صفحات ۵۳ - ۶۸
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۱۸ ● شماره ۳ ● پاییز ۱۳۹۲

فرایند ایمن‌سازی لرزه‌ای بافت‌های تاریخی*
مطالعه موردی: روستای نایبند

محمد مهدی هادیان[۱**]، **محسن سرتیپی پور**[۲]
[۱] کارشناس ارشد بازسازی پس از سانحه، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
[۲] استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۳/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۹/۳)

چکیده

در کشور ما علی رغم وجود تعداد زیاد بافت‌های تاریخی در معرض زلزله، تحقیق جامع و روش‌مندی در زمینه کاهش آسیب‌پذیری آنها صورت نگرفته و اسناد موجود عمدتاً به توصیف تجربه‌های پراکنده مقاوم‌سازی در مقیاس تک بناها اکتفا کرده‌اند. نایبند در ۲۰۰ کیلومتری طبس، روستایی با ارزش‌های تاریخی است که در مجاورت گسل بزرگ نایبند قرار دارد. به دلیل وجود بافت منحصربه‌فرد کالبدی و شکل‌گیری روابط اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی و پیروی از الگوهای بومی ساخت و ساز در تعامل با آن و همچنین اجرای طرح جابه‌جایی ساکنین و تخلیه بافت، این روستا گزینه خوبی جهت انجام مطالعات ایمن‌سازی لرزه‌ای است تا بتوان از فرایند تعریف شده برای آن به عنوان الگویی برای دیگر بافت‌های تاریخی استفاده کرد. فرایند معرفی شده در این مقاله دارای دو بخش اصلی می‌باشد. بخش اول به شناخت آسیب‌پذیری‌های کالبدی روستا در برابر زلزله اختصاص دارد که طی آن با مطالعه تطبیقی ۱۹ روش تحلیل آسیب پذیری، در نهایت روش FAMIVE که در سطح جهانی از اعتبار بالایی برخوردار است، انتخاب و انواع آسیب‌پذیری‌ها از طریق آن استخراج گردید. در بخش دوم، نظر به تنوع خصوصیات بناهای تاریخی و لزوم بهینه بودن سطح مداخله در آنها، سطوح هدف عملکردی به صورت روش‌مند پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی

مقاوم سازی، بافت تاریخی، ارزیابی آسیب پذیری، مدیریت بحران، سطوح هدف عملکردی.

* این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول تحت عنوان "مطالعه و امکان‌سنجی مقاوم سازی روستای تاریخی نایبند" است که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۲۰ به راهنمایی دکتر اکبر حاجی ابراهیم زرگر و مشاوره نگارنده دوم دفاع گردیده است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات بی دریغ و تلاش‌های بی وقفه و بدون چشم‌داشت دکتر Dana D'Ayala و دکتر Viviana Novelli – از اساتید محترم دانشگاه Bath انگلستان – در راستای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

** نویسنده مسئول : همراه : ۰۹۱۳۳۵۱۲۱۹۲، نمابر: ۰۲۱-۲۲۴۳۱۶۳۰، E-mail: mmahdian@gmail.com.

مقدمه

علی رغم اینکه مسئله آسیب پذیری بافت‌های تاریخی کشور در برابر زلزله، موضوع جدیدی نیست، اما کم توجهی و فقدان وجود برنامه‌های جامع در زمینه ایمن سازی آنها باعث شده هنگام بروز سوانح، بناهای زیادی تخریب و به میراث فرهنگی صدمات جبران ناپذیری وارد گردد. از نگاه کلی، اقدامات در زمینه کاهش آسیب‌پذیری بناها می‌بایست در دو بخش نرم‌افزاری (مدیریتی- ایمن سازی) و سخت‌افزاری (مهندسی- مقاوم سازی)، در قالب دیدی کل‌نگر و یکپارچه انجام پذیرند. متأسفانه تاکنون در کشور ما فرایند جامعی در زمینه ایمن سازی بافت‌های تاریخی تدوین نشده و اقدامات استحکام بخشی صرفاً با دید سازه‌ای و مهندسی در مورد تک بناها صورت گرفته است.

این مقاله فرایندی را معرفی نماید که طی آن با ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری‌های لرزه‌ای در مقیاس بافت، سطوح مداخله کالبدی به صورت روش‌مند برای بناها پیشنهاد می‌گردد. با وجود چنین فرایندی از هدر رفت منابع و امکانات، جابه‌جایی بی‌مورد سکونتگاه‌ها و اتخاذ تصمیمات آنی و غیرروش‌مند جلوگیری به عمل آمده و ابهامات در زمینه تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص آینده بافت‌ها نیز برطرف می‌شود. در این راستا، مقاله پیش رو در پی پاسخ دادن به سوالات زیر است:

- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری‌های لرزه‌ای بناهای تاریخی و ویژگی‌ها و امکانات آنها چگونه است؟
- نوع آسیب وارده به بناهای نایبند هنگام بروز زلزله چگونه خواهد بود؟
- برای پیشگیری و به حداقل رساندن آسیب در بافت تاریخی نایبند، چگونه و در چه سطوح کالبدی باید مداخله انجام شود؟

روش تحقیق

این تحقیق در پی کشف اتفاقات و روابط رخ داده در گذشته و برنامه ریزی برای آینده است. در فرایند ایمن سازی بافت‌های تاریخی، آن بخش که مربوط به شناخت آسیب‌پذیری ها (درد) و اولویت‌های استحکام بخشی است، جنبه تحقیقی داشته و بخش برنامه‌ریزی از آنجا که در پی شناخت سطوح بهینه مداخله در بناها (درمان) است، جنبه طرح‌ریزی برای آینده دارد.

با توجه به روش تحقیق مورد استفاده در تجربیات حاصله از کشورها و به جهت آنکه ماهیت پژوهش توصیفی بوده و سوالات آن جنبه اکتشافی دارد در آن از روش‌های کمی و کیفی استفاده شده تا امکان شناخت متغیرهای متعدد و تأثیرگذار بر فرایند ایمن‌سازی بافت‌های تاریخی و بررسی آنها فراهم شود. ابزارهای گردآوری اطلاعات مورد نیاز در پژوهش در دو بخش میدانی و کتابخانه‌ای شامل موارد زیر بوده‌اند:

- تهیه و ثبت تصاویر از بافت و بناها که نتیجه فعالیت‌های میدانی در روستا است.
- فرم‌های پیمایش میدانی روش FAMIVE در قالب فایل Excel
- پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط ساکنین روستا
- مصاحبه با مسئولین سیاسی و اجرایی شهرستان طبس، اعضای شورای اسلامی و ساکنین روستا
- مصاحبه به روش دلفی با اساتید متخصص
- مطالعه اسناد، مدارک و تحقیقات در رابطه با موضوع پژوهش شامل روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، شاخص‌های تعیین کننده اولویت بناها در فرایند ایمن‌سازی و سطوح هدف عملکردی لرزه‌ای

معرفی روستای نایبند

روستای نایبند در استان یزد، شهرستان طبس بر فراز مرتفع‌ترین بخش زیست بوم منطقه واقع شده است. این روستا در ۲۲۰ کیلومتری جنوب شهر طبس (مرکز شهرستان) و ۱۸۰ کیلومتری شمال شهر راور (از استان کرمان) و به فاصلهٔ ۲ کیلومتری جادهٔ کرمان به خراسان قرار دارد. براساس سرشماری سال ۱۳۸۵، جمعیت روستا ۴۸۴ نفر در قالب ۱۳۳ خانوار می‌باشد. روستا به دلیل نزدیکی به کویر و قرارگیری در میانه و گلوگاه (نای) راه کویری،

تصویر۱- پیکر روستای نایبند.
ماخذ: (Tabas-news.blogfa.com)

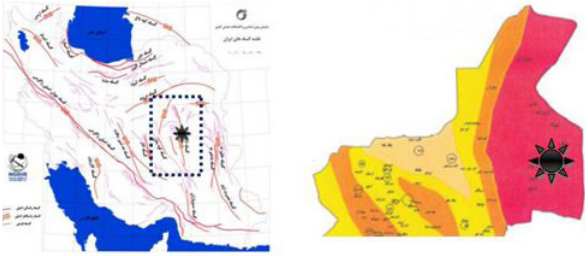
این گلوگاه را بند آورده است، از این رو نایبند نامیده می‌شود.

محل استقرار بافت و مسکن در ارتباط با دامنهٔ نسبتاً پرشیب کوه‌های نای بندان بوده و قسمتی از مساکن را دیوارهٔ طبیعی کوهستان تشکیل می‌دهد. این امر با توجه به سابقهٔ تاریخی دشت لوت که محل چپاولگران بلوچ و افغان بوده، از نظر امنیتی کاملاً توجیه‌پذیر است. در نایبند، به علت کمبود زمین، ساختمان‌های مختلف بسیار به هم فشرده می‌باشند.

سایکس (از مشاهیر خاورشناس انگلیسی) در سال ۱۳۶۳ از اولین تجربه دیدارش از روستا چنین می‌گوید: «هنگامی که به سختی از بیابان وسیع گذشتیم، منظره‌ای از دورنمایان شد که بی‌شباهت به سرزمین جن و پریان نبود! ... حقیقت این است که نگارنده هرگز چشم اندازی زیباتر و دل‌فریب‌تر از دورنمای نایبند هنگام ورود از شمال مشاهده نکرده است» (طرح بهسازی بافت با ارزش روستای نایبند، ۱۳۸۷).

ویژگی‌های لرزه‌ای نایبند

وجود گسل‌های متعدد در این منطقه به ویژه مجاورت روستا با گسل ۶۰۰ کیلومتری نایبند، از مهم‌ترین خطرات پیش روی منطقه به شمار می‌رود.



