

استحکام بخشی لرزه‌ای ابنیه خشتی روستایی

(مطالعه موردی: روستای تاریخی اصفهک - طبس)

وحید ذات‌اکرم *، علی زمانی‌فرد **

تاریخ دریافت مقاله:

1397/01/18

تاریخ پذیرش مقاله:

1397/12/19

چکیده

پس از رخداد زلزله طبس در 25 شهریور 1357 بخش گسترده‌ای از تخریب‌ها مربوط به ساختمان‌های روستایی در اطراف این شهر (طبس) بود. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه، روستاهای آسیب‌دیده عمدتاً دارای بافت خشتی و گلی بودند. اصفهک به‌عنوان نمونه‌ای از بافت خشتی روستایی موجود در منطقه طبس، در خلال زمین‌لرزه مذکور دچار آسیب‌ها و ویرانی‌های گوناگونی گردید. این بافت روستایی به‌عنوان نمونه‌ای جالب توجه از فن‌آوری‌ها و سنت‌های معماری اقلیمی ایران در رابطه با مسکن روستایی و بهره‌گیری مصالح بوم‌آورد، در فهرست آثار ملی ایران به شماره 31336 ثبت شده است. در طی سالیان اخیر با گرایش مردمی برای حضور و سکونت مجدد، دارای پتانسیل‌های بوم‌گردی و گردشگری گردیده که در کنار ارزش‌های کالبدی و فرهنگی - اجتماعی آن و با نظر به آسیب‌های گذشته و تهدیدهای آتی مرتبط با زلزله، حفاظت و احیای آن ضرورت می‌یابد. لذا این پژوهش پس از بررسی مهم‌ترین نقاط ضعف سازه‌ای بناهای خشتی آسیب‌دیده بر اثر زلزله، به چگونگی استحکام‌بخشی لرزه‌ای ابنیه خشتی روستای اصفهک پرداخته است. روش پژوهش، توصیفی - تحلیلی و شیوه گردآوری اطلاعات از گونه کتابخانه‌ای و میدانی است. با مطالعه تجارب و پژوهش‌های مشابه پیشین و در نظر گرفتن ابعاد مختلف مسئله طی بازدیدهای میدانی مکرر، در رابطه با استحکام‌بخشی ابنیه خشتی مورد بحث سه طرح الف، ب و ج پیشنهاد گردید. طرح‌ها از نظر اصول نظری مرمت میراث معماری و اعتبارسنجی عملکرد لرزه‌ای با مدل‌سازی در نرم‌افزار ANSYS مورد سنجش و مقایسه قرار گرفته و در نهایت طرح ب (کاربست المان‌های چوبی و طناب‌های بافته شده از الیاف درخت خرما)، به‌دلیل داشتن بیش‌ترین مطابقت با سیاست‌ها و راهبردهای مداخله به‌عنوان الگوی بهینه استحکام‌بخشی لرزه‌ای ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک پیشنهاد گردید. در واقع طرح مذکور در خلال اعتبارسنجی لرزه‌ای عملکرد مناسبی از خود نشان داده و مطابقت بیشتری با مبانی نظری مرمت دارد. همچنین اقتصادی بودن و سهولت اجرا به‌عنوان دو معیار مهم که زمینه جلب مشارکت مردم محلی را فراهم می‌کند، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

کلمات کلیدی: ابنیه خشتی، روستای اصفهک، زلزله، مرمت، استحکام‌بخشی لرزه‌ای.

* کارشناسی ارشد مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی.

** استادیار دانشگاه هنر، دانشکده حفاظت و مرمت، تهران. Ali.zamanifard@gmail.com

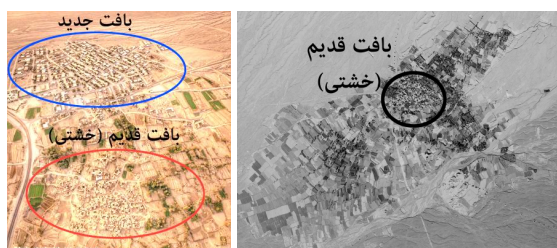
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه نویسنده اول با عنوان بهینه‌سازی لرزه‌ای ابنیه خشتی روستایی (نمونه موردی: روستای تاریخی اصفهک - طبس)، به راهنمایی دکتر اصغر محمدمردادی و مشاوره دکتر علی زمانی‌فرد می‌باشد.

مقدمه

روستای اصفهک از توابع بخش دیهوک، در استان خراسان جنوبی و در 38 کیلومتری جنوب شرقی شهرستان طبس قرار گرفته است. قدیمی ترین اشاره‌ای که به نام "اصفهک" شده است مربوط به قرن هشتم هجری شمسی در کتاب "جغرافیا" حافظ ابرو است که به ذکر آبادی‌های طبس پرداخته است اما تا قرن اخیر اطلاعات تاریخی دیگری از این روستا به دست نیامده است. در مطالعات میدانی و تحقیقات محلی از اهالی قدیمی روستا نیز، منبع مطمئنی از تاریخ دقیق شکل‌گیری روستا به دست نیامد و تنها دیگی فلزی به نام دیگ پیر زال، در مسجد روستا به‌عنوان قدیمی‌ترین وسیله موجود در روستا وجود دارد که تاریخ 1041 هجری قمری بر آن نوشته شده است. براساس تاریخ این دیگ، قدمت این روستا حداقل به دوران صفویه می‌رسد.

این روستا که با بهره‌گیری از مصالح در دسترس و فن‌آورهای ساختمانی متناسب با اقلیم کویری ساخته شده است، بر اثر زمین‌لرزه طبس به بزرگی 7/8 ریشتر در ساعت 19 و 36 دقیقه بعد از ظهر 25 شهریور سال 1357، دچار آسیب و تخریب‌های متنوعی گردید (سایت گلشن طبس، بازیابی شده در تاریخ 1395/6/7). بنا بر اطلاعات محلی میزان تلفات انسانی در روستای اصفهک بر اثر این زمین‌لرزه، حدود 80 نفر بوده است. این درحالی است که تا قبل از زلزله سال 1357 این منطقه جزو مناطق کم‌خطر در ارتباط با بحران زلزله تلقی می‌شده چراکه تا پیش از آن درباره وقوع زلزله در این منطقه، در مدارک تاریخی ذکری نشده است (دانش‌دوست، 1369: 11)؛ اما امروزه منطقه طبس، براساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (84-2800)، از حیث درجه‌بندی خطر نسبی زلزله شهرها و نقاط مهم ایران، جزء مناطق با خطر نسبی

خیلی زیاد محسوب می‌شود که این موضوع اهمیت توجه به خطر رخداد زلزله در منطقه را به خوبی روشن می‌نماید. در روستای اصفهک و پس از زلزله دهه 60 و طی سال‌های بعد از آن، بازماندگان به‌منظور تأمین سرپناه شروع به ساخت مسکن با مصالح جدید (آجر، سیمان و آهن) و کاملاً متفاوت با بافت بومی خود نمودند که منجر به شکل‌گیری بافت مسکونی دیگری در مجاورت بافت قدیمی گردیده است (تصویر شماره 1).



ت 1. عکس‌های هوایی سال‌های 1348 و 1395 از بافت قدیم و جدید روستای اصفهک (سازمان نقشه‌برداری و آرشو گروه پلکان، 1395).

