازی المان های صلب	به کارگیری المان های فولادی و بتنی ترکیب شده با ساختار تاریخی، مغزه مسلح با مصالح جدید

یافته ها نشان می دهد که سیر تحول حفاظت لرزه ای در ایران از مداخلات مبتنی بر یکپارچه سازی سازه ای و مصالح صلب به سمت مداخلات مبتنی بر جداسازی کالبدی و عناصر حذف پذیر حرکت کرده است. به عبارت دیگر، اصل برگشت پذیری در رویکردهای متأخر نه از طریق کاهش مداخله، بلکه از طریق استقلال سازه تقویتی از کالبد تاریخی تأمین شده است.

۴-۳-۲- حداقل مداخله (Minimal Intervention)

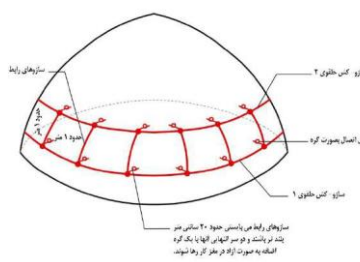
یکی از اصول حفاظت لرزه ای اصل حداقل مداخله است هرچند از لحاظ تئوری این مفهوم دارای کاستی های نظری است (عباسی و امین پور، ۱۳۹۰). با اتکا به منشور زیмбаووه مداخله باید در یک اندازه حداقلی بماند تا کمترین لطمه به ارزش های میراثی وارد آید (ICOMOS, 2003:3). این مفهوم در منشور بورا مسامحتا حل شده و حداقل مداخله را با دو ویژگی «کمترین اثرگذاری» و «حداقل تغییر» روی بنای تاریخی آورده است (ICOMOS, 1999:9). در حفاظت لرزه ای مفهوم حداقل مداخله در سه سطح «حداقل دگرگونی ارزشی»، «حداقل تغییرات رفتار سازه ای»، «حداقل سطح ایمنی لرزه ای» قابل پیاده سازی است. برای تحلیل حفاظت لرزه ای در جامعه مطالعاتی این پژوهش از تعریف بیانیه اصول کیفی اروپا که حداقل مداخله را «انجام کاری با بیشترین نیاز (الزام) در عین کمترین کاری ممکن»^۸ توصیف کرده است، استفاده می شود (ICOMOS, 2019:11).

مداخله هایی که در گنبد سلطانی، مسجد جامع ساوه، شیخ صفی اردبیلی، مدرسه سپهسالار، مسجد جامع همدان و چرم سازی خسروی صورت گرفته بر مبنای بیشترین اثرگذاری به همراه مداخله حداکثری بوده است (جدول ۳). این مداخله ها بیشترین کار ممکن را متناسب با بیشترین نیاز برآورده ساخته است. این در حالی است که دسته دوم هم ترازای بین مداخله و نیاز سازه ای وجود دارد. در این دسته اقدامات سعی شده حداقل های نیاز لرزه ای با کار کمینه برآورده شود برای مثال استفاده از مش سازه برای حفظ و تقویت رفتار طاق خشتی و جلوگیری از فروریختن آوار پس از گسیختگی خشت از جمله برآورده نمودن اصل حداقل مداخله است. تکنیک های بکار رفته در مداخله متوازن از یک سو از مداخله زیاد مانند دخالت های صلب دسته اول پرهیز نموده و از سویی پرهیزکاری تکنیک هایی مانند قاب حمال را بکار نمی بندند. در دسته دیگر اقدامات، اصل حداقل مداخله به واسطه اینکه کمترین مداخله را با حداکثر تأثیر برآورده می سازد در گروه برتری حفاظت بر مداخله می بیند. در این گروه کمترین تغییر را بر خود ساختار وارد کرده ولی از سویی بیشترین اثر را در حفاظت لرزه ای این آثار داشته است. برای مثال اسفنجاری با استفاده از دو طناب سازه کلفت در محدوده تنش کششی حداکثر گنبد و مهار آن در پوسته داخلی، نیاز به اقداماتی نظیر آنچه در مسجد اشترجان یا سقف چهارسوق اصفهان (کمر بند فلزی) را مرتفع نموده است (تصاویر ۱۷-۱۹). در این بخش مداخله ها مانند تکنیک قاب نگهدارنده، بیشتر به صورت آشکار هستند تا اصل مداخله حداقلی را به همراه اصل خوانایی رعایت نمایند. در فرجام این بخش می توان گفت که اصل مداخله حداقلی با رویکرد حفاظت لرزه ای متوجه کمیت تبعات و نتایج مداخله است و نه کمیت مداخله. به سخنی دیگر هدف اصل حداقل

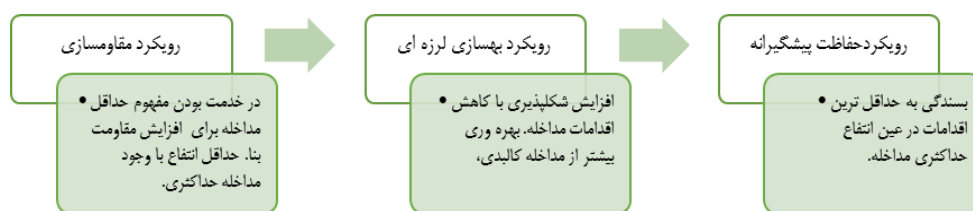
مداخله با رویکرد لرزه‌ای، جلوگیری از «زیان اجباری» مداخله است به همین دلیل در مداخله‌ای مانند ایجاد کش فولادی که در مقیاس تمام بنا انجام می‌شود نسبت به مداخله‌ای مانند ژاکت فلزی که حتی در یک ستون اجرا می‌شود، مقبول‌تر است. با اینکه اصل حداقل مداخله را به انحایی مخدوش نموده است؛ بنابراین در اینجا می‌توان از مؤلفه یاریگر «حداکثر بهره‌وری» در راستای شرح اصل حداقل مداخله کمک گرفت. برای نمونه در مسجد جامع ده نو حداقل مداخله هم در بخش ایجاد کلاف شالوده‌ها (ارتباط دادن پایه‌های خشتی با چند رگ آجر در زیرخاک) و هم در بخش کلاف چوبی و سازوی گنبد (استفاده حداقلی از سازو صرفاً در بخش‌هایی که بیشینه تنش کششی وجود دارد) ضمن رعایت اصل مداخله حداقلی این اصل را به اصل حداکثر اثربخشی گره زده است. در واپسین بخش این اصل می‌توان بیان کرد که در مداخله‌هایی که رویکرد مقاوم سازانه (تلمیحا ضد زلزله) و افزایش مقاومت صرف در پیش گرفته باشند، بهره‌وری به سمت اهداف سختی لرزه‌ای جهت‌گیری نموده است. در حالی که در اقداماتی که به سمت بهسازی لرزه‌ای و افزایش شکل‌پذیری و یا کاهش ظرفیت تقاضا حرکت کرده باشد، بهره‌وری جانب توازن و حداقلی کردن مداخله را گرفته است. بهره‌وری در مداخله‌هایی که اصل مداخله کمینه را به صورت کامل رعایت کرده‌اند به بیشینه رسیده و با اقدامات پیشگیرانه و حداقلی سعی در بازتوانی یا توان بخشی رفتار سازه‌ای دارند (تصویر ۲۰).

جدول ۳: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل حداقل مداخله

مداخله زیاد (رجحان مداخله بر حفاظت)	مداخله متوازن (هم‌ترازی مداخله و حفاظت)	مداخله کم (رجحان حفاظت بر مداخله)
مش و رینگ بتنی، خربا و تیر فلزی، ژاکت فلزی و دیوار برشی بتنی و دیافراگم صلب، مش گالوانیزه و FRP	مش سازو، به کارگیری المان‌های موضعی و محدود	قاب نگه‌دارنده فضایی، به کارگیری المان‌های کششی و فشاری به صورت مجزا و برگشت‌پذیر



تصویر ۱۷: اجرای سازو رابط در گنبد مسجد جامع ده نو میبد (مأخذ: اسفنجاری، ۱۴۰۱).
 تصویر ۱۸: طرح تقویت گنبد در مسجد جامع ده نو میبد (مأخذ: اسفنجاری، ۱۴۰۱).
 تصویر ۱۹: اجرای کش حلقوی سازو در گنبد مسجد جامع ده نو میبد (مأخذ: اسفنجاری، ۱۴۰۱).



تصویر ۲۰: تحولات رویکرد مداخله‌های حفاظتی با توجه به اصل حداقل مداخله

بررسی مداخله‌های لرزه‌ای نشان می‌دهد که مفهوم حداقل مداخله در حفاظت لرزه‌ای ایران از یک معیار کمی (کاهش حجم عملیات) به یک معیار کیفی (بیشینه‌سازی اثربخشی در برابر کمینه‌سازی پیامدهای مداخله) تحول یافته است. بدین ترتیب، حداقل مداخله نه به معنای کمترین میزان اقدام، بلکه به معنای بیشترین بهره‌وری حفاظتی با کمترین تغییر در ساختار تاریخی تلقی شده و در نمونه‌های متأخر با رویکردهای پیشگیرانه و موضعی نمود بیشتری یافته است. این تحول نشان می‌دهد که حفاظت لرزه‌ای در ایران به تدریج از منطق «افزایش مقاومت از طریق مداخله گسترده» به منطق «بهینه‌سازی عملکرد از طریق مداخله هدفمند» حرکت کرده است.

۴-۳-۳ سازگاری و دوام (Compatibility and Durability)

در منشور زیماوه، سازگاری به معنای همسازی با مصالح بنای تاریخی است. این سازگاری بایست تأثیرات بلندمدت نیز شامل شده تا از عوارض ناخواسته جلوگیری کند (ICOMOS, 2003:3)؛ بنابراین می‌توان گفت در حفاظت لرزه‌ای، ثبات رفتاری مداخله باید حفظ شود تا در مقابل زلزله بتواند رفتار مناسبی داشته باشد. ثبات رفتاری مداخله به عواملی نظیر تداوم رفتاری ساخت مایه، یکپارچگی سازه‌ای^۹، تداوم رفتاری فنون لرزه‌ای، هماهنگی رفتاری مداخله با بخش تاریخی است. مشخص است که رفتار لرزه‌ای مصالحی چون بتن و فولاد در گذر زمان تحلیل می‌رود. دوام رفتار لرزه‌ای منحصر به ساخت مایه بادوام نیست بلکه تکنیک بکار گرفته شده نیز باید در گذر زمان ثبات رفتاری خود را حفظ نماید. برای نمونه هرچند فولاد با تراکم بالا در بتن مسلح بر روی گنبد سید رکن‌الدین یزد بکار رفته در حالی که هم یزد دارای آب‌وهوای خشک بوده و هم گنبد به صورت دوپوسته گسسته بوده ولی باز خوردگی فولاد و از بین رفتن تداوم رفتاری مداخله مشاهده می‌گردد. هماهنگی رفتاری وجوه مختلف سازگاری شامل «سازگاری فیزیکی»، «سازگاری شیمیایی»، «سازگاری دمایی»، «سازگاری مکانیکی»، «سازگاری هنری»، «سازگاری روانه شناسی (سازگاری تغییر شکل جریان‌ها و برهمکنش نیروها)»^{۱۰} و «سازگاری بصری» است. این وجوه سازگاری گزاره‌هایی مانند «فرم، بافت، مقیاس»، «پیوندهای شیمیایی ترکیب، اندرکنش‌های پیوند»، «ضریب حرارتی سطوح»، «مقاومت مصالح، سختی و شکل‌پذیری سطوح»، «سطوح زیبایی شناسانه»، «جریان کرنش و تنش سطوح»، «رنگ، تخلخل، خلوص، درخشندگی، شدت» را مورد مذاقه قرار می‌دهد. در حوزه ثبات رفتاری مداخله به مفهوم در نظرگیری تمامی اندرکنش‌های مصالح مداخله با بخش تاریخی است. این مقوله به‌صراحت در اصول کیفی اروپائی اشاره شده است. در این اصول، سازگاری به استفاده از مواد و فنون با جزئیات کافی با توجه به در نظرگیری تعامل و اندرکنش فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی بین مصالح موجود و جدید، تعریف شده است (ICOMOS, 2019:21). به‌عبارتی دیگر مشکل سازگاری در ساختارهای ماسونری تاریخی ممکن است با پدیده‌های شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی، حرارتی و پدیده‌های هیدرولوژیکی مرتبط باشد (Rouhi, 2021:22). در نمونه‌های مطالعه شده، فونونی که از ساخت مایه‌های بومی و سازگار با بنای تاریخی همچون سازه، شوره نی استفاده شده، کاملاً سازگار و بادوام با بنای تاریخی بوده است. رعایت کامل این اصل در مرمت مسجد جامع ده نو میبد مشهود است (تصاویر ۲۱-۲۳). استفاده از فولاد و FRP در مداخله‌های لرزه‌ای هرچند ناسازگار با بناهای آجری بوده ولی از دوام مناسبی برخوردار است. مش‌های گالوانیزه دارای دوام مناسبی در کنار ملات‌های گل‌دارند ولی در خانه‌های کاشان به علت استفاده از ملات گچ تیزاب و کاه و قلیایی بودن گچ، دوام بلندمدت مش را به مخاطره می‌اندازد. باوجوداینکه در مرمت حجره بازار بم از چوب با مغزه فولادی استفاده شده است و امکان پوسیدگی چوب و خوردگی موریانه دور از ذهن نیست. در حوزه مداخله‌های آشکار باوجود ناسازگاری بین فولاد و مصالح بنایی ولی با ایجاد فاصله بین مصالح مداخله و اصل اثر تاریخی و خصلت فولاد، دوام مداخله را تا حدی تأمین می‌کند (جدول ۴).

جدول ۴: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل سازگاری و دوام

مداخله آشکار		مداخله پنهان		
ناسازگار	سازگار	سازگار و بادوام	ناسازگار و بی‌دوام	ناسازگار ولی بادوام
ترکیب فولاد با خشت یا آجر	ترکیب چوب با خشت	ترکیب سازه، شوره نی با خشت	ترکیب بتن با آجر یا خشت، ترکیب مش پلاستیک یا مش ژئوگرید با آجر یا خشت	ترکیب تیر یا خرپا فلزی با آجر یا خشت، ترکیب FRP با آجر یا خشت

با در نظرگیری مفهوم سازگاری و دوام در تاریخ حفاظت لرزه‌ای مدرن می‌توان نتیجه گرفت در شروع قرن بیستم به‌واسطه اعتماد به مصالح مدرن و ناشناخته بودن رفتار مصالح در مجاورت بنای تاریخی مانند بتن و مشابه دانستن رفتار این مصالح با ساخت مایه‌های کهن (مانند ساروج) شروع به تجویز بی‌محابای فنون مصالح محور نمودند. در پایان قرن

بیستم اصل دوام و سازگاری، حفاظت لرزه‌ای را به سمت کاربرد فنون بومی، تکنیک‌های جداساز و جداسازهای لرزه‌ای به همراه حفاظت پیشگیرانه سوق داده است (تصویر ۲۴).