تصویر ۲- چپ: موقعیت گسل‌های اصلی در اطراف روستا. مأخذ: (سازمان زمین شناسی)، راست: نقشه پهنه بندی لرزه ای استان یزد. روستای نایبند در پرخطرترین منطقه قرار گرفته است.
مأخذ: (ادیب و دیگران، ۱۳۸۵، ۱۴)

جدول ۱- مقادیر شتاب ثقل زمین در ناحیهٔ مورد مطالعه براساس دوره‌های بازگشت متفاوت.

بیشینه شتاب ثقل زمینلرزه براساس دورهٔ بازگشت بر حسب g					دورهٔ بازگشت (سال)
خطر نسبی بالا	خطر نسبی نسبتاً بالا	خطر نسبی متوسط	خطر نسبی پایین	خطر نسبی خیلی پایین	
۰/۵-۰/۶	۰/۳۶-۰/۵۰	۰/۲۲-۰/۳۶	۰/۱۲-۰/۲۲	۰/۰۶-۰/۱۲	۲۳۰۰
۰/۴۴-۰/۵۰	۰/۳۴-۰/۴۴	۰/۲۰-۰/۳۴	۰/۱۰-۰/۲۰	۰/۰۴-۰/۱۰	۱۹۰۰
۰/۳۶-۰/۴۰	۰/۲۶-۰/۳۶	۰/۱۴-۰/۲۶	۰/۱۰-۰/۱۴	۰/۰۴-۰/۱۰	۹۵۰
۰/۲۸-۰/۳۲	۰/۲۲-۰/۲۸	۰/۱۴-۰/۲۲	۰/۰۸-۰/۱۴	۰/۰۳-۰/۰۸	۴۶۰
۰/۲۶-۰/۳۲	۰/۲۰-۰/۲۶	۰/۱۴-۰/۲۰	۰/۰۸-۰/۱۴	۰/۰۲-۰/۰۸	۴۲۰
۰/۲۰-۰/۲۴	۰/۱۶-۰/۲۰	۰/۱۰-۰/۱۶	۰/۰۴-۰/۱۰	۰/۰۲-۰/۰۴	۲۰۰

مأخذ: (ادیب و دیگران، ۱۳۸۵، ۱۴)

جدول ۲- زلزله های ثبت شده توسط ایستگاه نایبند.

ایستگاه	شماره رکورد	تاریخ ثبت	بیشینه شتاب ثقل (PGA) بر حسب m/s^2
نایبند	۳۷۸۹	۲۰۰۵/۵/۲۲	۰/۱۱
نایبند	۳۹۰۳	۲۰۰۵/۱۱/۱۳	۰/۱۶

مأخذ: (شبکه شتاب نگاری زلزله ایران، ۲۰۰۹-۱۹۷۸)

براساس مطالعهٔ انجام شده در ناحیه می‌توان مقادیری به شرح مندرج در جدول ۱ برای شتاب ثقل[1] زمین‌لرزه براساس دوره‌های بازگشت گوناگون پیشنهاد نمود. مقادیر ارائه شده در جدول ۱، به منظور طراحی سازه‌ها و محاسبات آسیب پذیری لرزه‌ای در استان یزد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همان‌گونه که در تصویر۳ مشهود است، روستای نایبند در منطقه دارای خطر نسبی بالا قرار گرفته است. به عنوان نمونه، برای دوره بازگشت ۴۶۰ سال، فعالیت گسل‌ها با بیشینه شتاب ثقل[2] بین g ۰/۲۸ تا g ۰/۳۲ (g برابر با ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه) در محدوده روستا پیش‌بینی می‌شود.

بنا بر اطلاعات اخذ شده از شبکه شتاب‌نگاری زلزله ایران (۲۰۰۹- ۱۹۷۸)، دو زمین‌لرزه در سال ۲۰۰۵ در محدوده روستا رخ داده که اولی دارای شتاب ثقل g ۰/۱۱ و دومی دارای شتاب ثقل g ۰/۱۶ بوده‌اند. جدول ۲ مشخصات شتاب ثقل زمین‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد.

آسیب پذیری های کالبدی بافت‌های تاریخی

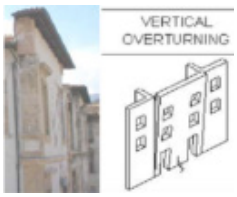
ساختمان‌های تاریخی عمدتاً با استفاده از مصالح بنایی و دیوار باربر بنا گردیده‌اند. هر چند گذشتگان تمهیداتی برای مقاومت در برابر تکان‌های زلزله اندیشیده‌اند، اما چه به لحاظ تجربی و چه به لحاظ محاسباتی، این گونه بناها همچنان آسیب‌پذیر بوده و در زلزله‌های گذشته بیشترین حجم خسارات را در مناطق شهری و روستایی به خود اختصاص داده‌اند.

یکی از روش‌های پیش بینی و تعیین خسارات وارده به بنا در اثر زلزله، استفاده از مکانیزم‌های شکست از پیش تعریف شده است. جدول ۳ انواع مختلف این مکانیزم‌ها را که در اثر ثبت شواهد زمین‌لرزه های گذشته به دست آمده‌اند، نشان می‌دهد.

مکانیزم‌ها به نوبت از بالاترین تراز بنا محاسبه می گردد و شرایط متفاوت اتصالات در تعیین آنها در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای ضروری تأثیرگذار بر شناسایی مکانیزم‌ها و وسعت رخداد آنها، به ابعاد واحدها، تناسبات دیوار، چیدمان پنجره‌ها، کیفیت اتصالات در گوشه‌ها و وضعیت سازه‌های افقی بستگی دارد. این مسئله نه تنها وسعت مشارکت دیوار جانبی در

جدول ۳- توصیف فیزیکی خسارات و مکانیزم‌های محتمل.

مکانیزم	تصویر عمومی مکانیزم	توصیف فیزیکی رخداد مکانیزم
G		تخریب سطح فوقانی پنجره، ایجاد قوس افقی در نما و ریزش مصالح به بیرون
B2		به دلیل عدم وجود کلاف و فقدان اتصال مناسب نما، دیوار شروع به جدا شدن از هر دو دیوار کناری می کند و بخشی از دیوارهای کناری نیز همراه با نما فرو می‌ریزند.

مکانیزم	تصویر عمومی مکانیزم	توصیف فیزیکی رخداد مکانیزم
C		ایجاد دو ترک قطری در اطراف گوشه‌ها و شروع ریزش گوشه‌های نما عدم اتصال مناسب دیوار به کف و سقف نیز می‌تواند از دلایل رخداد این مکانیزم باشد
E		ایجاد ترک عمودی سرتاسری در دو طرف پنجره
B_1		به دلیل تفاوت کیفیت اتصالات دیوار نما با دو دیوار جانبی در گوشه‌ها، یکی از دیوارهای جانبی همراهی بیشتری با نما در زمان فروریزش آن میکند.
A		در این وضعیت، به دلیل ضعف اتصال نما به دیوارهای جانبی در گوشه‌ها، نما از دیوارهای جانبی جدا شده (ترک عمودی) و از حالت عمودی خارج می‌گردد.
H_2		در این حالت ترک‌های قطری (خسارت درون صفحه‌ای) در محل سطوح فوقانی و تحتانی بازشوها ظاهر می‌شود.
H		در این حالت ترک‌های قطری (خسارت درون صفحه‌ای) در محل جرزهای دیوار باربر ظاهر می‌شود.

ماخذ: (D'Ayala, Esperanza , 2002, 4)

مکانیزم‌ها را تعیین می‌کند بلکه الگوی خسارت محتمل را نیز مشخص می‌نماید. زمانی که کیفیت اتصالات بلوک‌ها در گوشه‌های ساختمان مورد پیمایش مناسب باشند، بار تخریب[۳] محاسبه شده برای انواع شکست‌های A و D همواره بالا خواهد بود. در واقع نتایج نشان می‌دهند که در صورت وجود اتصال مناسب، در مقادیر پایین بار تخریب، دیوارهای جانبی ترک خواهند خورد و بخشی از این دیوارها به همراه نما همان‌گونه که در تصویر مربوط به مکانیزم‌های B_1 و B_2 نشان داده شده، واژگون خواهند گردید. رخداد هر یک از این دو مکانیزم بستگی به کیفیت اتصالات در دو گوشه نما خواهد داشت. دو پارامتر دیگر، یعنی وجود مهار یا کلاف در بنا و اتصال نما به سازه کف، جهت تعریف مکانیزم‌ها و در ارتباط با میزان بار تخریب موثر خواهند بود. وجود هر یک از این عوامل می‌بایست در تمامی ساختمان‌های تحت پیمایش به صورت مجزا بررسی گردد. وجود

تصویر ۳- وجود ترک‌های قطری در نما و دیوارهای داخلی.

یا عدم وجود عناصر استحکام بخش عاملی تعیین کننده در ایراد انواع خسارات محتمل است (D'Ayala, Esperanza , 2002, 4).

مکانیزم‌های شکست مشاهده شده در روستای نایبند

تعدادی از بناهای نایبند در اثر زمین‌لرزه سال ۲۰۰۵ خسارت دیده‌اند که با توجه به خصوصیات سازه‌ای، مکانیزم‌های مختلفی برای آنها اتفاق افتاده است. در زیر تعدادی از این بناها و آسیب‌های کالبدی وارد شده بر آنها در قالب مکانیزم‌های شکست، زاویه ترک‌ها و آسیب‌های وارده به سازه‌های افقی معرفی می‌گردد.

- ساختمان خشتی سه طبقه

این واحد مسکونی در محله گدارگوری واقع گردیده و در نمای ضلع جنوب شرقی آن آثار زلزله مشهود است. ضخامت دیوار در تراز زمین ۳۰ و در تراز بام ۲۷ سانتی متر می‌باشد. خسارات مشاهده شده در این بنا عبارتند از:

- مکانیزم H_2
- ترک‌های افقی
- ترک‌های قطری

لازم به ذکر است که ترک‌ها تا دیوارهای داخلی بنا نیز ادامه پیدا کرده‌اند و خانواده مجبور به تخلیه این قسمت از بنا شده است.