در بافت اصیل و قدیمی اصفهک (بافت خشتی)، ساختمان‌ها اکثراً به صورت یک طبقه و به ندرت دارای دو اشکوب هستند. همچنین این ساختمان‌ها فارغ از هر نوع پلان و شیوه ساخت، دارای اجزای معماری و ساختمانی مشابهی مانند بادگیر، ایوان، تاق‌های قوسی و گنبدی، دیوارهای ضخیم و بازشوهای نه‌چندان فراخ هستند. اجرای این بناها که براساس شواهد میدانی صورت گرفته، بدون استفاده از پی و کرسی‌چینی بوده است. در واقع بناهای مذکور دارای دیوارهای باربری هستند که بلافاصله بر روی زمین اجرا گردیده‌اند. پوشش تمامی خانه‌های روستا به صورت منحنی و با استفاده از شکل‌ها و فرم‌های قوسی و گنبدی در تاق‌زنی است. در بین تاق‌های به کار رفته در روستای اصفهک تاق آهنگ یا گهواره‌ای نقش عمده‌ای در پوشش فضاها دارد. در کنار آن، تاق و

- الگوی بهینه در استحکامبخشی این سازه‌ها در برابر تاثیرات بارهای دینامیکی حاصل از زلزله چیست؟
معرفی اجمالی آسیب‌های و نقاط ضعف لرزه‌ای سازه‌های خشتی روستای اصفهک

با توجه به گذشت چندین سال از زمین‌لرزه مذکور جهت تشخیص صحیح آسیب‌های لرزه‌ای و اطمینان از عدم تداخل این نوع از آسیب‌ها با عوارض فرسودگی حاصل از عوامل طبیعی دو اقدام عمده صورت پذیرفته است. اول آن‌که مودهای شکست آسیب‌های برداشت شده با شکست‌های رایج لرزه‌ای معرفی شده در منابع مکتوب معتبر (در حوزه آسیب‌شناسی لرزه‌ای ابنیه خشتی) تطبیق داده شده است و دوم آن‌که تنها آسیب‌هایی مستندنگاری شده‌اند که امکان تایید مالکان و یا ساکنین گذشته ساختمان‌ها (از طریق مصاحبه و بازدید از بنا با همراهی ایشان) مبنی بر رخداد این آسیب‌ها بر اثر زلزله و درست پس از وقوع آن وجود داشته است. در جدول شماره 1، گونه‌شناسی خسارات و مکانیسم شکست‌های به وجود آمده در ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک به صورت اجمالی آورده شده است.

عارضه	علت	راهکار
ترک و شکست گوشه بجن دو دیوار متعامد و ترک و خسارت در محل اتصال دیوار و تاق	عدم هشتم و گیر مناسب در اتصالات و تمرکز تنش در محل پیوست اجزای باربر به یکدیگر	یکپارچه نمودن عملکرد اجزای باربر با تقویت اتصالات آن‌ها
شکست و فروریزش خارج صفحه دیوار	اتصال ضعیف دیوار به تکیه‌گاه‌های خود و حرکت دیوار حول محور افقی خود	بهبود اتصال دیوارها به یکدیگر با استفاده از المان‌های تقویتی
شکست و تخریب تاق	رانش تاق بر اثر اجزای غیراصولی (نوع، وزن و نحوه اجرای تاق اهمیت بسیاری دارد).	رفع اشکالات و اجرای صحیح تاق و همچنین تقویت و پشتیبانی از تکیه‌گاه‌های زیرین تاق
شکست بازشوها (ترک افقی، قائم یا مورب و یا ترکیبی از آن‌ها)	اجرای بازشوهای غیراصولی، عدم اجرای نعل درگاه و تمرکز تنش در اطراف بازشوها	کلاف‌بندی اطراف بازشوها و اجرای نعل درگاه
شکست و خسارت مرتبط با بادگیرها	هشتم و گیر نامناسب اجزای بادگیر و تاق زیرین	سبک‌سازی بادگیرها و یکپارچه نمودن اتصالات بادگیر و تاق زیرین آن
شکست داخل صفحه دیوار	اجرای بازشوهای غیراصولی و وقوع تنش‌های کششی اصلی در داخل صفحه دیوار	تقویت و کلاف‌بندی بازشوها و یکپارچه‌سازی دیوار

ج 1. آسیب‌های لرزه‌ای سازه‌های خشتی روستای اصفهک.

تویزه، تاق جناغی و همچنین پوشش‌های گنبدی نیز برای پوشاندن فضاهای مختلف در ساختمان‌های مذکور، به کار رفته است. پلان خانه‌های روستا طبق مطالعات انجام گرفته دارای الگوهای چهارصفه، دوصفه و حیاط‌دار می‌باشند (پارسی و منصور، 1395).

ساختمان‌های خشتی و سنت‌های معماری مرتبط با آن‌ها به‌عنوان بخش مهمی از تاریخ معماری ایران در استفاده از مصالح بوم‌آورد نیازمند توجه و استمرار هستند. همچنین بافت خشتی روستای اصفهک از جهت آن‌که بیانگر رخدادهای تاریخی (زلزله طبس)، جایگاه خاطرات جمعی اهالی روستا، نشان دهنده الگوی معماری و سنت‌های زیستی مردم منطقه طی سالیان گذشته و ثبت شده در فهرست آثار ملی کشور است، شایسته حفاظت و نگهداری می‌باشد. یکی از سطوح مداخله مورد نیاز در فرایند حفاظت از ابنیه تاریخی و با ارزش، استحکامبخشی است (فیلدن، 1394: 26) که در مورد ساختمان‌های آسیب‌دیده روستای اصفهک بایستی مدنظر قرار گیرد، بنابراین هدف اصلی پژوهش، بررسی چگونگی استحکامبخشی لرزه‌ای ابنیه خشتی روستای اصفهک متناسب با نقاط ضعف سازه‌ای ساختمان‌های آسیب‌دیده به‌عنوان بخشی از فرایند حفاظت بافت محسوب می‌شود. روش پژوهش حاضر، توصیفی - تحلیلی و گردآوری اطلاعات نیز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بوده است. در نتیجه پژوهش سعی داشته تا در راستای پاسخگویی به سوالات زیر حرکت نماید:

- آسیب‌ها و نقاط ضعف لرزه‌ای رایج در ابنیه خشتی آسیب‌دیده در زلزله، کدام‌اند؟
- اصول مورد توجه در طراحی چگونگی مقاوم‌سازی لرزه‌ای ابنیه خشتی آسیب‌دیده روستای اصفهک چه هستند؟

اصول مورد توجه در طراحی مقاوم‌سازی ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک

هر طرح پیشنهادی، در راستای ارتقای عملکرد لرزه‌ای ابنیه خشتی روستای اصفهک به‌طور قطع دارای مزایا و معایبی خواهد بود. از این رو باید امکان قیاس طرح‌ها از جنبه‌های گوناگون فراهم شود. در رابطه با مقاوم‌سازی ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک اصول طراحی به شرح زیر است:

1- سهولت در اجرا: قطعاً هر طرح پیشنهادی، چه از نظر اقتصادی و چه از حیث صرفه‌جویی در زمان، آنگاه بهینه و به صرفه خواهد بود که امکان اجرای آن سهل باشد. در پژوهش پیش‌رو، سهولت در اجرا، یک سیاست در جهت ارزیابی طرح‌های پیشنهادی در نظر گرفته شده است، اما راهبردهای مرتبط با این سیاست که منجر به سادگی اجرای طرح مقاوم‌سازی می‌گردد، می‌تواند شامل مواردی مانند عدم نیاز به ابزارآلات پیشرفته و مدرن جهت اجرا، عدم نیاز به نیروی کار ماهر و متخصص، وجود دیتایل‌های فنی ساده و همچنین نیاز به نظارت و کمک کارشناسی کمتر باشد.