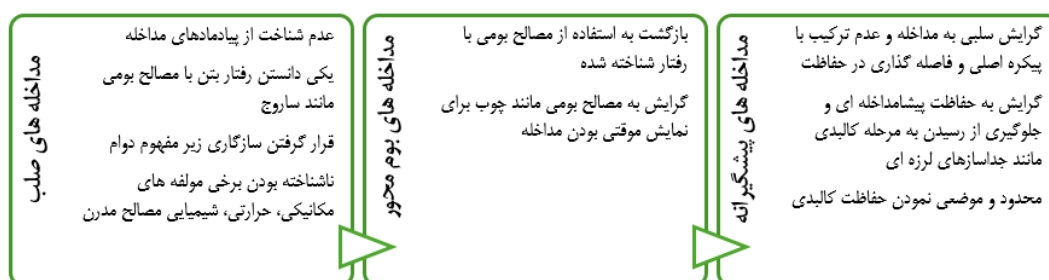
تصویر ۲۲: اجرای مش سازو بر روی اسپر خانه سنایی اردکان (مآخذ: نگارندگان).



تصویر ۲۱: اجرای شبکه طناب‌های سازو در زیر طاق (مآخذ: نگارندگان).



تصویر ۲۳: اجرای مش سازو بر روی طاق خانه اردکان (مآخذ: نگارندگان).



تصویر ۲۴: تحولات مداخله‌های حفاظتی با در نظرگیری اصل سازگاری و دوام

نتایج نشان می‌دهد که تجربه حفاظت لرزه‌ای در ایران از اعتماد اولیه به مصالح مدرن و فرض سازگاری ذاتی آن‌ها با بناهای تاریخی فاصله گرفته و به تدریج به سمت فهم چندبعدی سازگاری حرکت کرده است. در این رویکرد، دوام مداخله صرفاً در ماندگاری مصالح خلاصه نمی‌شود، بلکه در استمرار رفتار مشترک میان مداخله و سازه تاریخی تعریف می‌گردد؛ از این رو استفاده از مصالح و فنون بومی یا جداسازی کالبدی مصالح ناسازگار به یکی از راهبردهای اصلی حفاظت لرزه‌ای تبدیل شده است. این روند بیانگر گذار از رویکرد مصالح محور به رویکرد رفتار محور در حفاظت لرزه‌ای است؛ جایی که سازگاری نه در شباهت ظاهری مصالح بلکه در هماهنگی رفتاری مداخله با بنای تاریخی تعریف می‌شود.

۴-۳-۴- غیرتهاجمی (Non-Invasivity)

تعدی کنندگی یک مداخله یکی از اصول حفاظت لرزه‌ای است. این اصل به این می‌پردازد که مداخله‌های حفاظتی باید کمترین تهاجم به اثر و درعین حال بیشترین هماهنگی با اثر تاریخی داشته باشند. یکی از مباحث اصلی در زیر این عنوان، در نظرگیری اثر مداخله بر تغییر رفتار لرزه‌ای اثر است. در آئین نامه ایتالیا، اقدام زمانی تهاجمی در نظر گرفته می‌شود که این اقدام برخلاف مفهوم برگشت پذیری، رفتار المان‌های مقاوم را به طور دائمی تغییر دهد (Cecchi&Calvi,2007:53). به همین دلیل در این آئین نامه اولویت با مداخله‌هایی است که غیردائمی باشند. در آئین نامه ایتالیا انتخاب روش مداخله باید به صورت موردی ارزیابی شود. ارجحیت این موارد با موردی بوده کمترین تعدی و بیشترین سازگاری با ضوابط حفاظت داشته و با در نظرگیری الزامات ایمنی و پایداری، ترجیح داده شوند (Cecchi&Calvi,2007:53). در تحلیل مداخله‌های سازه‌ای مورد کنکاش، اقداماتی که باعث افزایش سختی بسیار زیاد، یا افزایش مقاومت نواحی خاصی در اثر که منجر به ایجاد پیچش در زلزله، یا افزایش شکل پذیری زیاد برخی نواحی مرزی و یا نامنظمی در ساختار تاریخی گردد به عنوان مداخله‌ای تعدی گر شناخته می‌شود. بیشترین تعدی در مداخله مربوط به مرمت‌هایی است که با استفاده از بتن و فولاد سعی در نادیده گرفتن رفتار سازه‌ای اثر تاریخی و حذف رفتار آن و انتقال بار و رفتار سازه‌ای از بخش قدیمی به بخش مرمتی است. این مداخله‌ها به واسطه اینکه مقیاس عظیمی در نسبت با محدوده مداخله داشته و خود پدیدآورنده ساختار

جدید است، تغییرات زیادی در رفتار سازه‌ای بخش قدیمی به وجود می‌آورد. در طرف مقابل این گروه، دسته‌هایی از مداخله قرار دارد که با عنایت به تکنیک‌های بومی و بهره‌گیری از ساخت مایه‌های محلی در هماهنگی تام و تمام با بخش قدیمی بوده و کمترین تعدی و تهاجم و درنهایت کمترین تغییر رفتار سازه‌ای را به وجود می‌آورد. بین این دودسته، مداخله‌هایی وجود دارد که هم تا حدی هماهنگ با کالبد قدیمی بوده و هم رفتار سازه‌ای را زیاد دگرگون نمی‌سازد (تصاویر ۲۵-۲۷). در دسته آخر اصل عدم تعدی به صورت کامل رعایت می‌گردد به دلیل آنکه هم مداخله‌هایی غیردائمی و برگشت‌پذیر بوده و هم تغییری در رفتار سازه‌ای اثر تاریخی ایجاد نمی‌کنند. تکنیک قاب نگه‌دارنده و کش فولادی با کمر بند پاکار تهاجم کمتری را به اثر وارد نموده و تغییری در رفتار لرزه‌ای ساختار قدیمی به وجود نمی‌آورد (جدول ۵). با توجه به اینکه زلزله خود عاملی تهاجمی برای بنای تاریخی محسوب می‌شود بنابراین در حفاظت لرزه‌ای باید فنون به‌سوی عدم تهاجمی بودن جبهه‌گیری کنند تا آثار قوا باهم تجميع نشود برای همین حفظ تمامیت برای مقابله با تهاجم هدف پشت پرده این اصل است. هویداست که رویکرد مقاوم‌سازی صلب با پیش‌فرض همیشگی و لایتغیر بودن، تغییر رفتار اصیل لرزه‌ای و هیچ‌انگاری مقاومتی بخش اصیل پا به میدان حفاظت کالبدی گذاشته است در حالیکه رویکرد حفاظت لرزه‌ای، هم توجه به عدم تجاوزگری نموده و هم توجه به خصلت‌های ذاتی بنای تاریخی. این رویکرد یا با انطباق و هماهنگی ساختمانی و رعایت اصل یکپارچگی با بخش اصیل از در آشتی درآمده و یا با رعایت مقیاس مداخله. رسیدن به رویکرد حفاظت لرزه‌ای با رعایت اصل عدم تعدی، حفاظت کالبدی را متوجه موقتی دانستن مداخله می‌نماید (تصویر ۲۸).

جدول ۵: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل عدم تعدی

اقدامات دائمی		اقدامات غیردائمی	
بیشترین تعدی و تهاجم	تعدی و تهاجم نسبی	کمترین تعدی و تهاجم	مداخله‌های غیرتهاجمی
ترکیب تیر یا خرپا فلزی با آجر یا خشت	تقویت موضعی در ترکیب مصالح مدرن با بنای تاریخی	تقویت با مصالح همسان و فنون سنتی	به کارگیری کش فلزی یا قاب نگه‌دارنده



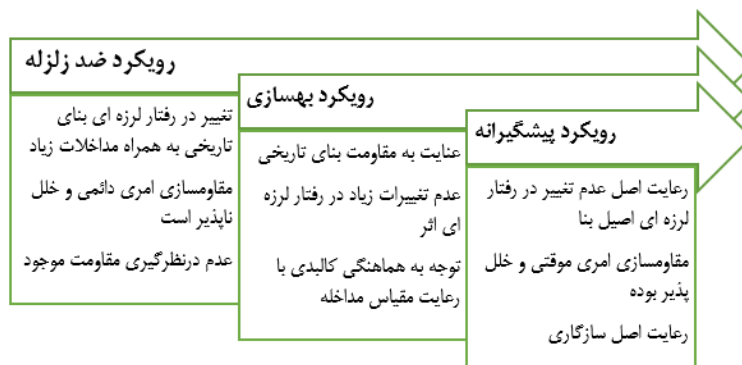
تصویر ۲۶: اجرای صفحات فلزی در اصفهک (مآخذ: پارسی و منصور، ۱۳۹۵).



تصویر ۲۵: اجرای باریکه‌های مش ژئوگرید در خانه روستایی اصفهک (مآخذ: پارسی و منصور، ۱۳۹۵).



تصویر ۲۷: اجرای باریکه‌های تقویتی با اندود گچ در خانه روستایی اصفهک (مآخذ: پارسی و منصور، ۱۳۹۵).

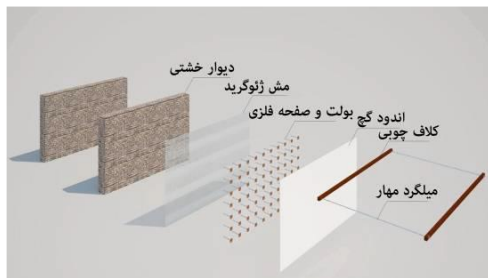


تصویر ۲۸: تحولات رویکرد مداخله‌های حفاظتی با نگاه به اصل عدم تعدی

در نتیجه، مفهوم عدم تعدی از پرهیز صرف از مداخله کالبدی فراتر رفته و به اصل حفظ رفتار سازه‌ای اصیل بنا تبدیل شده است. مقایسه مداخله‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان تعدی یک اقدام حفاظتی بیش از آنکه به مقدار مصالح مصرفی وابسته باشد، به میزان تغییر بستگی دارد که در رفتار سازه‌ای بنای تاریخی ایجاد می‌کند. بر این اساس، روند حفاظت لرزه‌ای در ایران از مداخله‌های جایگزین کننده و رفتارمحور به سمت مداخله‌های همیار و کم‌تجاوز حرکت کرده و تلاش نموده است رفتار اصیل بنا را حفظ و تنها آسیب‌پذیری‌های آن را کنترل نماید.

۴-۳-۵ خوانایی (Distinguishability)

در حوزه حفاظت کالبدی آثار تاریخی باید بخش مداخله از بخش تاریخی قابل تشخیص باشد که در این مقاله بدان «خوانایی» گفته می‌شود. شایسته است ذکر شود بین Legibility و Distinguishability تمایز فاحش وجود دارد در حالیکه هر دو به مفهوم «خوانایی» در این پهنه استعمال می‌شود. در این نوشتار، خوانایی (Distinguishability) معنای این است که یک شیء یا عنصر را از دیگر اشیاء و عناصر متمایز کنیم. مفهوم دیگر خوانایی که مورد تأکید قرار گرفته مفهوم «عدم جلب توجه» است. در منشور زیماوه با تأکید بر خوانایی، عنوان شده که کیفیت‌های متمایز سازه و محیط اطراف در حالت اصلی و پیشین آن نمی‌بایست مخدوش و ویران شود. در این منشور ضمن تأکید بر خوانایی کیفیت‌های متمایز کننده بر قابل تشخیص بودن تا جایی که امکان داشته، اصرار داشته است (ICOMOS, 2003: 3). در این تحقیق نیز خوانایی به مفهوم تمایز کالبدی - بصری در راستای تأکید بر سازه و رفتار سازه‌ای اثر تاریخی است. به سخن دیگر هدف مداخله، حفاظت از سازه تاریخی و نقش آن در تحمل نیروها و آشکار ساختن ارزش‌های فرهنگی‌اش از طریق خوانا تر کردن یکپارچگی تاریخی، وضع و طرح پیشینش، در حدود شواهد موجود مادی است (ICOMOS, 1999: 2). در این راستا این نوشتار با این جبهه‌گیری خوانایی به مقایسه مداخله‌های حفاظت می‌پردازد. پر پیوسته که مداخله‌هایی که از مقیاس عظیم مداخله پنهان استفاده می‌کند، خوانا نبوده حتی با تغییر رفتار سازه‌ای اثر، مقوله خوانایی را عمده‌تر زیر پا می‌گذارد. در مقابل تکنیک‌هایی همچون ترکیب لقمه گذاری و مش که در اصفهک بکار رفته، با رعایت نسبی خوانایی، نقش صفحات فلزی را در تقویت سازه اثر یادآور می‌شود (تصاویر ۳۰ و ۳۹). در شیوه مهاربندی از جلو جز که نمونه ان در تکیه ارگ بم نیز به کار رفته، مقوله رعایت اصل خوانایی به خوبی دیده می‌شود، هر چند خوانایی محیط و فضای معماری و عملکرد آن را دچار اختلال می‌کند. نکته قابل تأمل در خوانایی مداخله‌های نیمه پنهان و نیمه آشکار این است که فنون علاوه بر جای گذاشتن شواهدی از مداخله در اثر، رفتار سازه‌ای را به صورت کامل تغییر ندهد. مقوله خوانایی در فونونی که به صورت کاملاً پنهان بوده و رفتار سازه‌ای را کاملاً عوض می‌کنند مانند ستون‌های فلزی مدفون در عمارت عالی‌قاپو و چهل ستون اصفهان، تماماً به سمت پوشیدگی و یگانگی هویت سیمای بصری تمایل پیدا می‌کند. در تکنیک‌هایی مانند کمر بند تقویتی در بقعه پیر احمد و مش‌های تقویتی در بناهای ارگ بم، رد و نشان‌هایی از عنصر تقویتی و تغییر رفتار سازه‌ای مشاهده می‌گردد که مخاطب ارجاع به مداخله می‌نماید و بدین گونه خوانایی تأمین می‌گردد. در مداخله‌های آشکار مورد تحلیل که همگی اصل خوانایی بصری را رعایت می‌نمایند برخی تکنیک‌ها بر جنبه آشکار سازی رفتار سازه‌ای نیز تأکید می‌کنند. قاب نگه دارنده در حجره بازار ارگ بم علاوه رعایت اصل خوانایی بصری، با ایجاد فریم دور تا دور در پاکار طاق باعث آشکار سازی رفتار سازه‌ای اثر و تأکید بر نقش طاق در یکپارچگی رفتاری شده است، هر چند که اختلال بصری و عملکردی آن را نمی‌توان کتمان نمود (جدول ۶). این نکته‌ای است که پارسائی و دیگران نیز درباره مداخله آشکار برج خرقان متذکر می‌شوند و یادآور می‌شوند اصالت و ساختار فیزیکی اصیل اولیه مواردی است که در این مداخله مخدوش شده است (پارسائی و دیگران، ۱۳۹۶: ۶۰).