- انبار دو طبقه

این بنا در محله ته واقع گردیده و در نمای شرقی آن آثار زلزله مشهود است. ضخامت دیوار در تراز زمین ۴۰ و در تراز بام ۳۰

سانتی متر می‌باشد. خسارات مشاهده شده در نمای این بنا عبارتند از:

- مکانیزم H_2
- مکانیزم H
- مکانیزم A
- ترک‌های عمودی
- ترک‌های قطری

روش‌های ارزیابی آسیب پذیری بناهای تاریخی

روش‌های ارزیابی آسیب پذیری طی ۴۰ سال گذشته توسعه پیدا کرده‌اند. این روش‌ها رویکردهای متفاوتی برای جمع آوری و تفسیر اطلاعات دارند، هرچند هدف مشترک تمامی آنها اتخاذ رویکردی است که بتواند خسارات آتی ساختمان‌ها را پیش‌بینی کند.

به طور کلی تحلیل آسیب‌پذیری عبارت از پیش‌بینی آسیب در اثر زلزله با حداقل عدم قطعیت ممکن است. بهترین روش برای این منظور انجام تحلیل آماری بر روی نمونه‌های زیادی از بناها که در معرض عملکرد لرزه‌ای یکسانی قرار دارند، می‌باشد اما چنین حالتی به ندرت پیش می‌آید و اغلب، داده‌ها ناقص می‌باشند بنابراین می‌توان از روش‌های تحلیلی پیچیده‌تر برای برآورد دقیق‌تر آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان استفاده کرد .در جدول۴، روش‌های مختلف در قالب یک طیف نشان داده شده است.

از یک منظر، روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ابداعی به صورت تجربی (که براساس مشاهدهٔ مستقیم و نظرات کارشناسان استوار است) و تحلیلی (شامل مدل‌های تحلیلی ساده و روندهای پیچیده بر اساس رویکردهای متفاوت مهندسی)، طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌هایی که اجزایی از هر یک از دو گروه را به کار گیرد، هیبرید نامیده می‌شود.

تصویر۴- خسارت وارده به بنا.

جدول۴- روش‌های ارزیابی آسیب پذیری ساختمان‌ها.

هزینه	افزایش پیچیدگی روش ارزیابی آسیب پذیری ←				
کاربرد	مجموعه های ساختمانی			ساختمان های مجزا	
روش ها	روش عینی	اخذ نظر کارشناسی	مدل های تحلیلی ساده	روش تخصیص امتیاز	روش های تحلیلی با جزئیات کامل

ماخذ: (D'Ayala D., Novelli V., 2010, 6)

این روش‌ها همچنین براساس اندازه نمونه‌ای که روند بر آن اعمال می‌گردد، متفاوتند. در واقع روش‌های تجربی بر اساس شناخت تعداد کمی پارامتر جمع آوری شده از طریق مشاهدهٔ تعداد زیادی ساختمان عمل می‌کنند. در سوی دیگر طیف، روش‌های تحلیلی که به اطلاعات پیچیده نیاز دارند، برای تعداد کمی از ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شوند.

نتایج روش‌های تجربی، کیفی و نتایج روش‌های تحلیلی، به صورت کمی طبقه‌بندی می‌شود. نتایج کمّی توصیف دقیق‌تری از رفتار ساختمان‌های خاص ارائه می‌دهند و عموماً برای طبقه‌بندی رفتار تعداد زیادی از ساختمان‌ها که خصوصیات یکسانی در نمونهٔ انتخابی[۴] دارند، استفاده می‌شوند.

برخی از روش‌های تحلیل آسیب پذیری دارای امکاناتی چون قابلیت کاربری در مقیاس بزرگ و زمان اندک پردازش داده‌ها هستند. به عنوان مثال روش‌های - VULNUS ،FAMIVE Risk UE و SELENA برای مطالعهٔ بناها در یک بافت تاریخی ابداع گردیده‌اند. روش‌های معرفی شده در این پژوهش بر حسب شاخص‌های مقیاس تحت پوشش، نحوهٔ جمع‌آوری اطلاعات[۵]، سطح اطلاعات مورد نیاز[۶]، قابلیت اطمینان[۷]، نیازهای اطلاعاتی، حجم نمونه گیری و زمان مورد نیاز، طیف‌های پاسخ و شرایط خاک[۸]، خروجی[۹] و ضریب اطمینان[۱۰] با یکدیگر مقایسه می‌گردند. روش مناسب برای تحلیل آسیب‌پذیری یک بافت تاریخی باید بتواند:

- خصوصیات هندسی و مکانیکی ساختهٔ معماری را جمع‌آوری کند.
- خصوصیات بستر[۱۱] ساختمان را به حساب آورد.
- از حداقل قضاوت کارشناسان بهره گیرد.
- ضوابط مکانیکی را برای شناسایی جابه‌جایی مورد انتظار به کار گیرد.
- فاکتورها را برای به حساب آوردن عدم قطعیت‌های مرتبط با پاسخ ساخته‌های معماری فرموله کند.
- منحنی‌های شکنندگی[۱۲] را ترسیم و سناریوی خسارت را تعیین نماید.
- در مقیاس بافت قابلیت کاربری داشته باشد.
- اطلاعات را به وسیله‌ی مشاهده در محل با استفاده از پیمایش سیستماتیک (کمی و کیفی) جمع‌آوری کند.
- بین سناریوی خسارت به دست آمده از روش تحلیل آسیب‌پذیری انتخابی و سناریوی خسارت ساختهٔ معماری مشاهده شده در محل مقایسه ترتیب دهد.
- در مقیاس منطقه‌ای می‌بایست بین عدم قطعیت‌ها و به حداقل رساندن قضاوت کارشناسان، تعادل برقرار کند.
- مراحل محاسبات شناسایی آسیب‌پذیری لرزه ای را در زمان کوتاه به سرانجام برساند.
- به میزان ضریب اطمینان نزدیک به ۰/۸ برسد (D'Ayala D., Novelli V., 2010,43).

جدول۵، ویژگی‌های روش‌های مختلف تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای را نشان می‌دهد و آن دسته از ویژگی‌ها را که جهت کاربرد

در مقیاس بافت تاریخی مفیدند، متمایز می‌کند.

همان‌گونه که در جدول مشخص است، مابین ۱۹ روش ذکر شده در بالا، روش‌های FAMIVE و SELENA قابلیت بیشتری دارند. اما از آنجا که رویکرد غالب در روش SELENA، مهندسی و فنی می‌باشد، به نظر می‌رسد FAMIVE تنها روشی باشد که واقعاً به تمامی نیازهای روش بهینه ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس منطقه‌ای پاسخگو است. این روش پیمایش سیستماتیک را از طریق یک فرم که به پیمایشگران در جمع آوری اطلاعات کیفی برای تعداد زیادی از ساختمان‌ها کمک می کند، هدایت می‌نماید. آسیب‌پذیری‌های لرزه‌ای را در مقیاس منطقه‌ای از طریق تعیین مکانیزم‌های محتمل شکست شناسایی می‌کند و بین عدم قطعیت‌های متعلق به روش‌های کیفی (روش‌های تجربی) و عدم قطعیت‌های متعلق به روش‌های کمی (تحلیلی) تعادل برقرار می‌نماید. FAMIVE، بار تخریب، شاخص خسارت و شاخص آسیب‌پذیری بنا را به صورت کمی و آسیب‌پذیری نهایی بنا را به صورت کیفی تعیین می‌کند. از سویی دیگر، این روش با گونه‌های سازه‌ای موجود در نایبند سازگار بوده و فرم پیمایش و نتایج خروجی آن برای معماران قابل فهم است.

FAMIVE در سطح جهان از اعتبار زیادی برخوردار است به گونه‌ای که از آن جهت انجام پروژه PERPETUATE[13]، تحلیل آسیب‌پذیری در الجزایر، مرکز تاریخی رودز[14] یونان و بافت تاریخی لا آکویلا ایتالیا و همچنین به منظور ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های منطقه نوکرا[15] در آمبریا[16] در سال ۲۰۰۳، استانبول ترکیه در سال ۲۰۰۴، بافت تاریخی لاتیپور[17] نپال و بناهای تاریخی اربیل عراق بهره گرفته شده است.

انتخاب حجم نمونه مورد مطالعه در روستای نایبند

در خصوص انتخاب حجم نمونه و تعداد بناهای مورد پیمایش در روش FAMIVE تعداد ۲۰ واحد به عنوان حداقل، ۱۰۰ واحد به صورت بهینه و ۲۰۰ واحد به عنوان ظرفیت حداکثری از طرف مبتکرین آن پیشنهاد شده است. فاکتورهای تعیین‌کننده در این پژوهش عبارتند از:

- بناهای واجد ارزش‌های هنری و تاریخی
- بناهای با قابلیت کاربری در مقطع پس از سانحه
- گونه‌های ساختمانی (بر حسب طبقات و مصالح)
- بناهای دارای شواهد از زلزله‌های سابق

روش ارزیابی	کاربری در مقیاس بافت	جمع آوری سیستماتیک اطلاعات	سطح متوسط قابلیت اطمینان	بهرهگیری از قضاوت کارشناس	مقایسه خروجی با شواهد خسارت	زمان اندک پردازش	طیف پاسخ و شرایط خاک	رسیدن به ضریب اطمینان برابر ۰/۸	ضریب اطمینان
VULNUS	X	X	X		X		X	X	۰،۸۳
FAMIVE	X	X	X	X	X	X	X	X	۰،۸۳
SP-BELA	X								۰،۷۹
Tre Muri				X	X		X	X	۰،۹۲
AeDES	X	X	X		X	X			۰،۸۱
CSISMA	X	X	X	X	X	X			۰،۸۱
CSBM:Capacity Spectrum-based	X	X	X		X		X	X	۱-۰،۷۴
Hazus	X		X	X		X	X		۰،۷۹
DLANA Finete elements				X	X		X	X	۰،۹۲
Simplified Index Metod	X		X			X	X		۰،۷۹
Mechanical Model of UNIGE	X		X	X	X	X	X	X	۰،۸۷-۰،۷۴
SREMB			X	X	X			X	۰،۸۵
OTSO	X	X	X		X	X			۰،۸۱
Mechanics-Based seismic	X		X	X	X	X	X		۰،۸۱
DPM	X		X			X	X	X	۰،۷۹
Continues Vulnerability	X		X		X	X			۰،۷۴
Hybrid Methods	X		X	X		X	X		۰،۷۹
SELENA	X	X	X	X	X	X	X	X	۰،۸۳

با توجه به موارد ذکر شده و امکانات موجود در محل، تعداد ۲۱ ساختمان جهت پیمایش و ثبت اطلاعات انتخاب گردید. تصویر۶، موقعیت واحدهای برداشت شده را بر روی نقشه بافت روستا نشان می‌دهد.