2- صرفه اقتصادی طرح: ارائه‌دهندگان هر طرح باید قادر باشند تاابعاد مختلف و مؤثر بر اقتصادی بودن طرح را شناسایی نمایند تا بتوانند آن‌را در محدوده توانایی مالی کارفرما و متناسب با اهداف تعیین شده ارائه دهند. در زمینه مقاوم‌سازی ابنیه خشتی روستای اصفهک، راهبردهای مؤثر بر سیاست توجیه اقتصادی طرح، مواردی همچون مطابقت میزان هزینه‌ها با بودجه کارفرما (مردم محلی)، نزدیکی هزینه به سقف تسهیلات در نظر گرفته شده به منظور انجام پروژه توسط نهادهای دولتی، استفاده بیشتر از مصالح بومی و کم‌هزینه، نیاز به حمل‌ونقل کمتر مصالح، نیاز به فرآوری کمتر مصالح و همچنین عدم نیاز به نیروی کار ماهر و ابزارآلات پیشرفته تعریف شده است.

3- سازگاری با معماری بومی منطقه: در مباحث مرمتی، تطبیق مداخلات با ویژگی‌های معماری بومی و برهم نزدن خصوصیات خاص ساختمان‌های هر منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و جزو اصول مرمتی محسوب می‌گردد. به همین سبب مداخلات موجود در هر طرح، مصالح و روش‌های به کار رفته در آن‌ها باید با ویژگی‌های معماری بومی و مصالح سنتی هم‌خوانی داشته باشند و ارزش‌ها و اصالت موجود در اثر را خدشه‌دار نکنند.

4- باورپذیری اجتماعی: یکی از چالش‌های طرح مقاوم‌سازی خانه‌های خشتی روستای اصفهک، مقاومت برخی از مردم محلی و مالکان در زمینه مقاوم‌سازی و مرمت بناهای خشتی مذکور است. در واقع این افراد از آن‌جایی که خود شاهد خسارات (مالی و جانی) و میزان ناکارآمدی سازه‌ای این ابنیه بر اثر زلزله بوده‌اند، اعتماد چندانی به ایمن‌سازی و امکان استفاده مجدد از آن‌ها ندارند. در این رابطه می‌توان با کاربست راهبردهایی هم چون شناخت مصالح و روش‌های مورد استفاده جهت مقاوم‌سازی توسط مالکان، قابل مشاهده و درک بودن عملیات مقاوم‌سازی، مشارکت بیشتر مردم و مالکان در انجام امور فنی طرح (مانند تهیه مصالح و...) و همچنین بالا بردن میزان احساس امنیت در استفاده مجدد از بناها، میزان همراهی مردم محلی را افزایش داد.

5- رعایت اصول مرمتی: مرمت به‌عنوان یک علم در ارتباط با چگونگی مداخلات و برخورد با مسائل و مشکلات به وجود آمده در بناها و بافت‌های تاریخی و همچنین حفاظت و پاسداری آن‌ها، دارای چارچوب و ضوابط خاص خود است. این چارچوب شامل باید و نبایدهای علم مرمت موجود در توصیه‌ها و مقررات داخلی و بین‌المللی، رعایت اصول اخلاقی علم مرمت و توجه به محدودیت‌ها و امکانات موجود در هر پروژه

می‌باشد. راهبردهای مورد نظر با توجه به چارچوب فوق شامل برگشت‌پذیری مداخلات، اعمال کمترین مداخله ممکن، حفظ شاکله اصلی بنا، عدم خلل در زیبایی بنا، مطابقت با قوانین و توصیه‌های مرمتی، بهره‌گیری از امکانات موجود در زیست‌بوم منطقه، برطرف نمودن محدودیت‌های موجود بر سر راه، قابل تشخیص بودن مداخلات نسبت به مصالح اولیه بنا، استفاده از مصالح و فنون هم‌خوان با ویژگی‌های اصیل معماری بنا و همچنین توجه به ابعاد مختلف مرمت (بصری، کالبدی و...) می‌شوند.

6- برآورد اهداف سازه‌ای: قاعدتاً مهم‌ترین هدف در طرح‌های پیشنهادی، دستیابی به مقاوم‌سازی

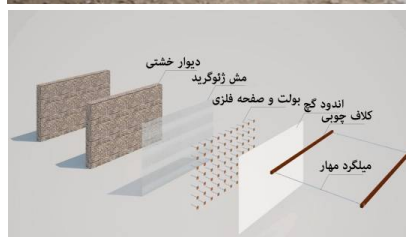
ساختمان‌های خشتی مذکور در سطحی از ایمنی است که ساکنین در صورت رخداد هرگونه زمین‌لرزه سالم مانده و بنا نیز با خساراتی اندک بر سر جای خود استوار بماند. از این‌رو برطرف کردن و پوشش دادن نقاط ضعف سازه‌ای ساختمان‌های خشتی موجود راهبرد مدنظر در این راستا می‌باشد. طبق بازدیدهای میدانی از خانه‌های منتخب و ارزیابی آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها، نقاط ضعف اصلی واحدهای ساختمانی در روستای مذکور شامل ضعف در اتصالات، فقدان فونداسیون، اجرای غلط و سنگینی تاق‌ها، بی‌توجهی به مسئله رانش تاق‌ها، ایجاد تنش در اطراف بازشوها و همچنین آسیب و تخریب در بادگیرها بوده است (جدول شماره 2).

اصول و سیاست‌های راهبردی ارزیابی روش‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک	
اصول مورد توجه	سیاست‌های راهبردی
سهولت در اجرا	سهولت درک و اجرا برای نیروی کار نیاز به حداقل آموزش عدم نیاز به ابزارآلات پیشرفته و مدرن عدم ضرورت تکیه بر توانایی‌های خاص و استاد کار برجسته
صرفه اقتصادی	حداقل مصرف مصالح حداقل مصرف انرژی عدم نیاز به نیروی کار ماهر و ابزارآلات پیشرفته حداقل میزان تخریب، خاک‌برداری و عملیات هزینه‌بر حداکثر استفاده از نیروی بومی به‌عنوان نیروی کار
سازگاری با معماری بومی	همخوانی مصالح مورد استفاده با زیست‌بوم و اقلیم منطقه سهولت در فراهم‌سازی مصالح از خود منطقه انعطاف‌پذیری طرح توجه به حفظ شاخصه‌های معماری بومی روستا
باورپذیری اجتماعی	صحیح گذاشتن بر طرح توسط سازمان‌های ذی ربط مطابقت با تجارب موفق داخلی شناخت مصالح و روش‌های مورد استفاده توسط مالکین و مردم مطابقت با تجارب موفق خارجی
مبانی نظری مرمت	توجه به هویت کالبدی بنا و حفظ شاکله اصلی آن برگشت‌پذیری مداخلات حداقل مداخله عدم خلل در زیبایی و اصالت معماری عدم ایجاد محدودیت در فضاهای معماری توجه به امکانات و محدودیت‌ها
برآورد اهداف سازه‌ای	تقویت ضعیف خاک کنترل رانش تاق‌ها استفاده بیشتر از اصول ساده و سستی مقاوم‌سازی رفع نقص فونداسیون تأمین ایمنی کافی برای ساکنین توجه به مرمت اصولی ترک‌ها
	جزئیات اجرایی ساده و امکان پذیر مشابهت با تجارب گذشته، جهت آشنایی و درک بهتر کاهش ضرورت نظارت و کمک کارشناسی استفاده از مصالح و روش‌های مرسوم و شناخته‌شده نزدیکی به سقف تسهیلات در نظر گرفته‌شده برای مرمت بیشترین پاسخگویی به اهداف با صرف کمترین هزینه عدم نیاز به نیروی کار به‌صورت گسترده استفاده از مصالح بومی و کم‌بها نیاز به فرآوری کمتر مصالح نیاز به حمل‌ونقل کمتر مصالح، نیروی کار و ابزارآلات توجه به روش‌ها و مصالح به‌کار رفته در معماری خشتی روستا میزان توانایی طرح در استفاده از پتانسیل‌های موجود منطقه حداقل مداخله در معماری بومی روستا مطابقت با الگوهای مختلف ساخت در معماری روستا تأیید طرح توسط کارشناسان و متخصصین قابل مشاهده و درک بودن توسط عموم مردم مشارکت بیشتر مردم بومی در انجام کارهای فنی و اجرایی احساس امنیت در استفاده مجدد از بناها احترام به هویت کالبدی بنا و حفظ شاکله اصلی آن برگشت‌پذیری مداخلات حداقل مداخله عدم خلل در زیبایی و اصالت معماری عدم ایجاد محدودیت در فضاهای معماری توجه به امکانات و محدودیت‌ها پاسخگویی مناسب به مدل‌سازی و اعتبارسنجی طرح در نرم‌افزار تقویت بهتر اتصالات اجزای باربر برطرف کردن تخریب و آسیب بادگیرها رفع ضعف بازشوها و طاقچه‌ها یکپارچه‌سازی رفتار دیوارها و ساختمان توجه به ابعاد مختلف مقاوم‌سازی در بنا