تصویر ۳۰ و ۲۹: جزئیات اجرای مش ژئوگرید و صفحات فلزی در خانه روستایی اصفهک (مأخذ: پاریسی و منصوری: ۱۳۹۵).

جدول ۶: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل خوانایی

مداخله آشکار	مداخله نیمه پنهان و نیمه آشکار		
بسیار متمایز	رعایت خوانایی	رعایت نسبی خوانایی	عدم رعایت خوانایی
مهار فلزی، قاب نگه‌دارنده بیرونی	بهسازی رفتار لرزه‌ای به همراه شواهدی از مداخله کالبدی	تصحیح رفتار سازه‌ای به همراه تمایز کالبدی	تغییر در رفتار سازه‌ای به همراه کتمان مداخله

یافته‌ها نشان می‌دهد که خوانایی در حفاظت لرزه‌ای صرفاً به معنای قابل تشخیص بودن عنصر الحاقی نیست، بلکه به میزان آشکار بودن منطق سازه‌ای مداخله نیز وابسته است. در نمونه‌های متأخر، خوانایی از سطح تمایز کالبدی فراتر رفته و به ابزاری برای آشکارسازی رفتار سازه‌ای و انتقال دانش مداخله به نسل‌های آینده تبدیل شده است.

۴-۳-۶- میزان اثربخشی (Effectiveness)

یکی از مباحث مهم در امر حفاظت لرزه‌ای، کارآمد بودن مداخله و بررسی میزان تأثیرگذاری بر رفتار لرزه‌ای است. در آیین‌نامه ایتالیا ذکر شده بایست توجه ویژه‌ای به اجرای مداخلات به‌منظور اطمینان از اثربخشی آن‌ها و ممانعت از خرابی آن که می‌تواند منجر به تضعیف مشخصات بنایی و یا عملکرد اجزای تشکیل‌دهنده آن شود، صورت پذیرد (Cecchi&Calvi, 2007:53). اثربخشی مداخله لرزه‌ای از مسیر رسیدن به سطح عملکرد موردنظر و تأمین سطح ایمنی اثر تاریخی است. کنترل اثربخشی مداخلات مخصوصاً زمانی که مداخلات استحکام‌بخشی ناحیه محدودی را در برمی‌گیرد و ارزیابی کلی ساختار منتج به اقدامات غیرضروری و مسئله آفرین می‌گردد، ضروری است. اثربخشی یک تکنیک با مطالعات آزمایشگاهی و عددی مشخص می‌شود.^{۱۱}

اثربخشی تکنیک‌هایی که هم به شکست داخل صفحه و هم شکست خارج صفحه توجه می‌کنند، اثبات شده است. استفاده از شبکه مش هم داخل ملات برای افزایش مقاومت برشی دیوار (تصاویر ۳۱-۳۳) و هم در جداره بیرونی طاق و هم جداره درونی، مبین افزایش شکل‌پذیری و مقاومت طاق برای مقابله با زلزله است (تصاویر ۳۴-۳۶). در خانه سیستمی بم علاوه بر مش سازه، از المان‌های کششی نیز جهت حفظ انسجام مش و حرکت روبه بالای جرز استفاده شده است. در نظرگیری المان‌های صفحه‌ای بومی مانند شبکه مش سازه و المان‌های خطی مانند طناب سازه با همپوشانی عملکرد سازه‌ای منجر به رسیدن به اثربخشی مطلوب و جلوگیری از شکست‌های داخل و خارج صفحه شده است. دسته دیگر اقدامات توزیع شده در بنا شامل اقداماتی است که هدف ممانعت از حرکت خارج صفحه دیوار بوده است. در این اقدامات با تعبیه قاب نگه‌دارنده دیوار از پرتاب شدن دیوار به بیرون جلوگیری می‌نمایند. برخلاف برخی مداخله‌ها که عناصر تقویتی در کل شکل توزیع و پخش می‌شود مانند شبکه مش در خانه سیستمی، در برخی مداخله‌ها فقط محدود به نواحی مشخص و منطقه‌های هدف می‌گردد. در این رویکرد اثربخشی به صورت موضعی در نظر گرفته شده تا فقط نواحی نقصان‌پذیر و بحرانی مورد مداخله و تقویت گیرد. این رویکرد در مداخله بافت اصفهک که حفاظت منحصر به باریکه‌های تقویتی شده است رؤیت می‌گردد. در مسجد جامع ده نو (استفاده از طناب سازه) و بقعه بابا پیر احمد برخلاف بقعه شیخ صفی اردبیلی و گنبدسیدرکن‌الدین یزد که شبکه تقویتی روی کل گنبد توزیع شده، صرفاً در نواحی تمرکز تنش کششی از عناصر تقویتی

استفاده شده است. در تحلیل اثربخشی حفاظت لرزه‌ای متمرکز باید اذعان نمود که کارایی اثربخشی منوط به تشخیص درست نواحی تمرکز تنش و عملکرد صحیح عناصر تقویتی هنگام تمرکز تنش است (جدول ۷).



تصویر ۳۳: اجرای مش پلاستیکی درون ملات خانه طبایی اردکان (مأخذ: CRAteree, 2010).



تصویر ۳۲ و ۳۱: اجرای مش سازو درون ملات خانه سیستانی ارگ بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).



تصویر ۳۵: اجرای مش و طناب ژئوگرید بر روی طاق حجره بازار ارگ بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۱۰).



تصویر ۳۴: اجرای طناب ژئوگرید بر روی تویزه حجره بازار بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۱۰).



تصویر ۳۶: اجرای طناب ژئوگرید در زیر طاق حجره بازار ارگ بم (مأخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۱۰).



تصویر ۳۷: تحولات رویکرد تجربه‌های حفاظتی با در نظرگیری اصل اثربخشی

جدول ۷: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل میزان اثربخشی

حفاظت لرزه‌ای توزیع شده		حفاظت لرزه‌ای متمرکز	
شکست داخل و خارج صفحه	شکست خارج صفحه	شکست داخل صفحه	شکست خارج صفحه
استفاده هم‌زمان از مش در داخل ملات و بیرون همه سطوح	استفاده از ساختار نگهدارنده برای جلوگیری از حرکت روبه بیرون دیوار یا سقف	استفاده از عناصر تقویتی در داخل دیوار یا پوسته	استفاده از المان‌های مقاوم در بخشی از خارج پوسته یا دیوار

کرونولوژی حفاظت لرزه‌ای نوین در این سرزمین نشان می‌دهد که مداخله‌های کالبدی در ابتدا متوجه حفاظت لرزه‌ای توزیع شده و در مقیاس کل بنا بوده و با گذشت زمان مداخله‌ها محدود و متمرکز به نواحی مشخص شده‌اند تا وفادار به اصل مداخله حداقلی باقی بمانند. از سویی دیگر مداخله‌هایی که برای تقویت رفتار درون صفحه دیوار به کار گرفته می‌شده و نیاز به جرح و شکافتن دل بنای تاریخی بوده، در این دوران کمتر عملیاتی شده (مگر در بازسازی‌های پس از سانحه) و

حفاظت لرزه‌ای سعی می‌نماید از برشکاری و اقداماتی نظیر جاگذاری لایه‌های مقاوم در مقطع دیوار و تعبیه مغزه مقاوم، به دلیل کاهش مقاومت برشی تبری جوید. در متأخرترین رویکرد حفاظت لرزه‌ای برای رسیدن به اثربخشی کامل، خود را از دغدغه مداخله کلان و یا موضعی رها نموده و متمایل به عدم دخالت کالبدی شده است و سعی نموده با بهره‌جویی از فتنونی مانند جداسازهای لرزه‌ای و فنون پایش محور دست از سر مداخله فیزیکی بردارد (تصویر ۳۷). بررسی نمونه‌ها نشان می‌دهد که معیار اثربخشی از تقویت فراگیر و توزیع‌شده کل بنا به سمت مداخله‌های موضعی و مبتنی بر شناسایی نقاط بحرانی تحول‌یافته است. بدین ترتیب، هدف حفاظت لرزه‌ای از افزایش کلی مقاومت سازه به کنترل هدفمند آسیب‌پذیری‌های بحرانی تغییر کرده است.

۴-۳-۷- کنترل‌پذیری (Controllability) و پایش (Monitoring)

طبق منشور بورا، باید اقدامات مداخله‌ای و پیامدهای آن برای اطمینان از مناسب بودن و اثربخشی مستمر، پایش شود (ICOMOS, 2013:10). در این راستا مجموعه اقداماتی که جهت تحلیل کارآمدی قبل از مداخله و کنترل‌پذیری پس از مداخله صورت می‌گیرد را زیر لوای پایش (مونیتورینگ) آورده می‌شود. پر پیداست که در این تحقیق، مقایسه نویسنده از کنترل‌پذیری قبل از مداخله بوده و پایش‌های بعد از مداخله شامل این بخش مقایسه نمی‌گردد. رویکرد کمی در تشخیص عمدتاً مبتنی بر آزمایش‌های سازه‌ای، پایش و تحلیل سازه‌ای است (ICOMOS, 2003:2). در این تحقیق نیز از چندی و چگونگی مطالعات کمی به‌عنوان معیاری جهت مقایسه استفاده می‌شود. در بررسی مداخله‌های صورت گرفته در این پهنه سرزمینی مشخص گردید که جهت تحلیل کارآمدی مداخله‌ها قبل از مداخله از سه گونه مطالعات استفاده می‌شود (جدول ۸). مطالعات صرفاً عددی دسته‌ای از تحلیل پیامدهای مداخله است که منحصرأ تکیه‌بر شبیه‌سازی و مدل‌سازی رایانه‌ای و روابط ریاضی صرف می‌کند. این دسته معمولاً با کمک گرفتن از مطالعات آزمایشگاهی تجربه‌شده اقدام به مدل‌سازی می‌نماید که بیشتر بین جامعه محققان و دانشجویان رواج دارد. دسته بعدی مطالعاتی است که با تکیه‌بر مطالعات میدانی و تجربی اقدام به کسب داده‌ها می‌نماید. برای نمونه در این گروه مطالعات مشخصات مکانیکی مصالح، بارگذاری چرخه‌ای و یا آزمون‌های میز لرزه و تست‌های ارتعاشی قرار دارد. دسته بعدی کارآمدی را نه صرفاً در مطالعات عددی و روابط ریاضی بلکه در صحت سنجی مدل‌های رایانه‌ای با مطالعات آزمایشگاهی و میدان تجربه می‌بیند و سعی می‌نماید در برهم سنجیدن این دو گونه مطالعات نواقص و معایب هرگونه را مرتفع نماید. کنترل کارآمدی از طریق نتایج اجرا متکی بر مطالعات میدانی بوده و رایج‌ترین شیوه تحلیل اثربخشی پسامداخله است. تمرکز مطالعات آزمایشگاهی و عددی متعلق به پس از زلزله به‌ویژه اثر ارگ تاریخی به‌بوده است. شواهد نشان می‌دهد کنترل‌پذیری از طریق ترکیب مطالعات آزمایشگاهی و عددی وارد مرحله تازه‌ای شده است و تنها تکیه‌بر یکی از گونه مطالعات، موجب نادیده انگاری و فهم ناکامل از حفاظت لرزه‌ای آثار می‌شود. علاوه بر آن پس از بررسی مطالعات آزمایشگاهی مشخص گردید در برخی مداخله‌ها، پارامترهای کلیدی در ارتباط با اندرکنش بین مصالح تقویتی و مصالح اصلی مشخص نشده و حتی در مطالعات عددی روش‌هایی انتخاب‌شده که قابل تجویز برای بناهای تاریخی نیست. گرایش به استفاده از مصالح مدرن در حفاظت که رفتار لرزه‌ای آن‌ها کاملاً شناخته‌شده و قابل کنترل بوده یکی از دلایل اقبال به مصالحی همچون FRP در بناهای تاریخی است که تاریخ حفاظت نیز شواهدی از این‌گونه مداخله را در خود جای داده است (تصاویر ۳۸-۴۰).

جدول ۸: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل کنترل‌پذیری و پایش

کارآمدی از طریق مطالعات		کارآمدی از طریق نتایج اجرا
مطالعات آزمایشگاهی	ترکیب مطالعات آزمایشگاهی و عددی	مطالعات میدانی
مسجد پیامبر به، خانه میرزا نعیم به، بافت اصفهک، خانه طبایی اردکان، اصطبل ارگ به، بقعه بابا پیر احمد شهرکرد،	خانه سیستانی به، کارخانه درخشان یزد، حجره بازار ارگ به، دروازه دوم ارگ به، برج خرقان، چرم‌سازی خسروی تبریز، برج ۳۲ ارگ به،	مسجد جامع ساوه، مدرسه سپهسالار، مسجد جامع همدان، گنبد سلطانیه، شیخ صفی اردبیلی، مسجد جامع ده نو، خانه‌های چرخاب اردکان،



تصویر ۳۹: اجرای مش FRP در بازسازی خانه ارگ بم (مآخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).



تصویر ۳۸: مغزه مسلح در ارگ بم (مآخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).



تصویر ۴۰: اجرای المان‌های قائم با FRP در بازسازی خانه ارگ بم (مآخذ: پایگاه میراث جهانی ارگ بم، ۲۰۰۹).