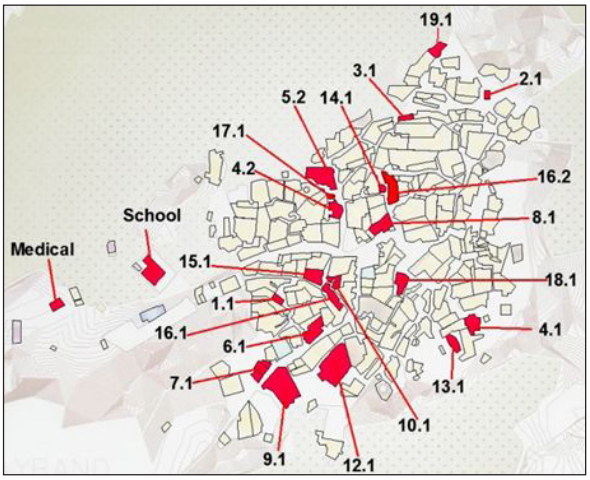
در مجموع ۳۹ نما (عمدتاً نماهای عمود بر هم) از ۲۱ ساختمان در چارچوب فرم پیمایش میدانی FAMIVE برداشت و با استفاده از نرم‌افزار Excel ثبت گردید تا تحلیل آسیب پذیری بر روی آن صورت بگیرد.

نتایج تحلیل آسیب پذیری لرزه ای[۱۸]

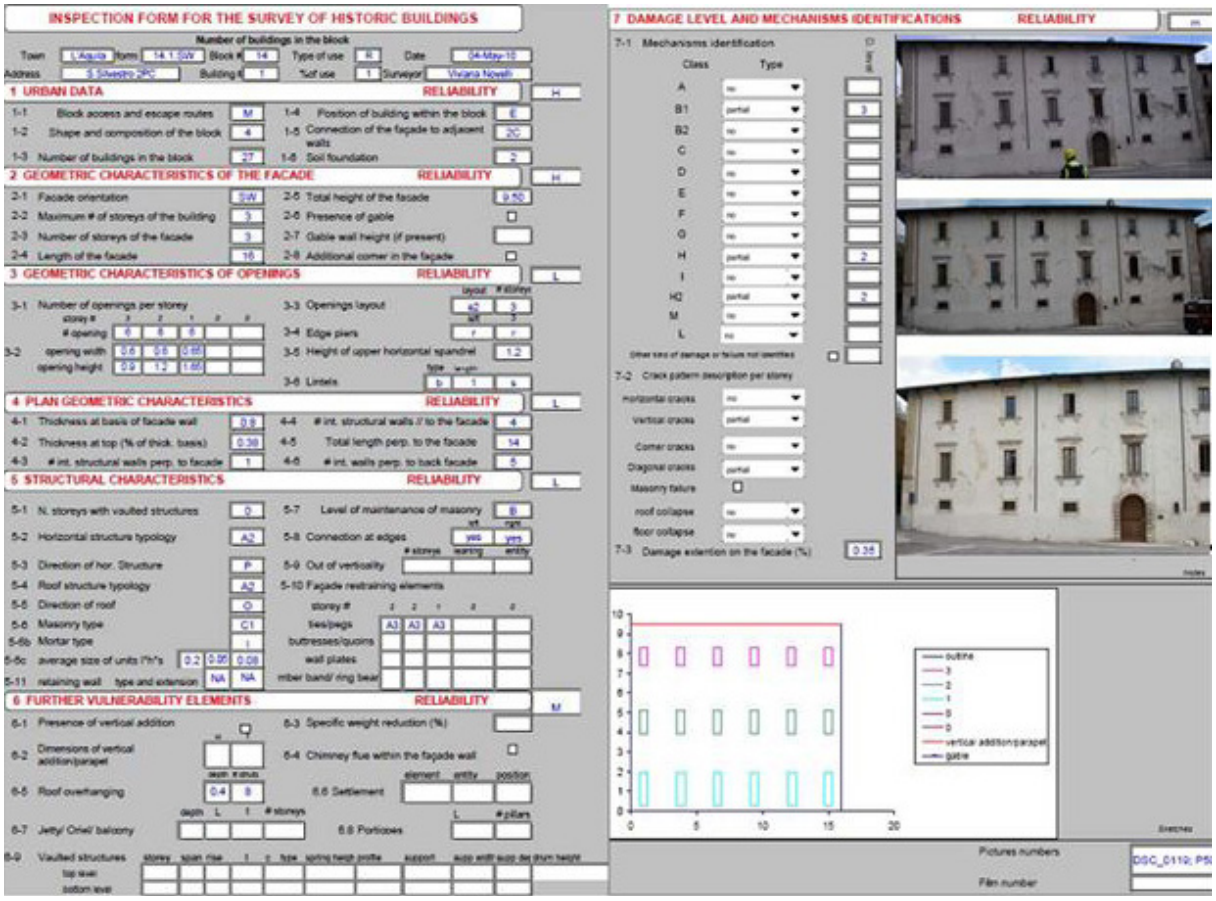
نتایج ارزیابی آسیب پذیری به صورت کمی (بار تخریب، شاخص خسارت و شاخص آسیب پذیری) و کیفی (مکانیزم‌های محتمل شکست و آسیب‌پذیری نهایی بنا) مشخص گردیده‌اند. جدول ۶ نتایج ارزیابی آسیب پذیری بناهای برداشت شده در روستای نایبند را در سه مقیاس زیر نشان می‌دهد:

آسیب پذیری کلی[۱۹]: اشاره به ضعف‌هایی دارد که در قسمت‌های مختلف بنا وجود دارند یا نماینده بخش اعظم ساختمان به عنوان نمونه، بیش از یک نما همراه با سقف‌ها و کف‌ها می‌شود بنابراین خسارت محتمل بیشترین سطح بنا را در بر خواهد گرفت.

آسیب پذیری شایع[۲۰]: در این حالت، سطح خسارت، بار تخریب و مکانیزم خسارت، هیچ‌یک بدترین یا میانگین آسیب‌پذیری ها نیستند بلکه شایع‌ترین آنها به عنوان نمونه حالتی است که به بهترین شکل نتایج محتمل را توصیف می‌کند. به عبارت دیگر، برای تعدادی دیوار، به رایج‌ترین خسارت یا خسارتی که بیشترین عواقب را در پی دارد، اشاره می کند.



تصویر۶- موقعیت واحدهای برداشت شده (شماره گذاری بر اساس موقعیت بلوک‌های ساختمانی).



تصویر۵- فرم پیمایش میدانی بناهای تاریخی در روش FAMIVE در قالب Excel (D'Ayala D., Novelli V., 2010,33) در این فرم اطلاعاتی همچون موقعیت بنا در بلوک شهری، ویژگی‌های هندسی پلان و نما، موقعیت و ابعاد بازشوها، سیستم سازهای و جهت‌گیری دیوارها، سقف و کف و ویژگی‌های الحاقات متصل به بنا توسط کاربر وارد می‌شود.

آسیب‌پذیری موضعی[۲۱]: به آسیب‌پذیرترین جز سازه‌ای بنا اشاره دارد که در آن خسارت بخش محدودی از بنا را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. این مقیاس بر ضعف موضعی بخشی از بنا که بار تخریب آن کمتر از بخش‌های دیگر است، تاکید می‌کند.

هریک از مکانیزم‌ها جهت رخداد نیاز به آستانه‌ای از تکان‌های زلزله با مقیاس درصدی از شتاب ثقل زمین دارند که درصورت رسیدن شتاب تکان‌های زلزله به این آستانه، مکانیزم شکست رخ می‌دهد. آگاهی از این آستانه‌ها برای مهندسان محاسب جهت ارائه روش‌های استحکام بخشی بهینه در بناهای تاریخی ضروری می‌باشد.

همان‌گونه که از جدول ۶ مشخص است مکانیزم D نیاز به کم‌ترین شتاب ثقل زلزله و مکانیزم‌های B_1، B_2 و H نیاز به بیشترین شتاب‌ثقل جهت فعال شدن دارند. به عبارت دیگر در اثر رخداد زلزله با شدت‌های کمتر ابتدا مکانیزم D در اغلب بناهای روستا رخ می‌دهد و با افزایش شتاب تکانه ها، مکانیزم‌های دیگر رخ می‌دهند تا جایی که ساختمان کاملاً فرو بریزد. بر اساس این روند، مکانیزم‌های شکست مورد انتظار در روستاهای نایبند به شرح زیر است:

- مکانیزم A بیشترین احتمال رخداد را بین نمونه برداشت شده دارد. به عبارت دیگر برای ۳۸ درصد نمونه‌های برداشت شده، مکانیزم غالب مورد انتظار، فروریختن نما می‌باشد.
- برای ۱۰ نمونه برداشت شده، مکانیزم B2 مورد انتظار می‌باشد. به عبارت دیگر ۲۶ درصد نمونه‌ها به دلیل ضعف اتصالات در گوشه‌ها به همراه بخشی از دو دیوار جانبی در شتاب‌های ثقل فراتر از بار تخریب فرو می‌ریزند.
- برای ۷ نمونه برداشت شده، مکانیزم D، برای ۳ نمونه مکانیزم G، برای ۲ نمونه مکانیزم E و برای ۲ نمونه دیگر مکانیزم H2 شایع می‌باشد.