ج 2. سیاست‌ها و راهبردهای طرح مقاوم‌سازی ابنیه خشتی روستای تاریخی اصفهک.

معرفی طرح‌های پیشنهادی

طرح الف: این طرح هم‌اکنون به همت مردم محلی و مالکین در بافت خشتی روستا در حال اجرا است. در آن از مش ژئوگرید، به‌منظور یکپارچه کردن اجزای باربر ساختمان (در دو وجه دیوار و تاق)، استفاده شده است. همچنین برای جلوگیری از رانش تاق‌ها و کنترل حرکت جانبی آن‌ها از کلاف‌های چوبی از نوع چوب تبریزی در راستای موازی با تاق استفاده شده و برای اتصال این کلاف‌ها از میلگردهای فولادی نمره 12 به فاصله هر 1.5 یا 2 متر (به‌صورت عمود بر کلاف‌های چوبی) بهره گرفته شده است. با توجه به بودجه محدود مالکین، تلاش شده است تا با قرار دادن مش به‌صورت غیرپیوسته در مقاطعی از دیوارها و تاق‌ها، میزان هزینه صرف شده را کاهش دهند. همچنین در رابطه با اتصال ساختمان به زمین و خشتی نمودن ضعف فقدان فونداسیون، ابتدا پیشنهاد شد که با ایجاد پی شفته آهکی و همچنین اتصال دیوار به پی به‌وسیله میلگرد و بولت این ضعف برطرف شود، اما در حین اجرای پروژه تصمیم بر این شد که تنها از طریق امتداد یافتن مش دیوارها و فرو بردن آن به داخل زمین و اجرای شفته آهک، این مسئله را به‌طور ارزان‌تری حل نمایند (تصویر شماره 2).

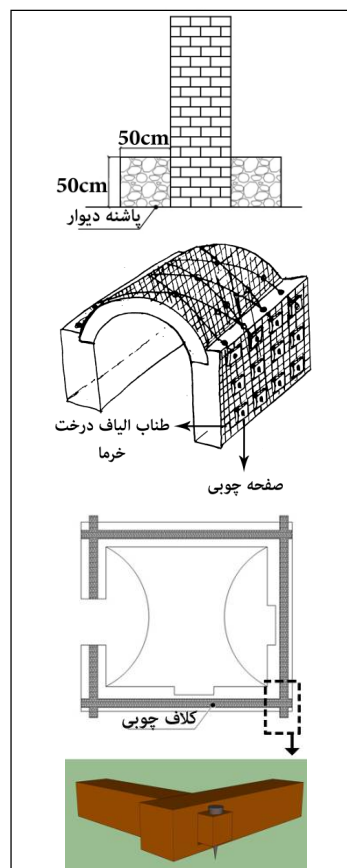


ت 2. جزئیات اجرایی طرح الف (پارسی و منصور، 1395).

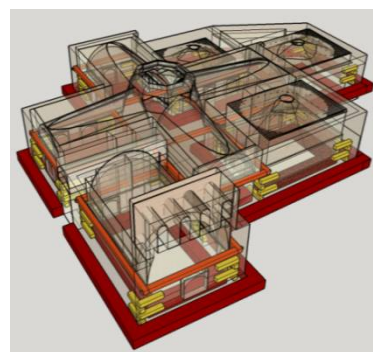
طرح ب: در این طرح با بررسی تجربه موفق مرمت ابنیه خشتی ارگ بم و در نظر گرفتن این موضوع که طسب و همچنین روستای اصفهک یکی از مناطق تولید خرما در ایران می‌باشد و تعداد زیادی درخت نخل در پوشش گیاهی منطقه قابل مشاهده و دستیابی است، استفاده از الیاف درخت خرما را جهت یکپارچه‌سازی رفتار دیوارها و تاق‌های ساختمان‌های خشتی مورد توجه قرار داده است. در این روش الیاف درخت خرما در دو طرف دیوارها و تاق‌ها کار گذاشته شده و به‌وسیله طناب‌هایی هم‌جنس به هم بسته می‌شوند. این الیاف و طناب‌ها به راحتی به کمک مردم بومی و در خود منطقه اصفهک قابل تولید است. به‌منظور کنترل رانش تاق‌ها از جایگذاری کلاف‌های چوبی (چوب افرا)، به ابعاد 20×20 سانتی‌متر و طولی برابر با طول دیوارهای موازی با جهت تاق، در کد ارتفاعی پاکار تاق بهره گرفته می‌شود. جهت تقویت اتصال دیوارهای متقاطع عناصر چوبی به ضخامت 10×10 سانتی‌متر و به طول یک متر به‌صورت غیرمتصل به یکدیگر و در داخل دیوارها در کنج‌ها جای گذاری می‌گردد. به‌منظور رفع نقص نبود فونداسیون در این طرح پاشنه مربعی به ابعاد 50×50 سانتی‌متر و در امتداد پای دیوارها (در هر دو سمت آن) از جنس شفته آهکی با لاشه‌سنگ پیشنهاد می‌گردد (تصاویر شماره 3 و 4).

طرح ج: در حقیقت تلفیقی از طرح الف و ب می‌باشد. همچون طرح الف به‌منظور یکپارچه‌سازی عملکرد لرزه‌ای ساختمان در این طرح نیز از مش ژئوگرید در دو وجه دیوار و تاق استفاده شده است. البته با این تفاوت که مش ژئوگرید تماماً سطوح داخلی و خارجی را می‌پوشاند و به‌صورت منظم اجرا می‌شود. کنترل رانش تاق به‌وسیله کلاف‌های چوبی که در پاکار تاق نصب می‌شوند، صورت می‌گیرد. همچنین در دو سمت دیوار و در امتداد پای دیوار اقدام به احداث

پاشنه شفته آهکی با لاشه سنگ (مشابه طرح ب) می شود تا بتوان از حرکت جانبی پای دیوار جلوگیری نمود.