بررسی نمونه‌ها نشان می‌دهد که حفاظت لرزه‌ای در ایران از اتکای صرف به تجربه اجرایی و قضاوت حرفه‌ای به سمت رویکردهای مبتنی بر پایش، مدل‌سازی و صحت‌سنجی حرکت کرده است. در این تحول، تلفیق مطالعات عددی، آزمایشگاهی و میدانی به تدریج جایگزین رویکردهای تک‌بعدی شده و کنترل‌پذیری مداخله را به یکی از معیارهای اصلی تصمیم‌گیری حفاظتی تبدیل کرده است. این تحول بیانگر گذار از تصمیم‌گیری تجربی به تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در حفاظت لرزه‌ای است.

۴-۳-۸- حفظ تمامیت (Entegrity/Wholeness)

در منشور ونیز برای مداخله در نواحی کمبود چنین بکار رفته است: جایگزین بخش‌های گمشده (از بین رفته) باید به‌طور هماهنگی با تمامیت اثر یکپارچه شود (ICOMOS, 1964:3). حفظ تمامیت شامل مؤلفه‌های ساختاری، عملکردی، کالبدی، تاریخی، فرهنگی، هنری (زیبایی‌شناسی)، شکلی (فرمی)، بصری می‌شود. در حفاظت لرزه‌ای مبحث تمامیت با موضوعاتی مانند یکپارچگی و انسجام گره می‌خورد و سعی می‌نماید از تمرکز به یک ناحیه محدود یا حفاظت موضعی پرهیز نماید و کلیت ساختمان را به‌صورت یکپارچه در برابر زلزله بهسازی نماید. در منشور حفاظت سازه‌ای هدف مرمت، حفظ تمامیت و کلیت ساختمان است و مرمت سازه‌ای ابزاری برای رسیدن به این هدف است (ICOMOS, 2003:1). یکی از مباحث مهم در حفاظت لرزه‌ای تبعاتی است که مداخله در سختی، مقاومت، انسجام، شکل‌پذیری و میرایی به وجود می‌آورد؛ بنابراین حفظ تمامیت با رویکردی موردنظر است که با کمترین تغییرات، ساختار را به‌صورت یکپارچه درآورد. در آئین‌نامه ایتالیا مذكور شده باید از کلیه عملیات تخریب و جایگزینی و یا تخریب و بازسازی اجتناب کرده و تنها از مداخلاتی استفاده شود که سازه موجود را بدون تغییر اساسی در آن به‌صورت یکپارچه درآورد (Cecchi&Calvi, 2007:53). با این اوصاف در این تحقیق از مقایسه معیار تمامیت مداخله‌ها، از مؤلفه حداقل تغییر استفاده می‌گردد. مشخص است در مداخله‌های کلان‌مقیاس که از مصالحی مانند فولاد و بتن مسلح که ناهمگون با بنای تاریخی است، استفاده شده اصل تمامیت و یکپارچگی را نقص نموده است ولی از سویی دیگر این‌گونه مداخله‌ها خود به وجود آورنده انسجام و یکپارچگی جدید می‌شود. نکته قابل‌اعتنا در این اصل برآورده نمودن هم‌زمان یکپارچگی و حداقل تغییرات است. پس می‌توان گفت در مداخله‌هایی مانند تکنیک مش بتنی به‌واسطه عدم برآوردن شرط یکپارچگی به همراه حداقل تغییر، کنار گذاشته می‌شود. رعایت اصل تمامیت به شکل کامل محدود به مداخله‌هایی است یا اصلاً دخالتی در کالبد نداشته‌اند مانند مداخله برج خرقان یا از مصالح همگون مانند مسجد دهنو و خانه سیستانی استفاده شده است (جدول ۹). بعضی مرمت‌ها از مصالحی استفاده شده که دارای خصلت‌هایی نزدیک به ساختار قدیمی داشته و یا سعی شده تغییرات به وجود آمده تبعاتی برای یکپارچگی و تمامیت به وجود نیآورد. ناگفته نماند در زیردسته مداخله‌های مبتنی بر حفاظت بومی نیز اولویت با مداخله‌هایی است که وحدت مصالح و نظام ساخت را حفظ می‌نمایند (مانند مسجد ده نو) و کمتر تن به دخالت کالبدی می‌دهند (تصاویر ۴۱-۴۳). مقوله تمامیت و یکپارچگی از سویی با مفهوم حداقل مقدار ماده مداخله ارتباط دارد که مفهومی کمی است و از سویی دیگر با مصالح مداخله که مبحثی کیفی است. کرونولوژی مداخله‌های کالبدی بر ما آشکار می‌سازد که نگاه به مفهوم

تمامیت در مداخله‌های صلب به معنای ایجاد تمامیت برای مصالح و فنون مداخله‌ای است و نه حفظ یکپارچگی بنای تاریخی. با همین فرمان است که این رویکرد حداکثر تغییر را برای رسیدن به تمامیت دلبخواه تجویز می‌نماید در حالیکه رویکرد حفاظت لرزه‌ای متوجه رفتار لرزه‌ای بخش تاریخی شده و سعی می‌کند با افزایش همسانی مصالح و کاهش مقیاس مداخله به یکپارچگی رفتاری نزدیک شود. درنهایت مداخله‌هایی که هدف‌گذاری خود را اصالت قرار داده‌اند با خارج کردن مداخله فیزیکی از گردونه حفاظتی، سریع به رعایت اصل تمامیت دست می‌یابند و دستیابی به اهداف لرزه‌ای را با هزینه‌های دیگری پرداخت می‌نمایند (تصویر ۴۴).

جدول ۹: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل تمامیت

رعایت تمامیت	رعایت نسبی تمامیت	رعایت کامل تمامیت	عدم رعایت تمامیت
تکنیک قاب نگه‌دارنده، مهار و کش فلزی قابل حذف	انسجام و یکپارچگی موضعی	انسجام و یکپارچگی کامل	عدم انسجام و یکپارچگی
مداخله آشکار	مداخله نیمه پنهان و نیمه آشکار		



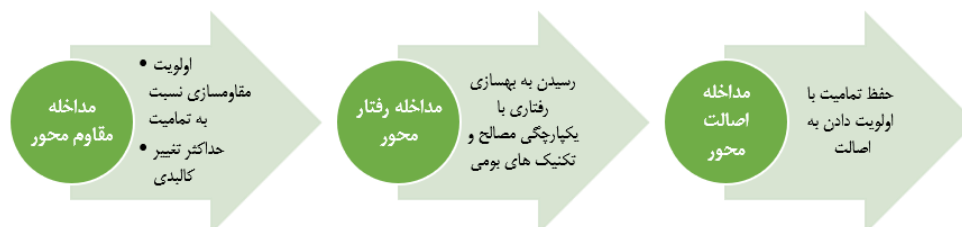
تصویر ۴۲: بازسازی پاپیل‌های پیرامون کارخانه درخشان (مآخذ: عزیزی و دیگران: ۱۴۰۲).



تصویر ۴۱: اجرای کمربند و کش فلزی در کارخانه درخشان (مآخذ: عزیزی و دیگران: ۱۴۰۲).



تصویر ۴۳: اجرای مش پلاستیکی و سازو بر روی طاق‌های کارخانه درخشان (مآخذ: عزیزی و دیگران: ۱۴۰۲).



تصویر ۴۴: تحولات مداخله‌های لرزه‌ای با نگاه به اصل تمامیت

نتایج نشان می‌دهد که مفهوم تمامیت در حفاظت لرزه‌ای از ایجاد یکپارچگی مصنوعی از طریق عناصر جدید سازه‌ای به سمت حفظ یکپارچگی موجود و تقویت رفتار کلی بنای تاریخی تحول یافته است. در این رویکرد، موفق‌ترین مداخلات آن‌هایی بوده‌اند که بدون تغییر بنیادین در ساختار تاریخی، انسجام رفتاری و پیوستگی سازه‌ای بنا را تقویت کرده‌اند.

۴-۳-۹- حرمت‌گذاری (Respect to Original Materials and Authentic)

در منشور آتن احترام به اثر تاریخی - هنری و عدم حذف سبک هیچ دوره‌ای توصیه شده است (ICOMOS, 1931:1). در منشور ونیز مفهوم حرمت‌گذاری بدین صورت مطرح می‌شود: هدف از مرمت حفظ و آشکار کردن ارزش تاریخی و زیبایی‌شناسی یادمان است و بر اساس احترام به مواد اصل و اسناد، معتبر است (ICOMOS, 1964:2). اصالت شامل حفظ «ساختمایه اولیه، فنون و تکنیک‌های ساخت، کروئولوژی بنا، خصلت‌های زیبایی‌شناسانه و هنری، مورفولوژی، عملکرد، رفتار سازه‌ای و الگوی مقاومت سازه‌ای» است. حفظ ارزش‌های میراثی نیز شامل ارزش‌های «تاریخی، فرهنگی، مذهبی،

هنری، آموزشی، سمبولیک، علمی، معماری، احساسی، اسنادی» است. در منشور مکزیکی مداخلات در سازه‌های بومی باید به طریقی انجام شود که یکپارچگی موقعیت مکانی، ارتباط با چشم‌انداز فیزیکی و فرهنگی و ارتباط یک سازه با سازه دیگر را مورد احترام قرار دهد (ICOMOS, 1999:3). پس می‌توان چنین برداشت نمود که احترام نه صرفاً در حوزه اصالت ساخت مایه‌ای آن بلکه در یکپارچگی تکنیکی آن نیز هست. در این تحقیق نیز با همین جبهه‌گیری مبادرت به دسته‌بندی مداخله‌های لرزه‌ای می‌گردد (جدول ۱۰). در برخی تکنیک‌های مداخله حرمت‌گذاری به موقعیت مکانی تکنیک بومی صورت گرفته ولی احترامی به اصالت مصالح گذاشته نشده است. برای مثال در سلطانیه هرچند رینگ تقویتی دقیقاً در محل کمر بند آجری ساخته شده ولی این عمل با تخریب کمر بند آجری صورت گرفته است. در تکنیک‌هایی مانند قاب نگه‌دارنده اثر حرمت‌گذاری خود را از طریق حضور موقتی خود در کنار اثر اعلام می‌دارد در حالیکه در نقطه مقابل آن تکنیک‌های صلبی مانند فریم بتنی و دیواربرشی متصل به اثر، با تحکم خود به سازه بنای تاریخی حضور خود را برای سازه الزامی و همیشگی اعلام می‌نمایند؛ بنابراین می‌توان اعلام نمود قاب نگه‌دارنده الحاقی به بنای تاریخی در حوزه مداخله‌های آشکار به دلیل موقتی بودن واجد اصل حرمت‌گذاری است. با توجه به اینکه در بخش مداخله‌های فیزیکی، حضور مداخله ثابت و غیرموقتی است، معیار حرمت‌گذاری محدود به احترام به مصالح و تکنیک اصیل می‌گردد. مشخص است که مفهوم حرمت‌گذاری در این مرحله، قربت‌هایی با مفهوم یکپارچگی و خوانایی پیدا می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت در بناهایی همچون انبار جنب خانه سیستانی و یا دروازه دوم ارگ بم که از مصالح بومی و فنون محلی جهت مداخله نیمه پنهان استفاده می‌شود، حرمت‌گذاری به یکپارچگی ساخت مایه‌ای به نهایت خود می‌رسد (تصاویر ۴۵-۴۷). احترام به موقعیت سازه‌ای تکنیک‌ها، رفتار سازه‌ای تکنیک، ارتباط‌های فضایی - ساختاری در حفاظت لرزه‌ای منجر به خوانا سازی رفتار لرزه‌ای و یکپارچگی ساختاری اثر تاریخی می‌گردد که آن را می‌توان در حفاظت مسجد جامع ده نو مشاهده کرد. نوع دیگر احترام به بنای تاریخی با استفاده از قاعده دوری - دوستی به دست می‌آید و مداخله کالبدی بافاصله گذاری با بخش اصیل در قالب تکنیک‌هایی مانند قاب حمال، استفاده از انتقالگرهای رابط و واسط مانند جداسازها و کمربندها، به آن اثر تاریخی احترام می‌گذارد. آشکار است که رویکردهای بوم پایه که برآمده از بوم و سرزمین اثر باشند حرمت‌گذاری را نه صرفاً در حوزه میراثی بلکه در نگاه کلان‌تر حفاظت لرزه‌ای محلی می‌بیند در صورتی که رویکرد اصالت پایه موزه‌ای صرفاً مادیت اثر تاریخی را مورد احترام قرار می‌دهد (تصویر ۴۸).

جدول ۱۰: دسته‌بندی مداخله‌های حفاظتی مورد مقایسه بر اساس اصل حرمت‌گذاری

مداخله نیمه پنهان و نیمه آشکار			
مداخله آشکار	مداخله نیمه پنهان و نیمه آشکار	مداخله نیمه پنهان و نیمه آشکار	مداخله آشکار
حرمت‌گذاری کامل	حرمت‌گذاری نسبی	عدم حرمت‌گذاری	حرمت‌گذار
تکنیک‌های بومی	تکنیک‌های موضعی با مصالح مدرن	تکنیک خریا فلزی، رینگ فلزی یا بتنی و دیواربرشی بتنی، مش فلزی و شاتکریت	تکنیک قاب نگه‌دارنده، تکنیک مهار فلزی



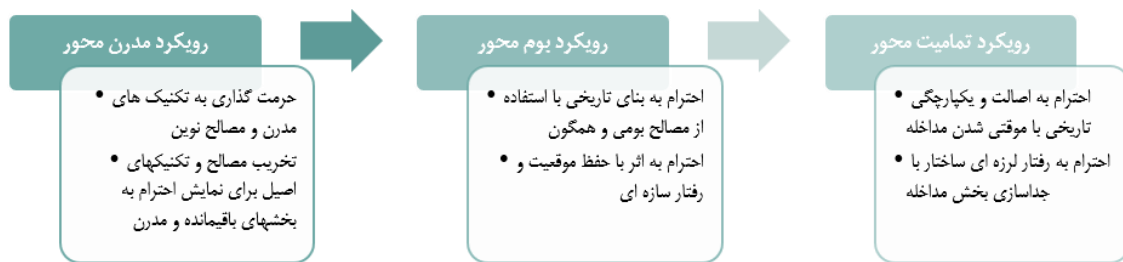
تصویر ۴۶: اجرای شبکه قائم شوره نی درون جرز دروازه دوم ارگ بم (مأخذ: فرحبخش، ۱۳۸۸).



تصویر ۴۵: اجرای شناژ ماسه آهکی در دروازه دوم ارگ بم (مأخذ: فرحبخش، ۱۳۸۸).



تصویر ۴۷: اجرای شبکه افقی شوره نی درون جرز دروازه دوم ارگ بم (مأخذ: فرحبخش، ۱۳۸۸).