شاخص‌های آسیب‌پذیری

- در مقیاس کلی، ۸۵ درصد بناها دارای سطح آسیب پذیری شدید و ۱۵ درصد بناها دارای سطح آسیب پذیری متوسط می‌باشند.
- در زمینه آسیب‌پذیری نهایی[۲۲] دیوارها، ۲۸ درصد دارای سطح آسیب‌پذیری بسیار زیاد، ۵۴ درصد زیاد و ۱۸ درصد دارای

جدول۶- نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای.

	کلی			شایع			موضعی		
شماره برداشت	آسیب‌پذیری	بارتخریب	مکانیزم‌شکست	آسیب‌پذیری	بارتخریب	مکانیزم‌شکست	آسیب‌پذیری	بارتخریب	مکانیزم‌شکست
school	MEDIUM	0.22	A	MEDIUM	0.30	H	VERYHIGH	0.09	G
Medical	HIGH	0.20	A	HIGH	0.19	C	VERYHIGH	0.08	G
19.1	HIGH	0.21	A	HIGH	0.21	B2	HIGH	0.11	G
18.1	HIGH	0.21	A	MEDIUM	0.25	B2	HIGH	0.10	G
17.1	HIGH	0.12	A	HIGH	0.09	G	VERYHIGH	0.06	D
16.2	HIGH	0.21	A	HIGH	0.24	H2	HIGH	0.11	G
16.1	HIGH	0.21	A	HIGH	0.23	B2	HIGH	0.11	G
15.1	HIGH	0.21	A	HIGH	0.07	G	HIGH	0.21	E
14.1	HIGH	0.23	B2	HIGH	0.12	G	HIGH	0.18	E
13.1	HIGH	0.17	A	HIGH	0.24	H2	HIGH	0.13	G
12.1.n				HIGH	0.22	A	HIGH	0.13	G
10.1	HIGH	0.18	B2	MEDIUM	0.28	H2	HIGH	0.10	G
9.1	MEDIUM	0.28	A	MEDIUM	0.26	H2	HIGH	0.21	E
8.1.w				HIGH	0.20	B2	HIGH	0.10	G
7.1.s				HIGH	0.19	A	HIGH	0.10	G
6.1	HIGH	0.20	A	HIGH	0.19	E	HIGH	0.13	G
5.2.E				HIGH	0.16	H2	HIGH	0.15	G
4.2	HIGH	0.20	B2	HIGH	0.18	H2	HIGH	0.12	G
4.1	HIGH	0.14	A	HIGH	0.14	B2	VERY HIGH	0.06	D
3.1	HIGH	0.13	A	MEDIUM	0.25	H2	VERY HIGH	0.06	D
2.1	HIGH	0.18	B2	HIGH	0.20	H2	HIGH	0.18	E
1.1.s				HIGH	0.17	A	VERY HIGH	0.07	D

جدول۷- بار جانبی مورد نیاز برای رخداد هر یک از مکانیزم‌ها بر حسب شتاب ثقل زمین (g).

شماره ساختمان و جهت‌گیری	A	B1	B2	C	D	E	G	H	H2	I
school_w	0.24	0.32	0.32	0.20	0.23	0.25	0.08	0.30	0.30	---
school_n	0.20	0.32	0.32	0.20	0.15	0.20	0.10	0.30	0.31	---
Medical n	0.22	0.30	0.31	0.19	---	0.23	0.08	0.30	0.27	---
Medical w	0.17	0.31	0.31	0.19	---	0.17	0.08	0.30	0.30	---
19.1.S	0.20	0.25	0.25	0.19	---	---	0.11	0.27	0.27	---
19.1.w	0.23	0.17	0.16	0.19	---	---	0.10	0.30	0.20	---
18.1.s	0.21	0.21	0.20	0.19	---	---	0.10	0.30	0.27	0.51
18.1.e	0.20	0.29	0.29	0.19	---	0.19	0.09	0.28	0.30	0.51
17.1.e	0.17	0.18	0.18	0.18	0.08	---	0.07	0.30	0.25	---
17.1.s	0.07	0.24	0.24	0.18	0.05	---	0.11	0.27	0.28	---
16.2.se	0.18	0.26	0.27	0.20	---	0.17	0.11	0.25	0.20	---
16.2.w	0.25	0.29	0.29	0.21	---	---	0.10	0.30	0.27	0.49
16.1.se	0.18	0.26	0.27	0.20	---	0.17	0.11	0.25	0.20	---
16.1.Ne	0.25	0.20	0.18	0.20	---	0.21	0.11	0.30	0.26	---
15.1.s	0.25	0.30	0.30	0.19	---	0.25	0.06	0.30	0.25	---
15.1.e	0.17	0.30	0.30	0.19	---	0.17	0.08	0.30	0.30	---
14.1.se	0.20	0.19	0.19	0.19	---	0.20	0.10	0.30	0.27	---
14.1.ne	0.23	0.28	0.28	0.19	---	0.15	0.13	0.27	0.21	---
13.1.w	0.20	0.28	0.28	0.19	---	0.18	0.15	0.25	0.21	---
13.1.n	0.15	0.27	0.28	0.19	---	0.16	0.11	0.23	0.28	---
12.1.n	0.22	0.23	0.24	---	---	0.19	0.13	0.20	0.17	---
10.1.n	0.27	0.22	0.19	0.20	---	0.21	0.11	0.30	0.27	---
10.1.e	0.22	0.19	0.17	0.20	---	0.20	0.08	0.30	0.29	---
9.1.w	0.29	0.29	0.29	0.23	---	0.26	0.07	0.30	0.29	0.51
9.1.s	0.27	0.29	0.29	0.23	---	0.16	0.12	0.29	0.22	0.51
8.1.w	0.25	0.21	0.20	0.19	---	0.23	0.10	0.30	0.20	0.49
7.1.s	0.19	0.39	0.39	0.27	---	0.18	0.10	0.30	0.30	---
6.1.w	0.22	0.22	0.22	0.20	---	0.20	0.15	0.30	0.21	---
6.1.s	0.18	0.19	0.19	0.20	---	0.17	0.10	0.30	0.23	---
5.2.E	0.28	0.29	0.29	0.21	---	0.22	0.15	0.25	0.16	---
4.2.sw	0.23	0.18	0.15	0.20	---	0.19	0.09	0.30	0.22	---
4.2.SE	0.32	0.25	0.25	0.20	---	0.27	0.14	0.22	0.13	---
4.1.s	0.15	0.15	0.17	0.19	0.07	0.17	0.13	0.18	0.18	---
4.1.e	0.13	0.13	0.15	0.19	0.06	0.16	0.13	0.18	0.20	---
3.1.N	0.08	0.41	0.41	0.34	0.06	0.12	0.14	0.30	0.20	---
3.1.e	0.17	0.31	0.32	0.34	0.07	0.19	0.08	0.30	0.30	---
2.1.s	0.25	0.20	0.17	0.27	---	0.18	0.12	0.30	0.20	0.51
2.1.e	0.34	0.23	0.18	0.27	---	0.18	0.19	0.26	0.21	0.51
1.1.s	0.17	0.38	0.38	0.27	0.07	0.13	0.18	0.30	0.18	0.60

سطح آسیب پذیری متوسط می‌باشند.
- میانگین شاخص آسیب‌پذیری[۲۳] دیوارها مقدار ۸/۰۸ می‌باشد که بیشترین آنها ۲۱/۶۳ و کم‌ترین آنها ۳/۴۵ است.
- میانگین شاخص خسارت[۲۴] دیوارها مقدار ۱/۲۲ می‌باشد که بیشترین آنها ۱/۵ و کم‌ترین آنها ۰/۶۳ است.

تاب‌آوری بناها در برابر زمین‌لرزه‌های مختلف

- با همپوشانی نتایج به دست آمده از روش FAMIVE و داده‌های استخراج شده از نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای استان یزد مشخص می‌گردد که ۹۶ درصد بناها در برابر زلزله‌های با دوره بازگشت بیش از ۴۶۰ سال و ۷۸ درصد بناها در برابر زلزله‌های با دوره بازگشت بیش از ۲۰۰ سال تخریب خواهند شد.

بار تخریب

- میانگین بار تخریب بناها در مقیاس کلی، ۰/۱۹ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. به عبارت دیگر در صورت رخداد زلزله با شتاب ثقل g ۰/۱۹ بناهای برداشت شده آسیب جدی خواهند دید. این مقدار در مقیاس شایع برابر ۰/۲ و در مقیاس موضعی برابر ۰/۱۲ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. همچنین میانگین بار تخریب بناهای برداشت شده برابر g ۰/۱۶ است. لازم به ذکر است که میانگین بار تخریب بناهای خشتی و آجری در مقیاس کلی به ترتیب g ۰/۱۸ و g ۰/۲۱ می‌باشد.