ت 3. جزئیات اجرایی طرح ب، به ترتیب از بالا پاشنه سنگی، اجرای الیاف درخت خرما و کلاف گذاری چوبی کششی در تاقها (نگارندگان، 1395).



ت 4. شماتیکی از جزئیات اجرایی طرح ب (نگارندگان، 1395).

اعتبارسنجی لرزه‌ای طرح‌ها

جهت اجتناب از پیچیدگی مدل و کاهش پارامترهای به کار رفته، مدل‌سازی به روش ماکرو انجام شده است. در واقع در سازه‌های بنایی بزرگ و حجیم معمولاً اطلاع از رفتار اندرکنشی بین واحدها و بندهای ملات رفتار عمومی سازه را مشخص نمی‌کند لذا در اینگونه موارد استفاده از مدل‌های همگن بر مبنای رابطه بین تنش‌ها و کرنش‌های متوسط در مصالح مناسب‌تر است. تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی در سه گام انجام یافته است. در گام اول (مدت زمان 3 ثانیه)، فقط اثر وزن سازه اعمال شده است. چرا که در تحلیل دینامیکی اعمال هم‌زمان گرانش و شتاب، اثری همانند شوک بر روی سازه خواهد داشت. از گام دوم بارگذاری لرزه‌ای آغاز می‌گردد. در گام سوم فقط اثر وزن را باقی گذاشته و بارگذاری دینامیکی صفر لحاظ شده است تا اثر ارتعاش آزاد سازه مورد بررسی قرار گیرد. در این مدل‌سازی از رکورد اصلاح شده زلزله بم استفاده شده است (رکوردهای ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار به دلیل بروز برخی خطاها مانند کالیبره نبودن دستگاه، خام بوده و احتیاج به اصلاح دارند که این اصلاح توسط برخی نرم‌افزارها همچون MATLAB انجام می‌گیرد). مشخصات مکانیکی مصالح جهت مدل‌سازی در نرم‌افزار انسیس در جداول شماره 3 الی 7 و همچنین نتایج ارزیابی عملکرد سازه در حالت تقویت نشده در نرم‌افزار مذکور در تصویر شماره 5 آورده شده است.

ابعاد چشمه (mm)	ضخامت (mm)	چگالی (gr/cm ²)	مدول الاستیسیته (mpa)	ضریب پواسون	مقاومت کششی (KN/M)
20×20	5	19	650	0/21	55

ج 3. پارامترهای مکانیکی ژئوگرید (Qingbiao et al, 2015: 216).

وزن مخصوص (kg/m ²)	چسبندگی (kpa)	مدول الاستیسیته (KN/m ²)	ضریب پواسون	مقاومت کششی (mpa)
19/6	500	140000	0/3	3000

ج 6. پارامترهای مکانیکی پی شفته آهکی با لاشه سنگ (روحانی و توفیق، 1392: 4).

وزن مخصوص (kg/m ³)	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته (mpa)	تنش تسلیم فشاری (mpa)	تنش تسلیم کششی (mpa)
600	0/47	800	3	6

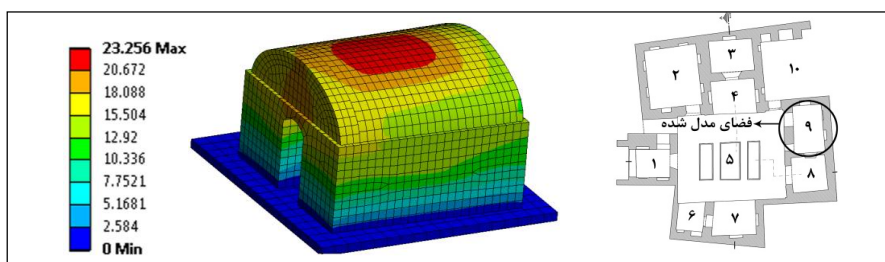
ج 7. مشخصات مکانیکی چوب (حجازی و دیگران، 1393: 76).

جرم حجمی (kg/cm ³)	چسبندگی (kpa)	مدول الاستیسیته (mpa)	ضریب پواسون	مقاومت کششی (mpa)
1800	5/8	107	0/2	0/4

ج 4. پارامترهای مکانیکی خشت (حجازی و دیگران، 1393: 76).

چگالی (g/cm ³)	قطر (mm)	مدول الاستیسیته (Gpa)	ضریب پواسون	مقاومت کششی (mpa)
0/92	100-1000	5-12	0/3	170-275

ج 5. پارامترهای مکانیکی الیاف خرما (Shamsi & Mazlounzadeh, 2009: 30).



ت 5. مدل‌سازی و نمایش حداکثر تغییر شکل سازه در حالت تقویت نشده (نگارندگان، 1395).

نیز چنین است هم مش بندی و هم چوب‌ها تنش برشی نسبتاً بالایی را تحمل می‌کنند (تصویر شماره 7).
 طرح ج: با عنایت به تغییر شکل کلی سازه این روش مقاوم‌سازی عملکرد مناسبی دارد. سازه با توجه به سختی بالا پس از تحمل زلزله در کمتر از 0.36 ثانیه میرا شده و به وضعیت عادی بازگشته است. تنش اصلی اول حداکثر سازه در ثانیه 7.04 بوده و در منطقه اتصال با پاشنه رخ داده است و مقدار آن حدود 0.5 مگا پاسکال است و با توجه به اینکه مقاومت کششی مصالح بنایی حدود 0.16 مگا پاسکال است، قطعاً در این ناحیه ترک خواهیم داشت. علت این امر وجود برش پایه شدید در این منطقه است (تصویر شماره 8). نتایج حاصل از مدل‌سازی سه طرح فوق، جهت مقایسه در جدول شماره 8 ذکر گردیده است.

طرح الف (در حال اجرا): با عنایت به وضعیت تغییر شکل کلی سازه ملاحظه می‌گردد که سازه به وضعیت خرابی کلی (نهایی) رسیده است. نوع خرابی با جاری شدن و ناپایداری میل‌گردها و دوران چوب داخل دیوار و به تبع آن فروپاشی دیوار و طاق کاملاً مشهود است. این مدل تنها 8 ثانیه تحت مدل‌سازی دوام آورده و پس از آن میلگردها جاری شده و تاق و یکی از دیوارها تخریب می‌گردد (تصویر شماره 6).