تصویر ۴۸: تحولات تجربه های حفاظتی با در نظرگیری اصل حرمت گذاری

یافته ها نشان می دهد که مفهوم حرمت گذاری در حفاظت لرزه ای تنها به حفظ مصالح اصیل محدود نمی شود، بلکه احترام به منطق ساخت، رفتار سازه ای، روابط فضایی و دانش بومی نهفته در اثر تاریخی را نیز در برمی گیرد. بر این اساس، روند متأخر حفاظت لرزه ای در ایران به سمت مداخلاتی حرکت کرده که به جای تحمیل یک نظام سازه ای جدید، در چارچوب منطق سازه ای و فرهنگی بنا عمل می کنند.

۴-۴- بحث و تحلیل

در بررسی اصول برگرفته از منشورهای بین المللی مشخص می شود برخی تعارض های نظری و عملی بین مفاهیم حفاظت لرزه ای و اصول اجرایی بهسازی لرزه ای در ایران وجود دارد. اولین معضل در حوزه عمل است؛ مبانی بهسازی لرزه ای بناهای تاریخی بر پایه مصالح جدید و فنون ساخت و ساز جدید نوشته شده است و استانداردهای لرزه ای بکار رفته در مداخله های اجرایی به استناد این آیین نامه ها بوده است. انتخاب هدف بهسازی یا سطح لرزه ای در این استانداردها منطبق بر بناهای تاریخی نبوده و منجر به مداخله های عظیم در این گونه بناها می شود. با انتخاب اهداف لرزه ای و سطح عملکرد ساختمان، میزان مداخله لرزه ای مشخص می گردد. با یادآوری این نکته که منشور لیما حداقل سطح ایمنی جانی را برای حوزه بناهای تاریخی در نظر گرفته و با توجه به سطح خطر زلزله برای برخی مناطق ایران، می توان انتظار داشت مداخله های زیادی در بهسازی لرزه ای این گونه بناها صورت بگیرد که این روند با مفهوم مداخله حداقلی در تضاد بوده است؛ بنابراین الزام بازتعریف سطوح و اهداف لرزه ای منطبق با این پهنه سرزمینی (همانند دستورالعمل ایتالیا) مشاهده می گردد. از جنبه ای دیگر در موازنه و تقابل سطح ایمنی در نظر گرفته شده برای بهسازی لرزه ای با حرمت گذاری به اثر تاریخی، مداخله به سمت اقدامات حداقلی گرایش پیدا می کند و حفاظتگر با انتخاب سطح ایمنی پایین تر و تقلیل هدف بهسازی، میزان دخالت های فیزیکی را کاهش می دهد. این بدان معنا است که در حفاظت لرزه ای آثار تاریخی، اولویت با حفظ اصالت و یکپارچگی اثر است و می توان نقاط هدف لرزه ای را با تمهیدات جانبی جبران نمود.

«ضریب آگاهی»^{۱۲} و جمع آوری اطلاعات از بنای تاریخی بدون در نظر گرفتن اصالت کالبدی و تشریح درجات مختلف این ضریب برای اثر تاریخی بوده است. نقش «ضریب آگاهی» برای رسیدن به ارزیابی ایمنی لرزه ای و تأمین هدف لرزه ای مبرهن است. در حوزه بناهای تاریخی مفهوم ضریب آگاهی با مفهوم دخالت حداقلی زاویه دارد. به همین دلیل است که بررسی های آزمایشگاهی برای به دست آوردن داده های اولیه جهت ارزیابی لرزه ای به سوی تست های غیرتخریبی و آزمون های موضعی کشیده می شود. از لحاظ دیگر وقتی مفهوم احترام گذاری به بنای تاریخی سرلوحه قرار می گیرد تجویز به آزمون های «نظیر به نظیر»^{۱۳} می شود تا مفهوم تمامیت و حداقل مداخله حفظ شود. آنالیز و ارزیابی لرزه ای در استانداردهای بهسازی ایران بدون در نظرگیری ارزیابی موضعی بنا است. علاوه بر آن در این استانداردها جایی برای حالات خرابی آثار هنری تعریف نشده است و تأثیرات مداخله های لرزه ای بر روی آرایه های هنری گنجانده نشده است. با پیش کشیدن مفهوم حفاظت لرزه ای گستره ای از اصول و مؤلفه های حفاظت پیش روی حفاظتگر قرار می گیرد که متمسک شدن و پافشاری بر روی هر کدام، متبیین نوع و سطح مداخله بوده و پایگان نظری را راهبری می نماید. با طرح مباحث گفته شده که بر یافته از اصول اسناد بین المللی است، مشخص گردید این اصول دارای ترازهای معنایی - کاربردی مختلفی بوده است و با گذر زمان توسعه و تعمیق یافته است. این اصول تدقیق شده و سعی شده گزیده های ابهامی آن مرتفع گردد. علاوه بر

آن معلوم گردید که اصول برگرفته از منشورهای بین‌المللی در حین پیاده‌سازی مصادیق دچار اشتراک معنایی باهم شده و به سخن دیگر این اصول دارای همپوشانی‌هایی است که باعث تداخل مفهومی می‌گردد که در این قسمت سعی می‌گردد شفاف‌سازی تا حد امکان صورت پذیرد.

مفهوم برگشت‌پذیری (بازگشت‌پذیری) به‌عنوان یک اصل بنیادین در حفاظت به انحای گوناگون حضور خود را بر طرح مداخله به رخ می‌کشد. وفاداری کامل به مفهوم «حذف‌پذیری» در مداخله لرزه‌ای، تکنیک لرزه‌ای را به سمت حفاظت موزه‌ای و تکنیک‌هایی مانند قاب‌های نگه‌دارنده می‌کشاند. پس می‌توان گفت رعایت برگشت‌پذیری به‌صورت کامل، مفهوم حداقل مداخله را درگیر نموده که بالطبع آن مفاهیمی مانند خوانایی، عدم تعدی، حفظ تمامیت، حرمت‌گذاری نیز تا حدودی رعایت می‌شود. با گذشتن از حفاظت موزه‌ای در بهسازی لرزه‌ای آنگاه مفهوم برگشت‌پذیری با مفاهیم دیگری مانند «اثربخشی» و «دوام» درگیر می‌شود. از آنجاکه عمر آثار میراثی نامحدود در نظر گرفته می‌شود و عمر برخی مواد به‌ویژه مصالح مدرن که در مرمت بناهای تاریخی نقش دارند مانند فولاد و بتن، محدود است، بنابراین پس از یک بازه زمانی باید مبادرت به تعویض قطعات و مرمت اثر نمود. این معذوریت به انحای مختلف مفاهیم برگشت‌پذیری و اثربخشی را به چالش می‌کشد. با توجه به این مسئله، حفاظت لرزه‌ای به سمت درجه‌بندی مفهوم برگشت‌پذیری می‌رود تا با رعایت مفاهیم اثربخشی و دوام، مداخله‌هایی را برگزیند که امکان حذف‌پذیری بیشتری را برآورده سازد. اصل سازگاری و دوام به‌عنوان شاخه‌های درخت مفهوم پایداری است که در حفاظت لرزه‌ای به سازگاری تکنیک و مصالح و حفظ رفتار لرزه‌ای مداخله می‌پردازد. این اصل با اصل اثربخشی و عدم تعدی رابطه نزدیکی دارد و از جنبه‌ای دیگر، زیرمعیارهای درون مفهوم سازگاری و دوام هستند. البته اصل سازگاری وقتی با مفهوم کمی همراه گردد با اصل تمامیت و یکپارچگی قرین شده و می‌توان از مداخله سازگار با مقدار محدود، اصل تمامیت را نتیجه‌گیری کرد. مفهوم هماهنگی درون اصل عدم تعدی با اصل سازگاری همسان بوده و از سویی دیگر مفهوم عدم‌تغییر دائمی درون این اصل با اصل برگشت‌پذیری قرابت‌هایی برقرار می‌نماید. آیین‌نامه ایتالیا با اضافه نمودن اصطلاح «حداقل» به تعریف این اصل، اصطلاحاً این اصل را می‌خکوب نموده و کوشش نموده جلوی تهاجم اصل عدم تعدی را زیر لوای مفهوم سازگاری بگیرد. برای نمونه به اعتقاد اسفنجاری استفاده گسترده و بی‌محبا از تکنیک «پتو پیچ کردن»^{۱۴} با استفاده از سازو برای بناهای خشتی، فارغ از تأثیرات منفی و مثبت آن بر اثر، به چشم‌پوشی مفهوم حداقل مداخله، هارمونی مداخله (عدم تناسب مداخله لرزه‌ای با فرهنگ پرهیز از بیهودگی و اسراف ایرانیان) و امکان‌پذیری مداخله (تأثیر هزینه بر مداخله) می‌انجامد.

اصل خوانایی که بر هویت بصری اثر و حرمت‌گذاری به فهم مخاطب بنیان گذاشته‌شده در حوزه حفاظت لرزه‌ای، از سویی با اصل احترام به بنای تاریخی مرتبط بوده و از سویی با اصل عدم تهاجم و تعدی به اثر تاریخی. در حفاظت لرزه‌ای این اصل می‌کوشد با آشکار کردن ساختار باربری اثر و نمایش برجسته‌ای از انتظام سازه‌ای مداخله نسبت به قسمت‌های مداخله نشده، به اصل تمامیت و هویت سازه‌ای اشاره نماید. البته ممکن است در این مسیر، این اصل برای نمایش تمامیت از مفهوم مداخله حداقلی استفاده کند. در بهسازی لرزه‌ای، سطح مداخله را سطح عملکرد لرزه‌ای و نقطه هدف لرزه‌ای مشخص می‌نماید و متناسب با آن حدود مداخله مشخص می‌نماید. در بناهای تاریخی سطح مداخله لرزه‌ای با سطوح ارزشی بنای میراثی برخورد می‌نماید و از اجماع این سطوح، مرتبه مداخله مشخص می‌شود. در اینجا است که اصل حداقل مداخله که ابهام ذاتی در خود دارد باید توسط اصل و معیار دیگر کنترل شود. معیار «حداکثر انتفاع» که در زیرمجموعه آن اصل حداکثر اثربخشی در حفاظت لرزه‌ای بوده، افساری برای اصل حداقل مداخله بوده و مسیر مداخله را راهبری می‌کند. اگر مفهوم حداقل مداخله را تا آنجا تنزل دهیم که از این اصل صرفاً مفهوم مداخله‌های کوچک‌مقیاس برداشت شود، آنگاه شاید به‌اشتباه تفسیر به عدم تأثیر در رفتار لرزه‌ای شود. این در حالی است که در مبحث زلزله کوچک‌ترین مداخلات نیز در رفتار لرزه‌ای و پاسخ بنا به‌شتاب زلزله مؤثر هستند.

اثربخشی یکی از شاخه‌های درخت مداخله لرزه‌ای است که دران هرچه رفتار بنا در مقابل زلزله بهبود بخشیده شود، میوه اثربخشی شیرین‌تر است. این اصل ارتباطی بلافصل با اصل حداقل مداخله دارد و با برقراری موازنه‌ای کمی - کیفی، حدود مداخله را مشخص می‌کند. اثربخشی یک تکنیک می‌توان از لحاظ کیفی زیاد ولی از نظر کمیت مداخله کم باشد (مانند

۴-۴-۱- نسبت میان اصول منشورها و تجربه‌های ایرانی

۴-۴-۱-۱- بیشترین انطباق با تجربه‌های ایرانی

۴-۴-۱-۲- بیشترین چالش با تجربه‌های ایرانی

داوود امامی میبیدی و همکاران

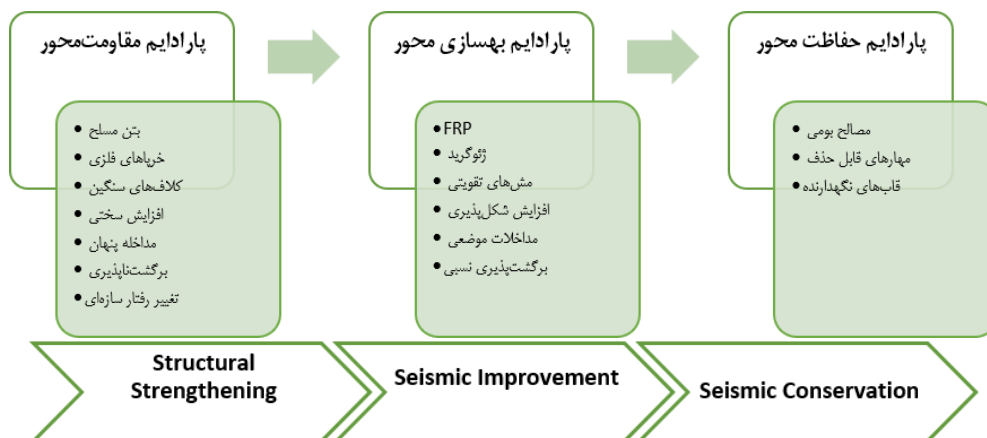
۴-۱-۳- اصول بازتعریف شده با تجربه‌های ایرانی

در ایران مفهوم اثربخشی به تدریج از «افزایش مقاومت سازه» به سمت «کاهش خطر همراه با حفظ ارزش‌های میراثی» حرکت کرده است. تجربه ایران نشان می‌دهد که مفهوم اثربخشی از یک معیار صرفاً مهندسی به معیاری چندبعدی شامل ایمنی، حفاظت کالبدی و تداوم ارزش‌های میراثی تحول یافته است؛ اما در ایران اصل پایش و کنترل‌پذیری بیشتر در سال‌های اخیر وارد ادبیات حفاظت لرزه‌ای شده است. پایش و ارزیابی عملکرد، اگرچه در منشورهای بین‌المللی جایگاهی کلیدی دارد، اما هنوز در بسیاری از پروژه‌های ایرانی به یک‌رویه نظام‌مند تبدیل نشده است. بررسی تطبیقی منشورهای بین‌المللی و تجربه‌های ایرانی نشان می‌دهد که رابطه میان آن‌ها رابطه‌ای خطی و یکسان نیست. برخی اصول مانند حداقل مداخله و برگشت‌پذیری به تدریج در رویه‌های حفاظتی ایران نهادینه شده‌اند، برخی دیگر مانند عدم تعدی و تمامیت با چالش‌های اجرایی مواجه بوده‌اند و گروهی نیز همچون اثربخشی و پایش در فرآیند تجربه‌اندوزی و بازتعریف قرار گرفته‌اند؛ بنابراین تجربه ایران را می‌توان نه صرفاً عرصه اجرای منشورها، بلکه بستری برای تفسیر و بومی‌سازی اصول حفاظت لرزه‌ای دانست.