تعیین سطوح مداخله

افزایش مقاومت یک سازه لزوماً به معنی افزایش عملکرد آن سازه در برابر زلزله نخواهد بود بلکه گاه می‌توان بدون افزایش مقاومت سازه و با اصلاح بعضی پارامترهای دیگر، عملکرد بهتر و ایمن‌تری از سازه در برابر زلزله بدست آورد. به منظور تعیین عملکرد سازه، روش طراحی جدیدی به نام «روش طراحی بر اساس عملکرد» ابداع شد. در این روش ضمن معرفی و تعیین سطح عملکردی که از سازه در برابر زلزله، بسته به درجه اهمیت سازه و اقتصاد مسأله انتظار خواهیم داشت، مقدار نقطه عملکرد سازه را بدست آورده و ضمن مقایسه با مقادیر مجاز، خسارت احتمالی سازه را در برابر زلزله پیش بینی می‌کنیم (کرامتی و آل‌رسول، ۱۳۸۳، ۴). استفاده از این روش در طراحی ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های حیاتی که پس از زلزله قادر هستند با ارائه خدمات ویژه نقش بسزایی در مدیریت بحران داشته باشند مانند بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، آتش نشانی‌ها، ساختمان‌های انتظامی و مراکز اورژانس، مدیر بحران را قادر می‌سازد در کوتاه مدت به مهار بحران و یا به تعادل رساندن شرایط بپردازد. در مورد بناهایی که انسان در آنها حضور دارد، اهداف زیر به صورت کلی پیشنهاد می‌گردد:
ـ مقامت در برابر زلزله‌های خفیف، بدون خسارت
ـ مقاومت در برابر زلزله‌های متوسط با خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای جزئی
ـ مقاومت در برابر زلزله‌های بزرگ با خسارت قابل ملاحظه به اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای اما با احتمال اندك برای به خطر افتادن ایمنی جانی
ـ مقاومت در برابر سطوح شدید زلزله که احتمال وقوع آن وجود دارد، بدون فروریزش

هر سطح عملکرد، شرایطی را جهت محدود کردن ماکزیمم خسارت وارد به سازه، در اثر یك زمین‌لرزه معین ارائه می‌نماید. سطوح عملکرد به صورت کمّی در مدارک مختلف ازجمله، پروژه Vision 2000 (SEAOC ,1995) و راهنمای NEHRP (FEMA,1997) تعریف شده است. مدارک فوق روند مشابهی را برای تعیین عملکرد ساختمان توسعه داده‌اند گرچه از اصطلاحات متفاوتی استفاده کرده‌اند. جدول ۸، خلاصه‌ای از سطوح عملکرد تعریف شده، در این مدارك می‌باشد.

هرچه سطح هدف عملکردی بالاتری برای یک بنا در نظر گرفته شود، میزان مداخله کالبدی در آن افزایش خواهد یافت. بنابراین لازم است این سطوح با توجه به میزان اهمیت بنا به صورت بهینه تعریف گردند. به عنوان مثال سطح عملکردی عملیاتی[۲۵] برای بناهای باارزش در نظر گرفته نمی‌شود چرا که ماهیت بنا در جریان مقاوم سازی تغییر پیدا می‌کند.

شناسایی اولویت‌ها در فرایند ایمن سازی

بناهای موجود در بافت‌های تاریخی واجد خصوصیات و کیفیات متفاوتی می‌باشند که این ویژگی‌ها می‌بایست جهت تعیین اولویت‌ها مورد توجه قرار بگیرند. در این روستا، علاوه بر بناهای باارزش، ساختمان‌های دیگر خصوصی و دولتی نظیر خانه بهداشت، مدرسه و بناهای نوساز نیز وجود دارند که علاوه بر حضور انسان‌ها در آنها ممکن است در مقاطع قبل، حین و پس از سانحه دارای پتانسیل‌های امدادرسانی و خدمات دهی باشند و می‌بایست در فرایند تصمیم سازی به حساب آیند. با تعریف فرایند ایمن سازی به صورت جامع و هدفمند، ابهامات در مورد تصمیم‌گیری در زمینه آینده سکونتگاه‌ها برطرف می‌شود.

پیرو مطالعات صورت گرفته، معیارهای زیر عواملی هستند که از طرف گروه‌های تخصصی کشورهای مختلف برای تعیین اهمیت بناها جهت مقاوم سازی پیشنهاد گردیده‌اند و می‌بایست در فرایند استحکام بخشی با توجه به محدود بودن منابع و امکانات، تاکید بیشتری بر روی آن‌ها صورت بگیرد. جدول۹، به صورت خلاصه این عوامل را فهرست می کند.

نتایج تحلیل شناخت اولویت‌های استحکام بخشی

پس از مطالعه تجربیات کشورها، در نهایت شاخص‌های وضعیت ثبت، نحوه مالکیت، پتانسیل کاربری در مقطع پس

از سانحه، ارزش‌های تاریخی و هنری به نسبت منطقه، تعداد ساکنین، ساعات اشغال، کاربری و طبقات جهت تعیین اولویت‌ها انتخاب گردیدند و با انجام تکنیک مصاحبه دلفی و نظرخواهی از اساتید صاحب نظر، به هر یک از این پارامترها و زیر پارامترهای مربوطه وزن داده شد و در نهایت اولویت‌ها از طریق انجام تحلیل GIS مشخص گردیدند.

در ادامه با دسته‌بندی بناها به لحاظ میزان اهمیت با مراجعه به نقشه‌ها و تطابق ارزش هر یک از دسته‌ها با کالبد موجود در بافت، بناهای روستا در ۴ دسته قرار گرفتند. تصویر زیر بناهای موجود در هر یک از ۴ دسته و مقدار ارزش هر دسته بین ۰ تا ۱۰۰ را بر روی نقشه روستا نشان می‌دهد. لازم به ذکر است از بین مقادیر صفر تا ۱۰۰، کم‌ترین اهمیت مربوط به یک ساختمان آجری نوساز با ارزش ۴۳ و بیشترین اهمیت مربوط به مدرسه ابتدایی و خانه بهداشت با ارزش ۵۵/۶ می‌باشد.

دسته اول: بناهای موجود در این دسته (ارزش ۵۴/۰۶ تا ۵۵/۶۰) به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول آثار تاریخی موجود در روستا هستند که همگی از خشت بنا گردیده‌اند. گروه دوم بناهای دارای پتانسیل خدمات رسانی در مقطع پس از سانحه شامل خانه بهداشت و مدرسه ابتدایی سه کلاسه است که بیشترین میزان اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند.

دسته دوم: عمده بناهای موجود در این دسته (ارزش ۵۱/۳۰ تا ۵۴/۰۶) را سازه‌های خشتی دارای ارزش بالا تشکیل می‌دهند. تصویر زیر تعدادی از بناهای موجود در این دسته را نشان می‌دهند.

جدول ۸- تعریف سطوح عملکرد لرزه‌ای.

سطح هدف عملکردی		کارایی مورد انتظار در زلزله	حیطه کار تقویتی
راهنمای NEHRP	Vision 2000		
Operational	Fully Functional	هیچ خسارت قابل ملاحظه‌ای به اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای وارد نشده است. ساختمان برای استفاده و سکونت مناسب است.	بازسازی کامل
Immediate Occupancy	Operational	خسارت زیاد به اعضای سازه‌ای وارد نشده است و این اعضا تقریباً تمام مقاومت و سختی پیش از زلزله خود را دارا هستند. اجزای غیر سازه‌ای ایمن هستند و بیشتر آنها کارایی خود را دارند. ساختمان برای اهداف مورد نظر قابل استفاده می‌باشد.	در اغلب موارد چارچوب‌های سازه‌ای جدید
Life Safety	Life Safe	خسارت قابل توجه و افت اساسی در سختی اعضای سازه‌ای پدید آمده است، لیکن هنوز حاشیه امنی تا فروریزش باقی است. اعضای غیر سازه‌ای ایمن هستند اما ممکن است قابل استفاده نباشند. ممکن است امکان استفاده از ساختمان قبل از تعمیر وجود نداشته باشد.	معایب ذاتی از قبیل اتصال نامناسب کف به چارچوب دیوار و دیوارهای مصالح بنایی اصلاح خواهند شد.
Collapse Prevention	Near Collapse	خسارت زیادی به اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای وارد آمده است . مقاومت و سختی اعضای سازه‌ای به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است. حاشیه کمی تا فرو ریزش باقی است. خطر ریزش قطعات وجود دارد.	مهاربندی و کلاف کردن اجزای آسیب پذیر بنا (به عنوان نمونه جان‌پناه، دودکش ها و مسیرهای تخلیه)

جدول۹- عوامل تعیین کننده اهمیت بناها که از طرف گروه‌های مختلف پیشنهاد شده‌اند.

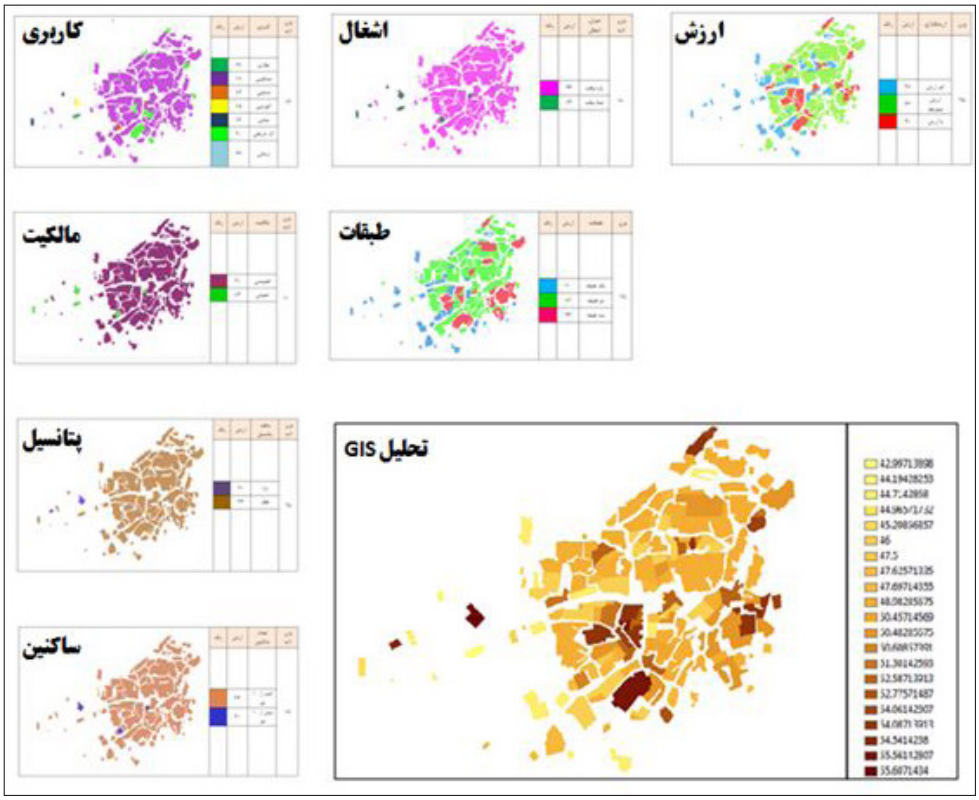
جامعه مهندسان زلزله نیوزیلند	دپارتمان ساختمان سازی نیوزیلند	پروژه PERPETUATE (کمیسیون اروپا)
اندازه ساختمان	اهمیت بنا در اجتماع، از قبیل بیمارستان‌ها و مدارس	درصد اشغال بنا (میزان حضور انسان)
پیچیدگی ساختمان	اندازه ساختمان	ارزش فرهنگی و تاریخی ساختمان
موقعیت ساختمان در ارتباط با دیگر نهادها، فضاهای عمومی و مخاطرات طبیعی	سطح کاربری همچون تعداد دفعات اشغال بنا و تعداد نفراتی که از آن استفاده می‌کنند	وجود آثار هنری در ساختمان
میزان حضور مردم در ساختمان	واقع شدن در کنار بزرگراه	
نفراتی که زمان را در محدوده اطراف ساختمان سپری می‌کنند	موقعیت، همچون واقع شدن در مناطق پرجمعیت مرکز شهر	
کاربری	سن بنا	
طول عمر مورد انتظار برای بنا		
موضوعات مورد نظر مسئولان منطقه		