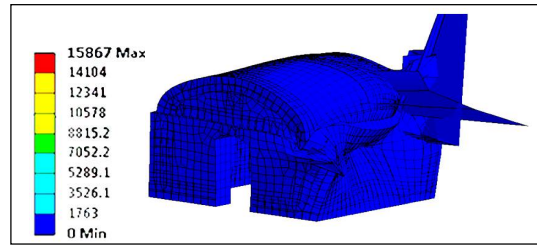
طرح ب: جهت مدل‌سازی چوب‌های عمودی کافی است شرایط تکیه‌گاهی در چوب‌های بیرون زده محدود شود. با توجه به محدود نمودن پیچش چوب‌ها در محدوده خارجی، این چوب‌ها در این ناحیه نسبت به طرح ج تنش بیشتری را تحمل می‌کنند اما این میزان تنش برای چوب قابل تحمل است. در مورد تنش برشی

پارامتر مورد بررسی	سازه مقاوم نشده	طرح الف	طرح ب	طرح ج
وضعیت آنالیز	فروپاشی تاق و دیوار	خرابی تاق و دیوار	عملکرد مناسب	عملکرد مناسب
زمان شروع (S)	0	0	0	0
زمان اتمام (S)	10	8	10	10
حداکثر تنش کششی (mpa)	1.86	11.2	با پاشنه	1.38
			بدون پاشنه	0.54
حداکثر تنش فشاری (mpa)	-3.95	-10.7	با پاشنه	1.82
			بدون پاشنه	0.4
حداکثر جابه‌جایی (mm)	23	158	با پاشنه	-1.47
			بدون پاشنه	-0.61
			بدون پاشنه	-1.91
			با پاشنه	0.36
			بدون پاشنه	0.4
			با پاشنه	0.52
			بدون پاشنه	0.56

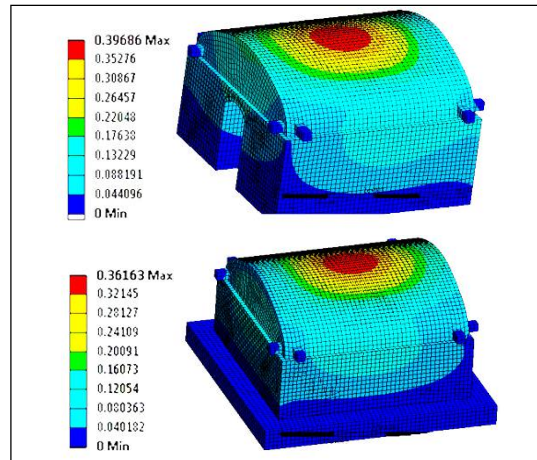
ج 8. نتایج مقایسه‌ای سه طرح الف، ب و ج (نگارندگان).

انتخاب طرح بهینه

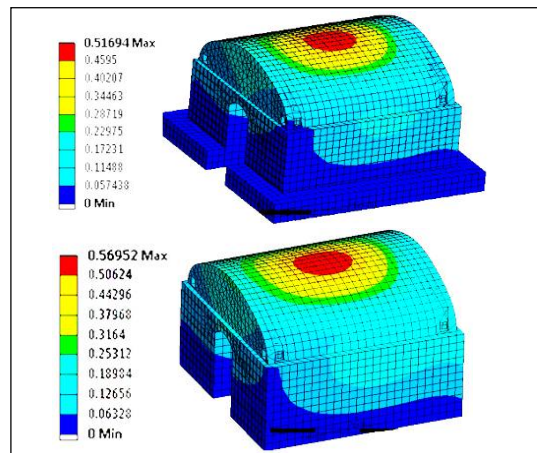
نمودارهایی که برای مقایسه 3 طرح پیشنهادی در نظر گرفته شده است، براساس 6 سیاست تعریف شده یعنی صرفه اقتصادی، سهولت در اجرا، رعایت مبانی نظری، برآورد اهداف سازه‌ای، باورپذیری اجتماعی و مطابقت (سازگاری) با معماری بومی طراحی گردیده‌اند. برای هر یک از طرح‌ها با توجه به سیاست اختصاص داده شده به هر نمودار و راهبردهای مرتبط با آن امتیازدهی (+4 تا -4) صورت پذیرفته است. امتیاز +4 مبین بهترین حالت (وضعیت مطلوب) و -4 معرف بدترین حالت می‌باشد. به همین ترتیب اعداد مابین این دو نیز هر کدام به صورت نسبی نشان‌دهنده میزان مطلوبیت آن



ت 6. تغییر شکل بر اثر جاری شدن میله‌گردهای کششی در طرح الف (نگارندگان، 1395).



ت 7. تغییر شکل مدل در طرح ب در دو حالت، با اعمال پاشنه شفته آهکی دیوار و بدون اعمال آن (نگارندگان، 1395).



ت 8. حداکثر تغییر شکل در طرح ج در دو حالت، با پاشنه شفته آهکی دیوار و بدون پاشنه شفته آهکی دیوار (نگارندگان، 1395).

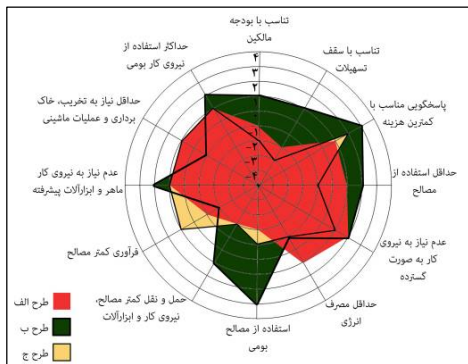
طرح در راهبرد مورد نظر است. طرحی که سطح بیشتری از هر نمودار را نسبت به طرح‌های دیگر پوشش دهد، نشان‌دهنده بهینه بودن آن طرح در آن نمودار و سیاست مربوط به آن می‌باشد.

همان‌طور که در نمودار مرتبط با سیاست صرفه اقتصادی (نمودار شماره 1) مشاهده می‌شود، طرح ب نسبت به دو طرح دیگر هزینه کمتری را به منظور نیل به هدف پروژه مصرف می‌کند. علت آن استفاده از الیاف درخت خرما به عنوان مصالح بوم‌آورد و کاهش هزینه خریداری و حمل و نقل مصالح مورد نیاز جهت اجرای عملیات مرمتی می‌باشد.

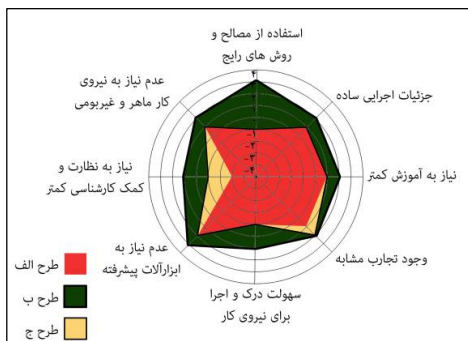
استفاده از میلگرد و اتصالات فلزی در طرح الف تا حدودی اجرای طرح را دشوارتر می‌کند و نیاز به آموزش و نیروی کار متخصص را افزایش می‌دهد. در واقع این طرح، دیتایل‌های اجرایی بیشتری را در خود گنجانده است. از طرف دیگر با توجه به آن که مش‌های ژئوگرید در طرح الف به صورت منقطع (به منظور کاهش هزینه) نصب می‌شوند و عملکرد مش وابستگی بسیاری به مکان و چگونگی اجرای آن دارد، در نتیجه به منظور اجرای صحیح، نیاز به نظارت و دقت بیشتری دارد و این مسئله اجرای طرح را دشوارتر می‌کند. به طور کلی، دو طرح الف و ج به علت استفاده از ژئوگرید، نیاز به آموزش بیشتر، نیروی کار متخصص‌تر، نظارت و کمک کارشناسی بیشتر دارند و مصالح مورد استفاده در آن‌ها برای مردم عادی (بومی) ناشناخته‌تر هستند (نمودار شماره 2).