۴-۲- تحول رویکردهای حفاظت لرزه‌ای در ایران

کرونولوژی مداخله در بسترهای لرزه‌ای ایران نشان داد که مداخله‌های عرفی در ابتدای قرن بیستم جای خود را به مداخله با مصالح مدرن با فولاد، بتن و بتن مسلح در بناهایی چون سلطانیه، شیخ صفی اردبیلی، مسجد جامع ساوه داده است. تکیه بی‌چون‌وچرا بر ساخت مایه‌های مدرن و پذیرش فنون وارداتی، حفاظت لرزه‌ای را به سمت وسوی کاربرد وسیع این فنون و مصالح در بناهای تاریخی سوق داد. ناگفته نماند که عامل زمان و اسناد بین‌المللی متقدم مانند منشور آتن نیز به کاربرد وسیع این مصالح کمک شایانی نموده است. فرهنگ محلی لرزه‌ای در این دوره جای خود را به رویکرد مقاوم محور می‌دهد. در این رویکرد که با پیش‌فرض عدم مقاومت مصالح بومی و بنایی در زلزله شکل گرفته بود، افزایش ظرفیت اثر تاریخی را منحصراً در به‌کارگیری مصالح مقاوم آن‌هم در مقیاس عظیم می‌دید. پس از به‌کارگیری گستره فولاد و بتن در مرمت و بازسازی‌های پس از جنگ جهانی، در نیمه دوم قرن بیستم مفاهیم جدیدی در قالب منشورهایی مانند ونیز به ادبیات حفاظت تزریق گردید و حفاظت لرزه‌ای ایران از پارادایم مقاوم‌سازی به سمت پارادایم حفاظت حرکت کرده است (تصویر ۴۹).

رویکرد مقاوم‌سازی (که در افواه عام تعبیر به ضد زلزله می‌شود) جای خود را به رویکرد بهسازی رفتار می‌دهد و از رهگذر آن پارامترهای افزایش ظرفیت اثر تاریخی دیگر محدود به به‌کارگیری مصالح مقاوم نیست. مفاهیم حداقل مداخله، تمامیت و حرمت‌گذاری راه را برای مداخله‌های کلان‌مقیاس و مصالح پایه می‌بندند و حفاظت لرزه‌ای را به مسیر اقدامات حداقلی و برگشت‌پذیر رهنمون می‌کند. در این زمانه حفاظت لرزه‌ای با وادی حفاظت بوم پایه آشتی نموده و دوباره اقبال به مصالح بومی و فرهنگ لرزه‌ای خودنمایی می‌کند. همپای گرایش به حفاظت لرزه‌ای بوم پایه به دلیل ناشناخته بودن عوارض مصالح مدرن و شکل‌گیری معضلات جدید برای بناهای تاریخی عملکرد این فنون مورد تشکیک قرار می‌گیرد و حفاظت را به سمت حفاظت پایش محور سوق می‌دهد. با شکل‌گیری این نهضت، اصل کارا بودن و اثربخشی به‌عنوان اصلی کمی وارد مقولات کیفی حفاظت می‌شود. از سویی دیگر واکنش نسبت به مداخله‌های بی‌محابا در رویکرد مقاوم محور و گرایش به حفظ اصالت و یکپارچگی و از سویی دیگر نتایج غیرقابل استناد از سوی فنون برگرفته از ساخت‌وساز مدرن، حفاظت لرزه‌ای را از فعالیت بی‌محابا در مداخله‌هایی با رویکرد افزایش ظرفیت لرزه‌ای ساختار تاریخی مأیوس نموده است. درنهایت با توجه به جهت‌گیری حفاظت لرزه‌ای در دوران اخیر می‌توان گفت، بازگشت به فرهنگ لرزه‌ای بومی و رونوشت مجدد از دانایی پیشینیان چه در حوزه حفاظت پیشگیرانه لرزه‌ای و چه در حوزه عملیاتی و کاربرد فنون بومی اتفاق افتاده و این خود نشان از پشت سر نهادن مرحله گذار و تشتت و رسیدن به مرتبه حفاظت لرزه‌ای فرهنگ محور است.



تصویر ۴۹: تغییر پارادایم‌های حفاظت لرزه‌ای در گذر زمان

بررسی تطبیقی نمونه‌های حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان داد که اصول مطرح در اسناد و منشورهای بین‌المللی به صورت منفرد عمل نمی‌کنند، بلکه در قالب مجموعه‌هایی از مفاهیم مرتبط ظاهر می‌شوند. بر این اساس، یافته‌های پژوهش در قالب سه خوشه مفهومی اصلی سازمان‌دهی گردید: «کنترل مداخله»، «کیفیت مداخله» و «حفاظت از ماده تاریخی». این سه خوشه چارچوبی برای ارزیابی و طراحی مداخلات حفاظت لرزه‌ای فراهم می‌کنند (تصویر ۵۰).

۴-۲-۱- خوشه کنترل مداخله

این خوشه ناظر بر میزان حضور و سلطه مداخله در بنای تاریخی است و شامل سه اصل «حداقل مداخله»، «عدم تعدی» و «خوانایی» می‌شود. حداقل مداخله بر کاهش دامنه دخالت فیزیکی و محدود ساختن مداخله به نیازهای واقعی بنا تأکید دارد. عدم تعدی به معنای پرهیز از تغییر دائمی رفتار سازه‌ای و ویژگی‌های اصیل اثر است. خوانایی نیز بر قابل تشخیص بودن بخش مداخله از بخش تاریخی تأکید می‌کند. این سه مفهوم در کنار یکدیگر سازوکار کنترل شدت و گستره مداخله را تشکیل می‌دهند و مانع از استیلاي اقدامات سازه‌ای بر ارزش‌های میراثی می‌شوند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که روند تحول حفاظت لرزه‌ای در ایران از مداخلات گسترده و صلب مبتنی بر بتن و فولاد به سمت مداخلات محدودتر، خواناتر و کم‌تهاجم‌تر حرکت کرده است.

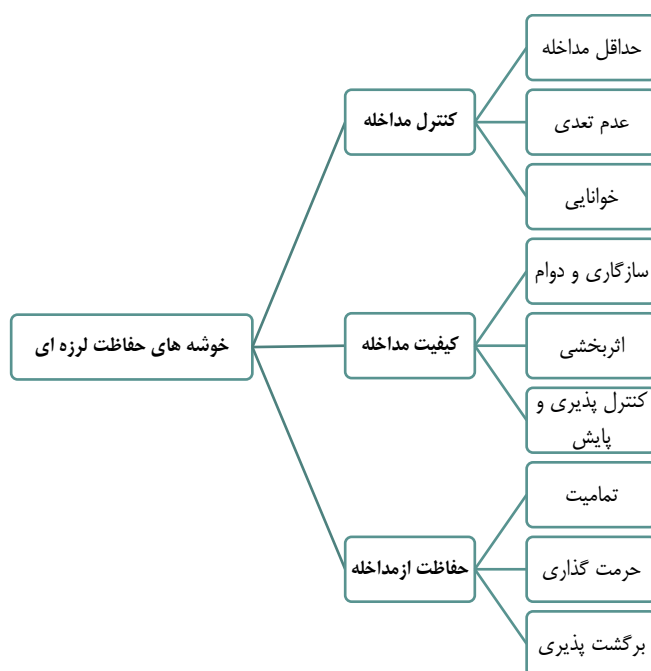
۴-۲-۲- خوشه کیفیت مداخله

دومین خوشه به کارآمدی و پایداری فنی مداخله اختصاص دارد و شامل «سازگاری و دوام»، «اثربخشی» و «کنترل پذیری و پایش» است. سازگاری و دوام به هماهنگی مصالح و فنون جدید با ساختار تاریخی و پایداری عملکرد آن‌ها در طول زمان اشاره دارد. اثربخشی میزان موفقیت مداخله در دستیابی به اهداف حفاظت لرزه‌ای را نشان می‌دهد. کنترل پذیری و پایش نیز امکان ارزیابی عملکرد مداخله پیش و پس از اجرا را فراهم می‌سازد. این سه مؤلفه بیانگر آن هستند که یک مداخله موفق صرفاً نباید کم‌تهاجم باشد، بلکه باید از نظر فنی نیز پایدار، قابل ارزیابی و مؤثر عمل کند. بررسی نمونه‌های ایرانی نشان می‌دهد که حفاظت لرزه‌ای از اتکای صرف برافزایش مقاومت به سمت بهبود شکل پذیری، پایش رفتار و ارزیابی عملکرد حرکت کرده است.

۴-۲-۳- خوشه حفاظت از مداخله

سومین خوشه بر صیانت از اصالت و ارزش‌های میراثی تمرکز دارد و از سه اصل «تمامیت»، «حرمت‌گذاری» و «برگشت پذیری» تشکیل شده است. تمامیت بر حفظ انسجام کالبدی و تاریخی بنا تأکید دارد. حرمت‌گذاری بیانگر احترام به مصالح، فنون، ساختار و ارزش‌های فرهنگی اثر است. برگشت پذیری نیز امکان حذف یا اصلاح مداخله در آینده را فراهم می‌سازد این خوشه درواقع بعد میراثی حفاظت لرزه‌ای را نمایندگی می‌کند و تضمین می‌نماید که دستیابی به ایمنی لرزه‌ای

به قیمت از دست رفتن اصالت تاریخی بنا حاصل نشود. بر این اساس حفاظت لرزه‌ای موفق زمانی حاصل می‌شود که میان سه حوزه اصلی کنترل مداخله، کیفیت مداخله و حفاظت از ماده تاریخی تعادل برقرار گردد. ضعف در هر یک از این سه حوزه می‌تواند مشروعیت و موفقیت مداخله را زیر سؤال ببرد. به بیان دیگر، حفاظت لرزه‌ای نه صرفاً یک مسئله مهندسی و نه صرفاً یک مسئله حفاظتی است، بلکه حاصل برهم‌کنش هم‌زمان این سه خوشه مفهومی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تحول حفاظت لرزه‌ای در ایران را می‌توان به صورت انتقال تدریجی مرکز ثقل تصمیم‌گیری از «افزایش ظرفیت سازه» به «کنترل کیفیت مداخله» و در نهایت «صیانت از اصالت» تفسیر نمود.



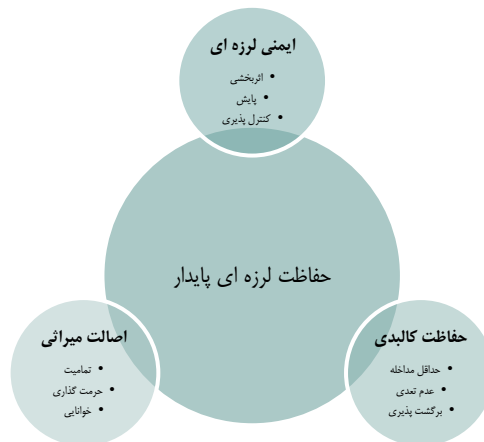
تصویر ۵۰: دسته‌بندی خوشه‌های حفاظت لرزه‌ای

۴-۳- چارچوب پیشنهادی حفاظت لرزه‌ای

تحلیل تجربه‌های حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان می‌دهد که ارزیابی و طراحی مداخله‌های لرزه‌ای صرفاً بر پایه معیارهای سازه‌ای یا صرفاً بر مبنای ملاحظات حفاظتی امکان‌پذیر نیست. یافته‌های پژوهش نشان داد که موفقیت یک مداخله زمانی حاصل می‌شود که سه حوزه «ایمنی لرزه‌ای»، «حفاظت کالبدی» و «اصالت میراثی» به صورت هم‌زمان موردتوجه قرار گیرند. بر این اساس، مدل مفهومی پیشنهادی پژوهش در قالب سه دایره متداخل ارائه می‌شود (تصویر ۵۱). دایره نخست، «ایمنی لرزه‌ای» را نمایندگی می‌کند. هدف این حوزه کاهش آسیب‌پذیری و ارتقای عملکرد لرزه‌ای بنا است. اصولی نظیر اثربخشی، کنترل‌پذیری و پایش در این حوزه قرار می‌گیرند و معطوف به ارزیابی عملکرد مداخله، قابلیت سنجش نتایج و تضمین پایداری رفتار سازه‌ای در طول زمان هستند. دایره دوم، «حفاظت کالبدی» را نمایندگی می‌کند. این حوزه بر کنترل میزان مداخله در کالبد تاریخی تمرکز دارد و اصولی چون حداقل مداخله، برگشت‌پذیری و عدم تعدی را در برمی‌گیرد. در این بخش هدف آن است که دستیابی به ایمنی لرزه‌ای با کمترین تغییر در ساختار تاریخی و کمترین آسیب به شواهد مادی اثر همراه باشد. دایره سوم، «اصالت میراثی» را نمایندگی می‌کند. این حوزه ناظر بر حفظ ارزش‌های تاریخی، فرهنگی، معماری و فنی اثر است و اصولی همچون تمامیت، حرمت‌گذاری و خوانایی را شامل می‌شود. در این سطح، مداخله نباید موجب محو ویژگی‌های اصیل بنا یا اختلال در درک تاریخی و فرهنگی آن شود. مدل مفهومی پیشنهادی این پژوهش، ضمن تبیین رابطه میان اصول منشورهای بین‌المللی و تجربه‌های حفاظت لرزه‌ای ایران، می‌تواند به عنوان چارچوبی برای تصمیم‌گیری و ارزیابی مداخلات آینده در بناهای تاریخی مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی کروئولوژی حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان می‌دهد که رویکردهای اولیه عمدتاً در قلمرو «ایمنی لرزه‌ای» متمرکز بوده و بیشترین توجه را به افزایش مقاومت و سختی سازه معطوف کرده‌اند. با گسترش مباحث حفاظت میراث فرهنگی،

اصول مرتبط با «حفاظت کالبدی» وارد فرایند تصمیم‌گیری شده و مفاهیمی نظیر برگشت‌پذیری و حداقل مداخله اهمیت یافته‌اند. در مرحله متأخر، رویکردهای نوین حفاظت لرزه‌ای تلاش کرده‌اند میان الزامات ایمنی و حفظ اصالت تعادل برقرار کنند و به سمت راهبردهای کم‌تهاجم، پایش‌محور و مبتنی بر مدیریت ریسک حرکت نمایند. بر این اساس، نقطه اشتراک سه حوزه یادشده را می‌توان «حفاظت لرزه‌ای پایدار» نامید؛ وضعیتی که در آن مداخله از یک‌سو سطح قابل قبولی از ایمنی لرزه‌ای را تأمین می‌کند، از سوی دیگر کمترین تغییر را در کالبد تاریخی به وجود می‌آورد و درنهایت اصالت و ارزش‌های میراثی بنا را حفظ می‌نماید؛ بنابراین حفاظت لرزه‌ای پایدار نه حاصل برتری الزامات مهندسی بر ارزش‌های میراثی است و نه نتیجه اولویت مطلق اصالت بر ایمنی، بلکه محصول ایجاد تعادل میان این سه قلمرو است.