دسته سوم: عمده بناهای موجود در این دسته (ارزش ۴۷/۶۹ تا ۵۱/۳۰) را سازه‌های خشتی دارای ارزش متوسط و کم و آن دسته از بناهای آجری که با ارزش تشخیص داده شده‌اند، تشکیل می‌دهند. تصویر۱۱، تعدادی بناهای موجود در این دسته را نشان می‌دهند.

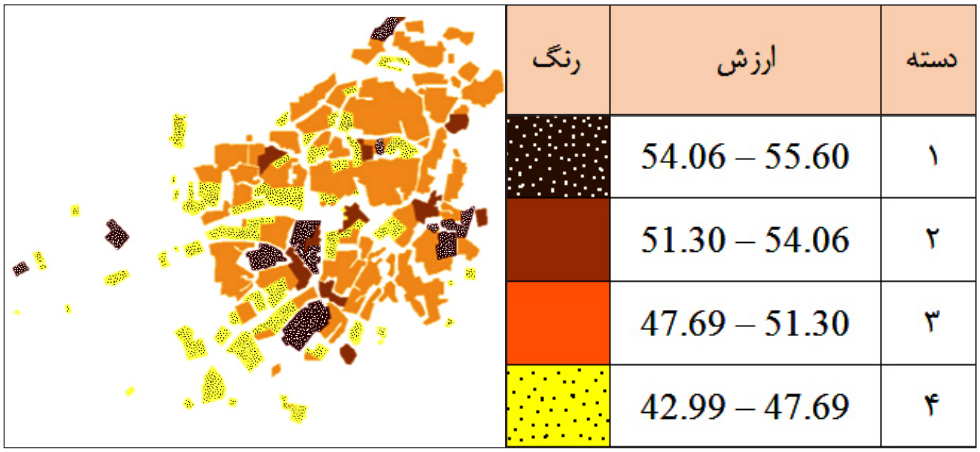
دسته چهارم: عمده بناهای موجود در این دسته (ارزش ۴۲/۹۹ تا ۴۷/۶۹) را سازه‌های آجری نوساز که اکثراً در ۲۰ سال اخیر ساخته شده‌اند، تشکیل می‌دهند. طبق مشاهدات میدانی پژوهشگر، هرچند که این بناها دارای ارزش تاریخی و هنری نیستند، سازندگان آنها حتی الامکان تلاش نموده‌اند تا نماها با بافت اصلی نایبند سازگار باشد.

تخصیص سطوح هدف عملکردی

در این بخش سطح هدف عملکرد لرزه‌ای مطلوب جهت هر یک از دسته‌های معرفی شده در بخش شناخت اولویت‌های مقاوم سازی روستا با توجه به ویژگی‌های بناهای موجود در هر دسته انتخاب می‌گردد. در نمودار۱، محور عمودی نشان‌دهنده میزان اهمیت بنا در فرایند مقاوم سازی و محور افقی نماینده سطوح هدف عملکردی لرزه‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به دیدگاه‌های مدیریتی، چشم انداز برنامه مقاوم سازی، تغییر کاربری‌های در نظر گرفته شده برای بنا، این سطوح قابل تغییر است. از آنجا که انتخاب دقیق دوره بازگشت زلزله



تصویر۷- لایه‌های مختلف اطلاعاتی و نتیجه تحلیل همپوشانی آنها.



تصویر۸- نقشه دسته بندی بناهای روستا بر حسب اهمیت در فرایند مقاوم سازی.

تجویز شده مستلزم انجام تحلیل هزینه - فایده است و چون تاکنون هیچ برنامه و بودجه‌ای از طرف نهادهای بالادستی جهت استحکام بخشی روستای نایبند تعریف نشده، لذا سعی می‌گردد سطوح عملکردی با توجه اطلاعات موجود و عملکرد در نظر گرفته شده برای بناها در مقطع قبل، حین و بعد از سانحه انتخاب گردند. هدف عملکردی برای هر یک از دسته‌ها به صورت دایره در نمودار نشان داده شده است. محل دایره، مکان تلاقی خط سطح هدف عملکردی با خط اهمیت دسته می‌باشد. اهداف عملکردی پیشنهادی در اینجا برای سطح خطر یک، زلزله با احتمال رخداد ۱۰ درصد در ۵۰ سال و به عبارت دیگر دوره بازگشت ۴۷۵ سال (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵، ۸) پیشنهاد گردیده‌است.

سطوح عملکردی پیشنهادی در اینجا از راهنمای NEHRP برگرفته شده‌اند که در آن چهار سطح پیشنهاد گردیده است.

تصویر۹- تعدادی از بناهای موجود در دسته اول.

تصویر۱۰- تعدادی از بناهای موجود در دسته دوم.

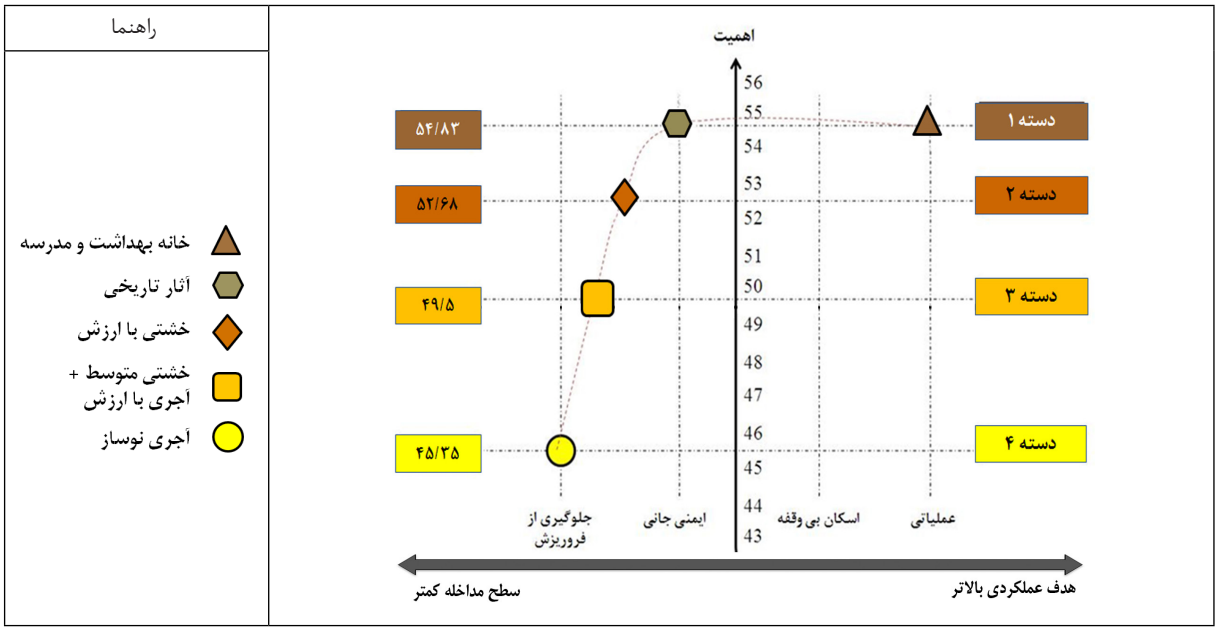
تصویر۱۱- تعدادی از بناهای موجود در دسته سوم.

تصویر۱۲- تعدادی از بناهای موجود در دسته چهارم.

لازم به ذکر است که این سطوح، مرز مشخصی با یکدیگر ندارند و در واقع به صورت طیف تعریف می‌شوند. در نمودار سطح هدف عملکردی عملیاتی برای بناهای دارای پتانسیل خدمات رسانی در مقطع پس از سانحه یعنی مدرسه و خانه بهداشت متعلق به دسته اول انتخاب گردیده است. از آنجا که این ساختمان‌ها هیچ‌گونه ارزش تاریخی ندارند، می‌توان در آنها تا رسیدن به سطح عملیاتی مداخله صورت داد. در اثر انتخاب سطح عملیاتی، هیچ خسارت قابل ملاحظه‌ای به اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای وارد نمی‌شود و ساختمان برای استفاده و سکونت مناسب خواهد بود. در مورد دیگر بناهای موجود در این دسته یعنی آثار تاریخی، از آنجا که حفظ بافت اصلی بنا یکی از مهم‌ترین اولویت‌ها در فرایند مقاوم‌سازی است و مداخله در آنها می‌بایست به صورت حداقلی صورت بگیرد، لذا سطح ایمنی جانی پیشنهاد گردیده است. در این سطح، خسارت قابل توجه و افت اساسی در سختی اعضای سازه‌ای پدید خواهد آمد لیکن هنوز حاشیه امنی تا فروریزش باقی است. اعضای غیرسازه‌ای ایمن هستند اما ممکن است قابل استفاده نباشند. امکان استفاده از ساختمان قبل از تعمیر اندک خواهد بود.