انجام هر گونه مداخله‌ای در بناهای تاریخی بایستی در هماهنگی کامل با بنا و احترام به خصوصیات معماری بومی منطقه باشد. در واقع طبق بند 7 منشور ایکوموس (ضوابطی برای حفاظت و مرمت سازه‌های میراث معماری در زیمباوه در سال 2003 میلادی) در انتخاب هر نوع روش به منظور مداخله، اولویت با

آن‌هایی است که دارای مداخله کمتری بوده و با خصوصیات و ارزش‌های میراثی سازگارتر است (فیلدن و یوکیلتو، 1388: 233). در میان طرح‌های پیشنهادی، طرح ب به علت استفاده از پتانسیل‌های موجود منطقه و استفاده از مصالح طبیعی و بوم‌آورد (الیاف درخت خرما و چوب)، هم‌خوانی مناسبی با زیست‌بوم منطقه دارد. همچنین طرح مذکور انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به خصوصیات فضاهایی که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، خواهد داشت. چرا که دارای جزئیات ساده‌تر اجرایی می‌باشد. حتی در مورد پاشنه‌های شفته آهکی در پای دیوار، بسته به محدودیت فضایی می‌توان آن‌را در کد ارتفاع پایین‌تری قرار داد (نمودار شماره 3).



ن 1. مقایسه طرح‌ها از نظر صرفه اقتصادی (نگارندگان، 1395).

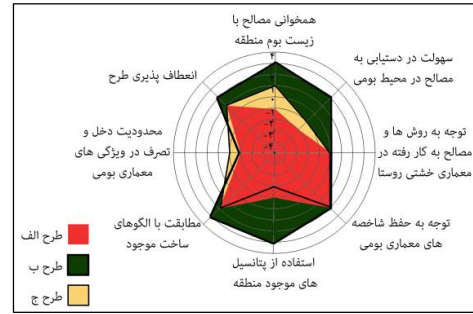


ن 2. مقایسه طرح‌ها از نظر سهولت اجرا (نگارندگان، 1395).

را در پی دارد، ریسک کمتری را در رابطه با بازگشت سرمایه متوجه مالکین بناها خواهد نمود که شاید این موضوع نیز در جلب نظر آن‌ها مؤثر واقع شود (نمودار شماره 4).

در رابطه با سیاست رعایت اصول و مبانی نظری مرمت باید به این مسئله توجه نمود که طرح الف با توجه به استفاده از میلگرد در مقاوم‌سازی ابنیه، در زیبایی معماری خشتی موجود خلل ایجاد خواهد نمود (میلگردها به تعداد زیاد در فضاهای معماری داخلی قابل مشاهده است) و همین‌طور مصالح مرمتی مورد استفاده با مصالح اصلی بنا و معماری خشتی منطقه سنخیت و هماهنگی ندارند. همچنین طرح مذکور در کنار طرح ج توجه کمتری به امکانات و پتانسیل بومی منطقه دارند. تفاوت سه طرح پیشنهادی را از این حیث می‌توان در نمودار شماره 5 مشاهده کرد.

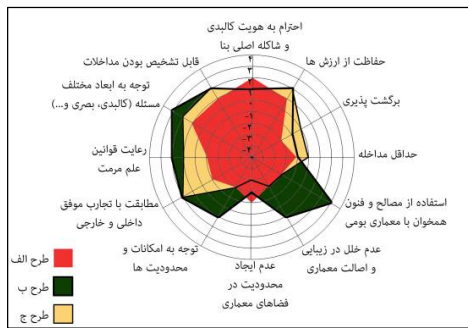
هر طرح مقاوم‌سازی زمانی خواهد توانست اهداف سازه‌ای مدنظر را برآورده کند که براساس پوشش بهتر نقاط ضعف اصلی سازه، طراحی شده باشد. در مورد ابنیه تاریخی خشتی روستای اصفهک، فقدان فونداسیون، اتصالات ضعیف اجزای باربر (دیوار به دیوار و دیوار به تاق)، عملکرد غیر یکپارچه ساختمان، ایجاد تنش در اطراف بازشوها و همچنین رانش تاق‌ها و بادگیرها از جمله مهم‌ترین نقاط ضعف این ساختمان‌ها محسوب می‌شود. در طرح الف به مسئله فقدان فونداسیون توجه چندانی نشده است و سعی شده با استفاده از امتداد یافتن مش در پای دیوار به داخل زمین این ضعف برطرف گردد که کارایی مناسبی نخواهد داشت اما در طرح‌های ب و ج فلسفه استفاده از پاشنه شفته آهکی با لاشه‌سنگ به‌منظور وزن دادن به پای دیوار، عریض نمودن



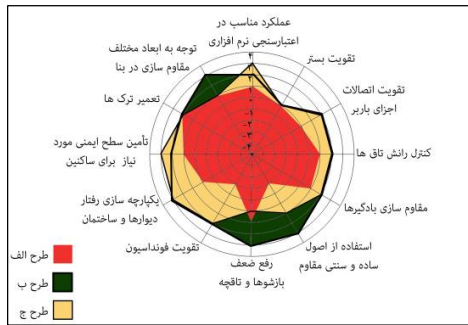
ن 3. مقایسه طرح‌ها از نظر سازگاری با معماری بومی (نگارندگان، 1395).

مالکین و اهالی روستا با توجه به زلزله خسارت‌های مالی و جانی، احساس ناخوشایندی نسبت به خانه‌های خشتی گذشته خود دارند و در رابطه با امکان مقاوم‌سازی این خانه‌های خشتی و استفاده دوباره از آن‌ها خوش‌بین نیستند و مخالفت شدیدی نیز نشان می‌دهند. در نتیجه در طرح‌های ارائه شده بایستی به نکاتی در زمینه تلطیف نظر مردم و جلب رضایت‌شان توجه شود. به‌طور مثال می‌توان با مشارکت بیشتر ساکنین در انجام کارهای فنی، تأیید طرح از طرف سازمان‌ها و متخصصین مورد اعتماد مردم و همچنین شناخت مصالح و روش‌ها و قابل درک و مشاهده بودن کارهای اجرایی تأثیر بیشتری بر عقیده آن‌ها گذاشت. طرح ب با توجه به استفاده از مردم بومی به‌منظور فرآوری الیاف درخت خرما و همین‌طور قابل درک بودن مصالح به‌کار رفته در آن، نسبت به طرح‌های دیگر که از ژئوگرید استفاده می‌کنند شرایط بهتری دارد. از طرفی استفاده مثبت و مؤثر از الیاف درخت خرما در تجربه مقاوم‌سازی ارگ بوم و تأیید طرح توسط کارشناسان می‌تواند نتایج آن‌را برای مالکین ملموس‌تر نماید. همچنین با توجه به اینکه طرح مذکور نسبت به طرح‌های دیگر هزینه کمتری

مقطع انتقال بار از دیوارها به زمین و جبران نبود فونداسیون می‌باشد. در طرح الف استفاده از مش ژئوگرید به صورت منقطع و حساب نشده و بدون محاسبات سازه‌ای، چندان تأثیری در یکپارچه‌سازی دیوارها و توزیع تنش‌های کششی ندارد اما در طرح‌های ب و ج اجرای سرتاسری ایفای درخت خرما و مش ژئوگرید در دو وجه دیوارها و تاق‌ها عملکرد مثبتی را در این زمینه رقم زده است. در طرح الف رفع رانش تاق‌ها با استفاده از کلاف‌های چوبی که به وسیله میلگرد به یکدیگر متصل شده بودند انجام گرفته است و در واقع میلگرد نقش کش را ایفا می‌کند و نیروی کششی را خنثی می‌نماید اما این مسئله مستلزم آن است که این میلگرد در پاکار تاق و در جایی که نیروی کششی موجود است نصب گردد در حالی که در مواردی می‌توان مشاهده کرد که این میلگرد کششی در نقاطی پایین‌تر و نامناسب قرار گرفته است و دیوارهای زیر تاق را به یکدیگر متصل می‌نماید و نقشی در کنترل رانش تاق ندارد (نمودار شماره 6).