تصویر ۵۱: مدل مفهومی پیشنهادی برای حفاظت لرزه‌ای

۵- نتیجه‌گیری

اصول و مؤلفه‌های تأثیرگذار در حفاظت لرزه‌ای با ابتناء بر منشورهای بین‌المللی شامل، برگشت‌پذیری، حداقل مداخله، خوانایی، عدم تعدی، میزان اثربخشی، پایش و کنترل‌کنندگی، حرمت‌گذاری و تمامیت است. اصول منشورهای بین‌المللی در ایران به‌صورت نامتوازن تحقق‌یافته‌اند. بررسی ۲۹ تجربه حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان داد که حفاظت لرزه‌ای از رویکردی مبتنی برافزایش مقاومت و سختی سازه‌ای به سمت رویکردهای مبتنی بر سازگاری، حداقل مداخله، برگشت‌پذیری و حفاظت پیشگیرانه حرکت کرده است. این تحول نه تنها در انتخاب مصالح و فنون مداخله بلکه در نحوه مواجهه با بنای تاریخی نیز قابل مشاهده است؛ به گونه‌ای که نقش سازه تقویتی از «جانشین سازه تاریخی» به «یار و پشتیبان سازه تاریخی» تغییر یافته است.

نتایج پژوهش نشان داد که اصول حفاظت لرزه‌ای نه به‌صورت مستقل بلکه در قالب یک ماتریس تعاملی عمل می‌کنند. در این شبکه، اصل اثربخشی لرزه‌ای شرط لازم حفاظت بوده و اصولی همچون حداقل مداخله، برگشت‌پذیری، سازگاری، عدم تعدی، خوانایی و کنترل‌پذیری نقش تنظیم‌کننده‌های مداخله را ایفا می‌کنند. در مرکز این شبکه دو اصل «حفظ تمامیت» و «حرمت‌گذاری به اصالت» قرار دارند که جهت‌گیری نهایی تصمیمات حفاظتی را تعیین می‌نمایند. سه خوشه مفهومی کنترل مداخله، کیفیت مداخله و حفاظت از اصالت بنیان نظری حفاظت لرزه‌ای را تشکیل می‌دهند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تحول حفاظت لرزه‌ای در ایران را می‌توان به‌صورت انتقال تدریجی مرکز ثقل تصمیم‌گیری از «افزایش ظرفیت سازه» به «کنترل کیفیت مداخله» و درنهایت «صیانت از اصالت» تفسیر نمود.

همچنین تجربه یک قرن حفاظت لرزه‌ای در ایران نشان می‌دهد که مسیر حفاظت از بناهای تاریخی از «غلبه مداخله بر اثر تاریخی» به سمت «غلبه حفاظت بر مداخله» در حرکت بوده است. در این تحول، نقش فناوری از جایگزینی سازه تاریخی به حمایت از آن تغییر یافته و حفاظت لرزه‌ای به تدریج از مقاوم‌سازی صرف به‌سوی حفاظت پیشگیرانه، اصالت‌محور

و مبتنی بر حداقل مداخله سوق پیدا کرده است. از این منظر، آینده حفاظت لرزه‌ای نه در افزایش ماده مداخله، بلکه در افزایش دانش، پایش، کنترل و فهم رفتار سازه‌های تاریخی نهفته است. در ادامه این تحقیق، پژوهش‌هایی مانند بررسی نقش فرهنگ لرزه‌ای محلی در حفاظت لرزه‌ای جهت دستیابی به دستورالعمل ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای در بناهای تاریخی، می‌توانند تداوم‌بخش این نوشتار موجز باشند.

تشکر و قدردانی

جای دارد در انتهای این مقاله از جناب آقای دکتر داریوش حیدری، مهندس منصور اسدی، سرکار خانم معصومه کدوری و مهندس حمید زیارتی تشکر و قدردانی به عمل آورده شود.

پی‌نوشت

۱. این پژوهش آن دسته از طرح‌های بهسازی لرزه‌ای که امکان اجرا نیافته و فقط در حد طرح است را شامل نمی‌شود. همچنین باید تأکید گردد که ارجاع به یک تجربه و تأیید، تحسین و یا نقد و رد مرمت انجام‌شده شامل کل پروژه نمی‌شود و فقط تکنیک خاص مورد اشاره در یک بخش خاص را شامل می‌شود و این به هیچ عنوان به معنای تأیید و یا رد کل پروژه حفاظت و مرمت انجام‌شده و زحمات و تلاش‌های صورت گرفته در آن نیست. نکته دیگری که باید حتماً اشاره شود این است که هیچ کدام از این پروژه‌ها صرفاً باهدف بهسازی لرزه‌ای انجام نشده است. این پروژه‌های جامع‌الاطراف بوده و مأموریت جامع و کامل‌تری از صرف بهسازی لرزه‌ای را دنبال می‌کردند و حفاظت لرزه‌ای بخشی از اقدامات صورت گرفته بوده این تکنیک‌های استفاده‌شده در ارتباط به زمان و امکانات، محدودیت‌های فنی، مالی و دانشی زمان خود باید سنجیده شوند. در دوران طفولیت حفاظت مدرن، معماران و مرمتگران اولیه با رشادت و با اعتقاد و با معرفت فرهنگی و با بهره‌گیری از دانش فنی و امکانات موجود زمان خود بهترین کاری که می‌فهمیدند و می‌توانستند را انجام دادند و بناهای تاریخ را تا حد زیادی نیز از نابودی و تخریب نجات دادند؛ هرچند که امروزه روش‌ها و تئوری‌های مرمت پیشرفته‌تر شده و به آن‌ها بادی انتقاد نگریسته می‌شود ولی چیزی از ارزش کارهای آن‌ها نمی‌کاهد. کارهای مرمت اساسی انجام‌شده در گنبد سلطانیه توسط سن پائولوزی، گنبد مسجد سپهسالار توسط مهندس سعیدی یا در اردبیل و در عالی‌قاپو و غیره در جرگه مرمت‌های ممتاز، پیشگام و الهام‌بخش در زمان خود محسوب می‌شدند، هرچند امروزه این روش‌ها زیر تیغ سؤال هستند.

2. retreatability
3. retractability
4. retreatability
5. rechangeability
6. removeability

۷. درست است که بناهای تاریخی در طول عمرشان نیاز به تجدید درمان پیدا می‌کنند ولی اگر از ابتدا با این پیش‌شرط به سراغ انتخاب روش مداخله لرزه‌ای رفته شود آنگاه دخالت‌های تصرفی به بهانه دوباره درمان‌پذیری و امکان‌پذیری درمان‌های بعدی (re curability)، اصالت را از بین ببرد. از سویی دیگر کدام مداخله حفاظتی است که مفهوم درمان‌پذیری را نداشته باشد، حتی مداخله‌هایی مانند شاتکریت بتن را پس از گذشت زمان می‌توان درمان‌پذیری دوباره با فنونی مانند چسباندن سطح با FRP یا کاشت نزدیک سطح انجام داد.

8. "do as much as necessary and as little as possible"
9. Structural Integrity
10. Rheological compatibility

۱۱. برخی اثربخشی تکنیک‌هایی مانند مش توزیع‌شده را منوط به وجود دو شبکه در بالا و پایین طاق و اتصال طاق با لقمه‌های صفحه‌ای به مش تقویتی دانسته‌اند (زرگر و هاشمی، ۱۳۹۷: ۲۴۷)، در حالیکه اثربخشی یک تکنیک با مطالعات آزمایشگاهی و عددی مشخص می‌شود.

12. Knowledge Factor
13. like-for-like repairs

۱۴. «پتویچ کردن» (muffle) اصطلاحی است برساخته دکتر عیسی اسفنجاری برای فن مش بندی که در آن دوسوی کالبد با شبکه مش محصور می‌شود. به نظر ایشان این فن مغایر با فرهنگ مردم‌واری و پرهیز از بیهودگی فرهنگ ایرانی بوده و استفاده

کلان از آن هزینه‌های زیادی بر مداخله تحمیل می‌نماید. به نظر نگارنده نیز استفاده گسترده از این فن، مود شکست لرزه‌ای ساختار را عوض نموده و درجایی که «حفاظت رفتار لرزه‌ای» اثر تاریخی مدنظر است باید محتاطانه بکار رود.

منابع

- آزموده، بهنام محزون و سروقدمقدم، عبدالرضا. (۲۰۱۲). مطالعه عملکردی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در بهینه یابی گزینه‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح، نشریه مهندسی عمران، سال ۲۱، ش ۱، ۴۷-۶۴.
- ابراهیمی، افشین. (۱۳۹۸). "ملات گلی غنی‌شده و خشت‌های نوین ارتقاء یافته با فرآورده‌های بوم آورد برای اقدامات حفاظتی ارگ بم". رساله دکتری، مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- اسفنجاری کناری، عیسی. (۱۴۰۱). مسجد جامع ده‌نو میبد: از مطالعه و شناخت، تا طرح مرمت و احیا، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان، چاپ اول.
- امبرز، نیکلاس و ملویل، چارلز. (۱۳۷۷). تاریخ زمین لرزه‌های ایران، ترجمه: ابوالحسن رده، تهران: انتشارات آگاه، چاپ دوم.
- بهشتی، سید محمد. (۱۳۹۷). کوچه‌پس‌کوچه‌های روزمرگی، تهران: روزنه، چاپ اول.
- پارسائی، علیرضا؛ رحیمی، حسینعلی و ابویی، رضا. (۱۳۹۶). نارسایی‌های موجود در فرآیند بهسازی لرزه‌ای ابنیه تاریخی. باغ نظر، ش ۱۴ (۴۸)، ۵۷-۶۸.
- پارسی، فرامرز و منصوری، کاوه. (۱۳۹۵). مرمت، بازسازی و احیای روستای تاریخی اصفهک طبس. فصلنامه بوم، ش ۶-۵، ۲۸-۱۲.
- پیروی، مهناز؛ کبیرصابر، محمد باقر، پاکدل فرد، محمدرضا و فردوسی، عادل. (۲۰۲۲). پارادایم‌های حفاظت معماری در ایران معاصر. باغ نظر، ۱۹ (۱۰۹)، ۱۹-۳۴.
- تاج بخشیان، امین و محبعلی، امین. (۱۳۹۵). طرح استحکام - بخشی و مرمت ایوان جنوبی مسجد جامع همدان. نشریه بوم، ش ۵-۶، ۷۶-۹۵.
- جعفرپورناصر، ساناز؛ کناری، عیسی اسفنجاری و طیبیان، منوچهر. (۲۰۲۲). منظر شهری تاریخی و مدیریت تغییر: نقدی تحلیلی از مدل‌های مدیریتی مبتنی بر ارزش‌ها. فرهنگ معماری و شهرسازی/اسلامی. سال هفتم، بهار و تابستان، ۵۴-۳۷.
- حاجی‌ابراهیم‌زرگر، اکبر و میرهاشمی‌روته، سید احسان. (۱۳۹۷). درآمدی بر شناخت فنون مرمت بناهای تاریخی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- حجازی، سید امیر مهرداد؛ حجازی، بینا، مهداد، حامد و حجازی، صبا. (۱۳۹۴). طرح مرمت برج خشتی شماره ۳۲ در ارگ بم. نشریه عمران فردوسی، ش ۲۶، ۴۸-۶۶.
- حجازی، سید امیر مهرداد؛ حجازی، بینا، مهداد، حامد و حجازی، صبا. (۱۳۹۴). مطالعه تخریب یک حجره در ارگ بم و ارائه طرح مرمت آن. مرمت و معماری ایران، ش ۹، ۷۱-۸۶.
- حلی، علی اکبر. (۱۳۹۵). تجارب عملی مرمت ابنیه تاریخی خشتی - بایدوها و نبایدها، در اولین همایش بین‌المللی مرمت معماری و مقاوم‌سازی بناهای تاریخی.
- خاتونی مقدم، نغمه. (۱۳۸۷). "مطالعه، آسیب‌شناسی و ارائه طرح مرمت برج ۳۲ ارگ بم"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت ابنیه، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- خالو، علیرضا و یکرنگ نیا، محمد. (۲۰۲۳). ارزیابی میدانی و عددی آسیب‌پذیری لرزه‌ای قلعه فلک الافلاک. مهندسی سازه و ساخت، ش ۱۰ (۶)، ۹۶-۱۱۴.