در مورد بناهای موجود در دسته دوم یعنی خانه‌های خشتی دارای ارزش زیاد و دسته سوم شامل خانه‌های خشتی با ارزش متوسط و بناهای آجری با ارزش، سطحی بین ایمنی جانی و جلوگیری از فروریزش پیشنهاد گردیده است. در این صورت، کلیت سازه و جان ساکنان حفظ خواهد گردید.

بناهای موجود در دسته چهارم ساختمان‌های آجری نوساز هستند که هیچ‌گونه ارزش تاریخی ندارند. با توجه با محدودیت در بودجه و امکانات طرح‌های مقاوم سازی، سطح هدف عملکردی جلوگیری از فروریزش برای این دسته پیشنهاد گردیده است. با انتخاب این سطح در جریان زلزله، خسارت زیادی به اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای وارد خواهد شد و مقاومت و سختی اعضای سازه‌ای به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا خواهد کرد. در این حالت، حاشیه کمی تا فرو ریزش باقی می‌ماند و خطر ریزش اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای وجود خواهد داشت.



نمودار۱- سطوح هدف عملکردی لرزه ای پیشنهادی برای زمین‌لرزه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال.

نتیجه

فرایند پیشنهادی در این مقاله، دارای ماهیت نرم افزاری بوده و به جای ایده‌آل گرایی، واقع‌گرایی، به جای هزینه‌های زیاد، انجام هزینه‌های مقرون به صرفه و به جای پیشگیری صرف از بروزآسیب‌های فیزیکی، پیشگیری از بروزآسیب‌های سیستمی و عوارض ثانویه را در پیش گرفته و در پی حفظ هویت تاریخی بناها با توجه به اهمیت و ارزش آنها است.

یافته‌های تحلیل آسیب‌پذیری با استفاده از روش FAMIVE با توجه به نقشه پهنه‌بندی روستا، لزوم سیاست‌گذاری در زمینه مقاوم‌سازی روستا و همچنین توجه به آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی موجود در کشور را اثبات می‌نماید. بناهای موجود در روستا واجد خصوصیات و کیفیات متفاوتی هستند که این ویژگی‌ها جهت تعیین اولویت‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. به عنوان نمونه، علاوه بر بناهای باارزش، ساختمان‌های دیگر خصوصی و دولتی نیز وجود دارند که در مقاطع قبل، حین و پس از سانحه دارای پتانسیل‌های امدادرسانی و خدمات‌دهی می‌باشند و از این رو در فرایند تصمیم سازی به حساب آمدند.

موضوع مهم دیگر در فرایند ایمن سازی لرزه ای بافت‌های تاریخی، انتخاب شایسته و روشمند سطوح مداخله کالبدی بود که با توجه به میزان اهمیت بناها، اولویت‌های مقاوم سازی، آسیب‌پذیری‌های استخراج شده از روش تحلیل آسیب پذیری و چشم انداز در نظر گرفته شده برای بناها، سطوح هدف عملکردی مناسبی برای آنها انتخاب گردید.

اجرای فرایند ایمن سازی بافت تاریخی، مستلزم فراهم بودن بستر آن است. جهت شناخت بستر مقاوم سازی نیاز به شناسایی نقاط قوت و ضعف موجود در بافت و فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی آن و ساکنین می‌باشد. بافت تاریخی تنها در سازمان کالبدی آن خلاصه نمی‌گردد، بلکه ساکنین آن نیز بخش مهمی از هویت و غنای فرهنگی و تاریخی آن را شکل می‌دهند؛ لذا توجه به عوامل انسانی در کنار عوامل کالبدی شیوه‌های نوینی را در استحکام بخشی بافت‌های تاریخی به وجود می‌آورد که از آن جمله لزوم استفاده از مشارکت ساکنین در روند مداخله در بافت است. از این رو شناخت صحیح از مشارکت، مزایا و محدودیت‌ها و نیز بسترهای لازم برای افزایش مشارکت، توان مالی و فنی مردم، اختلافات قومی و نژادی، میزان همیاری در روستا، هزینه‌های ساخت و ساز و میزان رضایت مردم از مسکن فعلی قبل از هر اقدامی در مورد بافت‌های تاریخی ضروری می‌باشد. بدون مشارکت فعال ساکنین، استحکام بخشی این بافت‌ها با موفقیت همراه نخواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

۱ شتاب ناشی از زمین‌لرزه که به صورت درصدی از شتاب ثقل زمین ($g=9.8\ m/s^2$) بیان می‌گردد و در مباحث طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله از این پارامتر بهره گرفته می‌شود.

2 Peak Ground Acceleration.

3 Collapse Load Factor.

4 Sample.

۵ نحوهٔ جمع آوری اطلاعات بر حسب مشاهده بصری در سایت، پیمایش سیستماتیک (کمی و کیفی)، پیمایش همراه با اندازه‌گیری در خصوص بناهای خاص و تست‌های درجا و آزمایشگاهی طبقه‌بندی می‌گردد.

۶ سطح اطلاعات مورد نیاز برای روش‌ها شامل ضروری (در حالتی که اطلاعات ورودی برای عملکرد روش ضروری می‌باشند)، تکمیلی (در حالتی که دقت خروجی روش را افزایش می‌دهند) و معتبر (در حالتی که دقت خروجی و روش قابلیت اطمینان آن را افزایش می‌دهند) می‌شود.

۷ قابلیت اطمینان توسط کمیت و کیفیت اطلاعات به دست آمده از ساختمان‌های پیمایش شده (گونه شناسی، مصالح، فرم، ابعاد و جزئیات ساختمانی) تعیین می‌گردد. برای بافت‌های تاریخی نظر به این واقعیت که هدف، ارزیابی مجموعه‌های پیچیده است و به دست آوردن سطح بالای اطمینان در جمع آوری اطلاعات به سادگی مقدور نیست به همین دلیل بهینه‌ترین حالت برای پروژه، رسیدن به سطح متوسط قابلیت اطمینان با کاهش عدم قطعیت‌ها از اطلاعات جمع آوری شده به روش مشاهده‌ای و پیمایش‌های سیستماتیك و به وسیله برقراری تعادل بین زمان و هزینه حاصل می‌شود.

۸ در ارزیابی صورت گرفته در مقیاس منطقه‌ای باید به این نکته توجه داشت در زمان رخداد زلزله، اثر متقابل اجزای سازه‌ای و خاك بستر بر یکدیگر در نظر گرفته شود. برخی از روش‌های ارزیابی با فرض اینکه خاك بستر مستحکم‌تر از خود سازه است، اثر آن را نادیده می‌گیرند.

۹ خروجی روش‌ها بستگی به نحوه‌ی ارزیابی روش دارد. اگر روش متعلق به رویکردهای کیفی (تجربی) باشد، نتیجه آن به صورت کلاس‌های خسارت (Damage Classes) بیان می‌گردد. در حالتی که رویکرد کمی (تحلیلی) باشد، خروجی آن به صورت نیروی جانبی یا جابه‌جایی جانبی (Lateral Force/Lateral Drift) ارائه می‌شود.

۱۰ ضریب اطمینان روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بر حسب میزان جزئیات ثبت شده از اجزای سازه‌ای ساختمان‌های تحت پیمایش، خصوصیات مصالح و در نظر گرفتن تأثیر بارهای وارده بر زمین و عکس‌العمل خاک تعیین می‌گردد. هرچه میزان جزئیات برداشت شده بیشتر باشد (نظیر مدل‌سازی‌های کامپیوتری) از یک سو ضریب اطمینان روش بالاتر می‌رود و از سوی دیگر بر زمان جمع آوری اطلاعات افزوده می‌گردد و بنابراین به‌کارگیری روش در مقیاس بافت مناسب نمی‌باشد.

11 Soil.

12 Fragility Curves.

۱۳ تصویب شده از طرف کمیسیون اروپا جهت حفاظت بافت‌های تاریخی اروپا و حوزه دریای مدیترانه

14 Rhodes.

15 Nocera .

۱۶ Umbria (نام منطقه‌ای در کشور ایتالیا).

17 Latipur.

۱۸ فرم‌های پیمایش میدانی در قالب فایل‌های Excel برای مبتکران روش FAMIVE ، دکتر Dana D'Ayala و دکتر Viviana Novelli از اساتید محترم دانشگاه Bath انگلستان ایمیل گردید و ایشان نتایج تحلیل آسیب‌پذیری را استخراج و ارسال نمودند.

19 Global.

20 Prevalent.

21 Local.

22 Final Vulnerability.

23 Vulnerability Index.

24 Damage Index.

25 Operational.

فهرست منابع

ادیب، احمد و فاطمی عقدا، سید محمود و مهرنهاد حمید (۱۳۸۵)، *نقش پهنه بندی لرزه ای در توسعه استان یزد*، اولین همایش ملی مدیریت بحران زلزله در شهرهای دارای بافت تاریخی، یزد.

بنیاد مسکن انقلاب اسلامی یزد (۱۳۸۷)، *طرح بهسازی بافت باارزش روستای نایبند*، یزد.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۵)، دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰، ص۸.

کرامتی ابوالقاسم وآل رسول، سهیل (۱۳۸۳)، *مقایسه روش‌های طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد*، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

D'Ayala D., Novelli V. (2010), *DELIVERABLE D8: Review and validation of existing vulnerability displacement-based models*, University of Bath.

D'Ayala, D., Speranza, E. (2002), *An Integrated Procedure For The Assessment Of Seismic Vulnerability Of Historic Buildings*, Department

SEAOC (1995), Vision 2000 – *A Framework for Performance Based Earthquake Engineering*, Vol 1, SEAOC Vision 2000 Committee, California.

Tabas-news.blogfa.com

of Architecture and Civil Engineering, University of Bath.

FEMA (1997), *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Doc. No. 273, Washington.