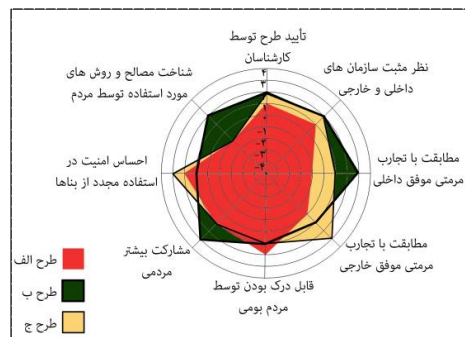
ن 5. مقایسه طرح‌ها از نظر رعایت مبانی نظری مرمت (نگارندگان، 1395).



ن 6. مقایسه طرح‌ها از نظر رعایت اصول سازه‌ای (نگارندگان، 1395).

نتیجه

با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته و مطالعه آسیب‌های موجود در بافت خشتی روستای اصفهک بر اثر زمین‌لرزه سال 1357 (زلزله طبس) مشخص گردید که ساختمان‌های مذکور به علت وزن سنگین، ضعف در اتصالات (عدم یکپارچگی اجزا و عناصر ساختمانی)، اجرای غیر اصولی تاق‌ها و عدم توجه به کنترل رانش آن‌ها دچار نرخ متفاوتی از صدمات و ویرانی‌ها گشته‌اند. از جمله آسیب‌های موجود در ابنیه مورد مطالعه می‌توان به ترک و



ن 4. مقایسه طرح‌ها از نظر میزان باورپذیری اجتماعی (نگارندگان، 1395).

در زلزله‌های شدیدتر، بهتر است که پاشنه‌های سنگی اجرا گردند. در نهایت طرح ب به علت دارا بودن بیش‌ترین مطابقت با راهبردها و سیاست‌های مطرح شده در پژوهش، به‌عنوان طرح بهینه در زمینه استحکام‌بخشی لرزه‌ای بافت خشتی روستای اصفهک ارائه گردید.

فهرست منابع

- اکبری، سیدمحمد مهدی؛ مهرداد محمدحجازی و رسول اجل لوثیان، 1384، آنالیز و روش‌های بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های خشتی مطالعه موردی برج شماره 32 ارگ بم، دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده عمران.
- پارسی، فرامرز؛ منصوری، کاوه (1395). مرمت، بازسازی و احیای روستای تاریخی اصفهک - تجربه‌ای در مرمت مشارکتی سکونتگاه‌های روستایی کشور. فصلنامه تخصصی بوم‌شناسی، شماره 5 و 6.
- حافظ ابرو، جغرافیا، نسخه خطی موزه ملک، 343.
- حجازی، مهرداد؛ حجازی، بینا؛ مهداد، حامد؛ حجازی، صبا (1393). مطالعه تخریب لرزه‌ای یک حجره خشتی در ارگ بم و ارائه طرح مرمت آن. دوفصلنامه مرمت و معماری ایران، شماره نهم، صص 86 - 71.
- دانشدوست، یعقوب (1369). طبس شهری که بود (باغ‌های طبس). انتشارات سروش، تهران.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (1384). آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد 2800. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، تهران.
- روحانی، پیام؛ توفیق، محمدحسن (1392). مدل‌سازی ستون‌های سنگی شفته آهکی تحت بارهای محوری و جانبی به روش اجزای محدود. اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی.
- عبادی جامخانه، جواد (1390). ارزیابی عددی مقاوم‌سازی بناهای خشتی و گلی در برابر بار دینامیکی زلزله با استفاده از

خسارت گوشه در دیوارهای متعامد، ایجاد ترک در محل اتصال بین دیوار و تاق، ترک داخل صفحه دیوار، ترک بازشو، ایجاد ترک و تخریب جزئی یا کلی بادگیر، فروریزش خارج از صفحه دیوارها، رانش و فروریزش تاق‌های آهنگ و همچنین ایجاد انواع ترک‌های کمافی (در امتداد بندهای ملات‌خور تاق)، مداری و نصف‌النهاری (در تاق‌بندی‌های مرکزی دارای هورنو) اشاره کرد.

در رابطه با استحکام‌بخشی ساختمان‌های خشتی روستای اصفهک و با توجه به ابعاد مختلف تاثیرگذار بر چگونگی استحکام‌بخشی این بناها، سیاست‌ها و راهبردهایی جهت انتخاب طرح بهینه ارائه گردید. سیاست‌های مذکور عبارت بودند از صرفه اقتصادی، سهولت در اجرا، باورپذیری اجتماعی (به‌منظور بالا بردن مشارکت مردمی)، برآورد اهداف سازه‌ای، سازگاری با معماری بومی منطقه و رعایت اصول و ضوابط مرمتی. برای نیل به هر کدام از این سیاست‌ها نیز راهبردهایی متعدد و مرتبط با هر یک از آنها تعریف گردیده است.

در نهایت در میان سه طرح الف، ب و ج براساس مدل‌سازی در نرم‌افزار انسیس و با در نظر گرفتن سیاست‌های تعریف شده، سنجش دقیقی صورت گرفت. نتایج مدل‌سازی طرح الف در نرم‌افزار حاکی از آن است که این طرح در خلال زمین‌لرزه تنها هشت ثانیه دوام خواهد آورد اما طرح‌های ب و ج چه در وضعیت اعمال پاشنه سنگی با شفته‌آهک در پای دیوارها و چه در صورت عدم اجرای آن در برابر شرایط منظور شده در مدل‌سازی از استحکام کافی برخوردار هستند و سطح ایمنی لازم را فراهم می‌کنند. البته جهت اطمینان بیش‌تر و برآورد سطح ایمنی بالاتر و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از عدم وجود فونداسیون

- الیاف پلیمری مسلح کننده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه
خواجه نصیر، تهران.
- فیلدن، سربرنارد (1394). حفاظت از بناهای تاریخی. ترجمه
مهدی هوشیاری، طحان، چاپ اول، تهران.
- فیلدن، سربرنارد؛ یوکیلتو، یوکا (1388). راهنمای مدیریت
محوطه‌های میراث جهانی. ترجمه پیروز حناچی، دانشگاه
تهران، چاپ دوم، تهران.
- Blondet, M. Garcia, G. V. Brzev, S. & Rubiños,
A. (2003). Earthquake-Resistant Construction Of
Adobe Buildings: A Tutorial. EERI/IAEE world
housing encyclopedia.
- Ebrahimi, A. Ahmadi roini, H. (2012).
Researches And Studies On Mudbrick
Architecture Focused On Improvement Of
Seismic Resistance And Optimization In Bam
Citadel (Arge-Bam, Islamic Republic Of Iran).
The unesco international colloquium on the
conservation of world heritage earthen
architecture, paris, pages: 167-171.
- Shamsi, M. Mazlounzadeh, S. (2009). Some
Physical And Mechanical Properties Of Date
Palm Trees Related To Cultural Operations
Industry Mechanization. Jurnal of agricultural
technology, V 5 (1), pages: 17-31.
- Tolles, E. L. Kimbro, E. E. Webster, F. A. &
Ginell, W. S. (2000). Seismic stabilization of
historic adobe structures. Los Angeles: The Getty
Conservation Institute.
- Qingbiao, w & et al. (2015). The Mechanical
Property Of Bidirectional Geogrid And Its
Application Research In Retaining Wall Design.
The open construction and building technology
journal, 9th, pages: 214-222.
- <http://www.Tabasenc.ir> (سایت گلشن طبس)