- خلیل زاده وحیدی، ابراهیم؛ خلیل زاده وحیدی، پرستو و مرادی، رضا. (۲۰۱۹). آسیب‌شناسی عملکرد بناهای تاریخی خشتی تحت اثر زلزله و بررسی روش‌های مقاوم‌سازی آن‌ها. فصلنامه علمی کارافن، ۱۶(۱)، ۵۳-۶۶.
- داوری، غلامرضا؛ ایاقی، سمیرا قره و آخوندی، فرهاد. (۲۰۲۳). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ارائه راهکارهای استحکام‌بخشی خانه تاریخی قدکی. فصلنامه علمی اثر، ۴۴(۲)، ۲۵۶-۲۷۴.
- داوری، غلامرضا؛ غنینی، نیوشا و آخوندی، فرهاد. (۲۰۲۴). ارزیابی آسیب‌پذیری خانه صدقیانی با وجود مداخلات سازه‌ای صورت گرفته. فصلنامه علمی اثر، ۴۴(۴)، ۶۴۲-۶۶۱.
- دهکردی، مرتضی ریسی؛ اقبالی، مهدی؛ یکرنگ نیا، محمد و مهدیزاده ساری، علیرضا. (۲۰۱۴). آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها: ارزیابی روش‌های کاربردی در مقاوم‌سازی ساختمان‌های با مصالح بنایی، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران.
- رضازاده‌اردبیلی، مجتبی. (۱۴۰۰). پژوهشی در مرمت شاهکارهای معماری ایران. تهران: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
- سعیدی، سید علی اکبر. (۱۳۷۶). بررسی اجمالی درباره سازه‌ها و گنبد در ایران: مورد گنبد مسجد سپهسالار، در مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- شرفی، زیبا. (۱۳۸۴). "مقاوم‌سازی ساختارهای خشتی ارگ بم در برابر زمین‌لرزه مطالعه موردی بنای اصطبل ارگ". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت ابنیه، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- صفری، سیده رقیه و توکلو، نعیمه. (۱۳۹۵). مروری بر تجارب انجام‌یافته در مرمت و مقاوم‌سازی (نمونه موردی: برج‌های خرقان)، در اولین همایش بین‌المللی مرمت معماری و مقاوم‌سازی بناهای تاریخی.
- طاهر طلوع دل، محمدصادق و کمالی تبریزی، سینا. (۲۰۲۰). پیشنهاد مدلی برای بررسی حفاظت پایدار (کالبدی-معنایی) میراث معماری ایران. نشریه علمی مرمت و معماری ایران، ۱۰(۲۴)، ۸۱-۱۰۳.
- عباسی هرفته، محسن و امین پور، احمد. (۱۳۹۰). اصل حداقل مداخله، چالش پیش روی مداخلات حفاظتی در میراث فرهنگی کشف و تبیین کاستی‌ها و نواقص اصل مذکور با رویکردی نظری به آراء موجود در این حوزه. نشریه مرمت، آثار و بافت‌های تاریخی، فرهنگی، ش ۱، ۶۹-۸۲.
- عزیزی بندرآبادی، حامد؛ کریمی، امیرحسین و حاجی‌صادقی، ندا. (۱۴۰۲). تحلیل جایگاه بهسازی لرزه‌ای در مرمت ابنیه تاریخی: یک مطالعه موردی، یزد: پارک علم و فناوری یزد.
- غلامی، سمیه و آخوندی، فرهاد. (2023a). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خانه تاریخی کلانتر شهر تبریز مطابق دستورالعمل‌های ایتالیا. عمران و محیط‌زیست نشریه مهندسی، ۲، ۷۶-۸۳.
- غلامی، سمیه و آخوندی، فرهاد. (2023b). ارزیابی ایمنی لرزه‌ای خانه‌های تاریخی شهر تبریز مطابق دستورالعمل‌های DPCM ایتالیا، مورد مطالعاتی: خانه علی مسیو. معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۶(۴۴)، ۲۱۱-۲۲۲.
- فرح بخش، مرتضی. (۱۳۸۶). "طرح حفاظت و مرمت میدان تکیه ارگ بم"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت ابنیه، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- فیض‌الله بیگی، آرزو و رضازاده اردبیلی، مجتبی. (۱۳۹۶). مقایسه آیین‌نامه‌های ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی با هدف دستیابی به مدلی برای ارزیابی و آسیب‌نگاری بناهای تاریخی آجری ایران، در سومین همایش بین‌المللی معماری عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم.
- فیلدن، برنارد. (۱۳۹۳). حفاظت از بناهای تاریخی. ترجمه: محمدمهدی هوشیاری. تهران: طحان.
- محب‌علی، محمد حسن؛ مرادی، اصغر محمد و امیرکبیریان، آتوسا. (۱۳۸۷). دوازده درس مرمت. تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، چاپ اول.

- مهرآیین، نورا. (۱۳۸۹). "بازشناسی و امکان‌سنجی طرح مرمت دروازه ورودی ارگ بم". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت ابنیه، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- میرقادر، رسول و حجازی، مهرداد محمد. (۱۳۸۵). بررسی ایستایی گنبد شیخ لطف‌الله اصفهان. در مجموعه مقالات کنگره جهانی بزرگداشت اصفهان: اطلاعات. 521-539.
- میرقادر، رسول و حجازی، مهرداد محمد. (۱۳۸۵). بررسی ایستایی گنبد خواجه نظام الملک مسجد جامع اصفهان. در مجموعه مقالات کنگره جهانی بزرگداشت اصفهان: اطلاعات. 497-508.
- میرقادر، رسول و حجازی، مهرداد محمد. (۱۳۸۵). بررسی ایستایی گنبد مسجد امام اصفهان، گنبد دو پوسته همراه با تقویت‌های نصف‌النهاری. در مجموعه مقالات کنگره جهانی بزرگداشت اصفهان: اطلاعات. 539-572.
- میرقادر، رسول و حجازی، مهرداد محمد. (۱۳۸۵). بررسی ایستایی منار سین اصفهان. در مجموعه مقالات کنگره جهانی بزرگداشت اصفهان: اطلاعات. 572-587.
- میرقادر، رسول و حجازی، مهرداد محمد. (۱۳۸۵). بررسی ایستایی گنبد تاج الملک مسجد جامع اصفهان گنبد با شکل اپتیمم. در مجموعه مقالات کنگره جهانی بزرگداشت اصفهان: اطلاعات. 508-521.
- نژادابراهیمی، احد؛ فرخی، شهین و خیراللهی، محمد. (۲۰۲۲). بهسازی لرزه‌ای و تغییر کاربری تطبیقی دانشکده طراحی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، در مجموعه تاریخی چرمسازي خسروی. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۷(۱)، ۵۱-۶۲.
- ولی، هلیا؛ مهدیزاده سراج، فاطمه و مودن، سجاد. (۲۰۲۳). ارزیابی روش‌های نوین و سنتی استحکام‌بخشی سازه‌های آجری غیرمسلح از دیدگاه متخصصین حوزه مرمت، ش ۱۶، ۱۹۹-۲۱۴.
- ویناس، سالوادور. مونوز. (۱۳۹۷). تئوری معاصر حفاظت، ترجمه: زینب رئوفی، منصور خواجه‌پورگلوسالاری، کرمان: جهاد دانشگاهی استان کرمان، چاپ اول.
- ویور، ام. ای. (۱۳۵۵). مسائل حفاظتی پنج بنای تاریخی ایران، ترجمه: کرامت‌الله افسر، تهران: سازمان ملی حفاظت کشور.
- هادیان، محمد مهدی و سرتیپی پور، محسن. (۲۰۱۳). فرایند ایمن‌سازی لرزه‌ای بافت‌های تاریخی مطالعه موردی: روستای نایبند. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۱۸(شماره ۳)، ۵۳-۶۸.
- هوشیاری، مهدی؛ پدram، بهنام و زمانی فرد، علی. (۲۰۲۲). رویکرد سنتی حفاظت معماری در مشرق زمین. معماری و شهرسازی / ایران، 13(1), 339-354, IIAU).
- Aghabeigi, P., Mahmoudi, R., Ahani, E., & Hosseinian Ahangarnazhad, B. (2021). Seismic assessment and retrofitting of the masonry building of mozaaffarieh timche in tabriz historic bazaar. International Journal of Architectural Heritage, 15(12), 1816-1841.
- Aveta, Aldo؛Marino, Bianca Gioia وRouhi, Jafar. (2017). Tangible/intangible: destruction and reconstruction of the Iranian site of Arg-e Bam (Bam Citadel). World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation. Proceedings of the International Forum "Le Vie dei Mercanti_XV". La Scuola di Pitagora editrice, Napoli.
- Baneh, Bira Wafaei وBaneh, Koosha Wafaei. (2020). Review of the methods for strengthening and retrofitting cultural heritage structures. UKH Journal of Science and Engineering4, (1), 56-45.
- Cecchi, R., & Calvi, M. (2007). GUIDELINES FOR EVALUATION AND MITIGATION OF SEISMIC RISK TO CULTURAL HERITAGE (C. O. G. Risicato, Trans.). Gangemi.
- Correia, M. (2016). Conservation in earthen heritage: Assessment and significance of failure, criteria, conservation theory, and strategies. Cambridge Scholars Publishing.
- Correia, M., & Walliman, N. (2014). Defining Criteria for Intervention in Earthen Built Heritage Conservation. International Journal of Architectural Heritage 8(4).
- CRAterre. (2010). Conservation and disaster risk reduction in Ardakan: Tabayi house experience.

- Dinani, A. T., Destro Bisol, G., Ortega, J., & Lourenço, P. B. (2021). Structural performance of the Esfahan Shah mosque. *Journal of Structural Engineering*, 147(10), 05021006.
- Dina D'Ayala, & eds, E. F. (2008). Reconstruction of the Sistani House at Bam Citadel after the collapse due to the earthquake 2003. In *Structural Analysis of Historic Construction: Preserving Safety and Significance, Two Volume Set: Proceedings of the VI International Conference on Structural Analysis of Historic Construction*, (Vol. 1). CRC Press.
- Feizolahbeigi, A., Ramirez, R., & Lourenço, P. B. (2024). Seismic assessment of a dome structure with minarets as secondary elements: The case of Soltaniyeh Dome in Iran. *Structures*,
- ICOMOS. (2003). ICOMOS CHARTER- PRINCIPLES FOR THE ANALYSIS, CONSERVATION AND STRUCTURAL RESTORATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE (2003).
- ICOMOS. (1999). CHARTER ON THE BUILT VERNACULAR HERITAGE.
- ICOMOS. (2019). EUROPEAN QUALITY PRINCIPLES FOR EU-FUNDED INTERVENTIONS WITHPOTENTIAL IMPACT UPON CULTURAL HERITAGE.
- ICOMOS. (1931). Adopted at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens.
- ICOMOS. (1964). INTERNATIONAL CHARTER FOR THE CONSERVATION AND RESTORATION OF MONUMENTS AND SITES (THE VENICE CHARTER 1964).
- Jäger, W. (2007). Interim Report for Rehabilitation Concept for Sistani's House-Bam Citadel. In: Report.
- Mehdizadeh Saradj, F., Pilakoutas, K., & Hajirasouliha, I. (2017). Prioritization of interventions for strengthening architectural heritage. *Urbanism. Arhitectura. Constructii*, 8(3), 283
- Mileto, C. F., López-Manzanares, V., Cristini, V., & Soriano, L. G. (2012). Restoration of rammed earth architecture in the Iberian Peninsula: Ongoing research. *Instituto de Restauración del Patrimonio*.
- Mokhtari, E., Nejati, M., Hashemi, F. K., & Shad, S. (2008). Restoration plan of second gate in Bam Citadel (Arg e Bam).
- Pisani, F. (2020). Il Mausoleo di Oljeitu a Soltaniyeh. I restauri di Piero Sanpaolesi a quindici anni dall'iscrizione nella lista del patrimonio mondiale dell'UNESCO. *Restauro Archeologico*, 28(1), 58-75.
- Ravankhah, M. (2019). Earthquake disaster risk assessment for cultural World Heritage sites: the case of "Bam and its Cultural Landscape" in Iran BTU Cottbus-Senftenberg
- Rouhi, J., & Rouhi, J. (2021). Realization of international charters and recommendations for seismic retrofitting of historic masonry cultural heritage. Integrity and authenticity. *International Journal of Cultural Heritage*, 6, 17-25 .
- Rouhi, Jafar، Aveta, Aldo و Marino, Bianca Gioia. (2017). A Comparative Analysis (SWOT) of Technical Intervention Plans Carried Out in Sistani House and Payambar Mosque of Bam Citadel. *Mediterranean Journal of Social Sciences*، 9 .
- Rouhi, Jafar. (2016). Lesson Learned from New Technical Interventions Applied in the Tekiyeh of Bam Citadel The 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture & Urban.
- Shad, Shirin. (2015). The choice of Interventions for strengthening of historical adobe structures and remains in Bam Citadel" Arg-e Bam".
- Tolles, E. L. (2006). Seismic Retrofit Applications of Getty Seismic Adobe Project Technology to Historic Adobe Buildings. In M. Hardy, C. Cancino & G. Ostergren (Eds.), *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium* (pp. 159-164). Los Angeles: Getty Conservation Institute
- Vargas-Neumann, J. (2012). Principles for the Conservation of Earthen Architectural Heritage in Seismic Areas Paper presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.

Original Research Article

From Structural Strengthening to Integrated Seismic Conservation: Evolution of Seismic Conservation Approaches in Iran's Architectural Heritage

Davoud Emami Meybodi^{1*}, Eisa Esfanjary Kenari², Hamed Azizi-
Bondarabadi¹³

1- Phd.Student of Department of Conservation and Restoration. Art University of Esfahan. Iran.

2- Assistant professor, Department of Conservation and Restoration, Art University of Esfahan. Iran.

3- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

 10.22034/ahdc.2026.24151.1900

Received:

February 03, 2026

Accepted:

July 13, 2026

Keywords:

Earthquake,
Conceptual
framework, Seismic
conservation,
Evolution of
conservation
approaches,
Conservation
principles.

Abstract

Earthquakes are among the most significant threats to Iran's architectural heritage and recent seismic events have demonstrated that safeguarding historic buildings requires an approach that extends beyond conventional structural retrofitting. Although international conservation charters have established comprehensive principles for seismic interventions, the adaptation of these principles to Iran's historical, physical, and managerial context remains insufficiently explored. Accordingly, this study aims to analyze the evolution of seismic conservation strategies in architectural heritage, examine the relationship between international conservation principles and Iranian conservation practice, and propose a conceptual framework for seismic conservation. This research uses a qualitative and interpretative methodology based on the comparative analysis of selected case studies. Data were collected through documentary analysis and literature review and were subsequently coded according to eleven seismic conservation principles. Comparative analysis of the case studies enabled the identification of common patterns and historical trends, which formed the basis for developing a conceptual framework describing the evolution of seismic conservation in Iran. The findings indicate that seismic conservation in Iran has evolved through three major stages: a structurally focused approach, a value-oriented approach, and an integrated approach based on risk management and resilience. Furthermore, comparison of international conservation principles with Iranian conservation practice identified three interrelated conservation clusters: seismic safety, physical conservation, and heritage authenticity. These clusters encompass principles such as minimum intervention, non-intrusiveness, distinguishability, compatibility, effectiveness, durability, monitoring and controllability, integrity, respect for authenticity, and reversibility. Based on these clusters, a conceptual framework is proposed, demonstrating that decisions regarding seismic interventions in historic buildings should be determined by balancing structural safety requirements, physical conservation, and heritage authenticity. The results demonstrate that effective seismic conservation of historic buildings cannot be achieved solely through structural strengthening but requires the integration of engineering requirements, physical characteristics, and cultural values within a comprehensive decision-making framework. The proposed conceptual framework provides a systematic basis for understanding the evolution of seismic conservation in Iran and supports future decision-making and the evaluation of seismic interventions in architectural heritage.

