



بهسازی لرزه‌ای بنای تاریخی مسجد جامع سمنان

علیرضا مرتضایی¹، علی خیرالدین²

1- دانشجوی دکترای سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان

2- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان

Email: mortezaei90@yahoo.com

چکیده

بناهای تاریخی به عنوان یک میراث معماری به سبب جنبه های اقتصادی و فرهنگی یکی از ابعاد کلیدی برای جوامع مدرن محسوب می شوند. در هزاره سوم، علاوه بر سوابق تاریخی، صنعت گردشگری یک صنعت اصلی خواهد بود و وجود بناهای تاریخی و ماندگار اغلب به عنوان یک جاذبه اصلی شهرها یا کشورها محسوب می شوند.

بنای تاریخی مسجد جامع سمنان، در قرون اولیه هجری قمری بر روی خرابه های آتشکده ساسانی احداث گردید. این بنا در دوره های مختلف تغییراتی نمود و قسمت هایی به آن الحاق گردید. در حال حاضر این بنا از گنبد، ایوان و یک مناره به ارتفاع 31/5 متر تشکیل شده است. این بنا در شهر سمنان و در مرکز بافت قدیم این شهر واقع شده است. با توجه به آنکه استان سمنان یکی از استانهای لرزه خیز ایران و با خطر نسبی زلزله زیاد و خیلی زیاد می باشد، لذا به دلیل وجود گسله های متعدد در این منطقه و همچنین اهمیت این بنا از لحاظ تاریخی، فرهنگی و گردشگری، بهسازی لرزه ای این بنا یکی از مسائل مهم و قابل توجه می باشد. با عنایت به آنکه مصالح مصرفی در این بنا از نوع مصالح بنایی غیر مسلح می باشد و همچنین با توجه به سوابق آسیب پذیری این بنا در برابر زمین لرزه های قبلی به نظر می رسد که این بنا در مقابله با زلزله های متوسط و نسبتاً شدید ضعیف می باشد.

هدف از این مقاله، بررسی آسیب پذیری، تحلیل لرزه ای و مقاوم سازی این بنا می باشد. مطالبی که در این تحقیق آورده شده است شامل الف) بررسی تاریخی و موقعیت قرارگیری بنا؛ ب) بررسی شرایط ساخت اعضای بنا؛ ج) تحلیل خطی و غیرخطی بنا به کمک روش اجزاء محدود و استفاده از رفتار غیرخطی مواد به منظور شبیه سازی خسارات سازه ای؛ د) ارائه پیشنهاد و روشهای مناسب جهت استفاده از نتایج مدل سازی و تحلیل در مقاوم سازی این بنا در برابر نیروهای ناشی از زلزله.

کلمات کلیدی: تحلیل لرزه ای، بهسازی لرزه ای، مناره، بناهای تاریخی، مسجد جامع سمنان.

مقدمه

ساختمانهای بزرگ مقیاس و قدیمی شهرهای تاریخی کشور همچون مسجد جامع سمنان واجد ارزش های گوناگون می باشد. پیوند به تاریخ گذشته شهرها و بازتاب سیر تاریخی هنر و معماری در آنها موجب شده است که این سازه های بزرگ مقیاس و قدیمی مورد توجه پژوهشگران قرار گیرند. بسیاری از این ساختمانهای بزرگ مقیاس و قدیمی در دل بافت های قدیمی دارای دو ویژگی مهم هستند:

- 1- ساختمانهای بزرگ مقیاس و قدیمی همچنان فعال، زنده و پویا باقی مانده و هنوز بخشی از شهروندان در آن فعالیت و زندگی می کنند و امنیت آنها بایستی مورد توجه دستگاههای اجرایی و اداره کنندگان کشور باشد. تداوم فعالیت در آنها معادل تداوم حیات و زندگی در بافت بوده و مهمترین تضمین برای مرمت مستمر بافتهای قدیمی و شهرهای تاریخی قلمداد می شود [1].
- 2- ساختمانهای بزرگ مقیاس و قدیمی همچون مسجد جامع سمنان به مانند هسته مرکزی شهرهای تاریخی ایران و غالباً همان هسته های نخستین شهرها بوده و مکان جغرافیایی آنها در موارد بسیار مرکزیت شهری را نیز واجد می باشد. اینگونه مراکز شهری در شهرهای قدیمی

1- دانشجوی دکترای سازه

2- دانشیار



دارای عملکرد اساسی در مناطق شهری می‌باشند. از این رو بررسی ایمنی و آسیب‌پذیری سازه‌های بزرگ مقیاس بافتهای تاریخی همچون مسجد جامع سمنان در شرایط وقوع زلزله که از مهمترین عوامل انهدام سازه‌های بزرگ‌مقیاس قدیمی و سکونت‌گاههای انسانی شناخته شده در زمره مسائل مهم مهندسیین معمار، شهرساز و سازه قرار دارد [2].

مسجد جامع سمنان

مسجد جامع سمنان را می‌توان در زمره کهن‌ترین و قدیمیترین بناهای تاریخی و اسلامی شهر سمنان که به حق یکی از قدیمی‌ترین مساجد کشور بعد از تاریخانه می‌باشد بشمار آورد که با توجه به گمانه‌زنی‌ها و حفاریهای سال 1354، در قرن اول هجری بر روی خرابه آتشکده ساسانی بنا گردیده [3] ولی در طول زمان تعمیرات و تغییراتی در آن صورت گرفته است. مرحوم صنیع الدوله در کتاب مرآت البلدان درباره مسجد جامع سمنان می‌نویسد: "گویند در زمان خلافت امیرالمومنین (ع) آن حضرت امر فرمودند که از کوفه تا بخارا هزار و یک مسجد بنا کنند و در حکومت عبدا... بن عمر اعیان سمنان مسجد جامع حالیه این بلاد را ساختند ولی این بنا را چندین عظمتی نبود بعدها به دفعات اشخاص عدیده‌ای به بنای اول افزودند و هر کس چیزی اضافه و ملحق نمود مثلاً گنبد غربی و شبستان شمالی را با منار خواجه‌وند، خواجه ابوسعید سمنانی و خواجه نظام الدین در عهد سلطنت سلطان سنجر سلجوقی ساختند و شبستان جنوبی را شیخ رکن الدین علاءالدوله سمنانی در زمان وزارت ارغون‌خان بنا نمود و چون خرابی به همراه رسانیده بود در زمان خاقان خلدآشیان فتحعلی شاه طلاب الله تراه ذوالفقارخان سمنانی به تجدید آن پرداخت" [4]. مسجد شرقی را خواجه کبکیاد بن ملک‌الدین سمنانی ساخته و ایوان متصل به گنبد را خواجه عزالدین محمد بالیچه سمنانی وزیر میرزا شاهرخ بنا کرده است. حفاریهای کف حیاط و آثار به دست آمده و اختلاف زاویه آن با قبله بازگوی قدمت بیشتر مسجد می‌باشد. این مسجد یک ایوانی است حیاط آن به شکل مستطیل به طول 27 متر و عرض 25 متر بوده و دارای ورودیهایی به بازار دوره قاجاری و به بازار شیخ علاءالدوله (درب شمالی که درب اصلی و کهن مسجد بوده) می‌باشد (شکل 1). مسجد جامع سمنان تحت شماره 163 جزو آثار ملی به ثبت رسیده است [5].



شکل 1- نمایی از مسجد جامع سمنان و فضای اطراف

منار مسجد

منار مسجد جامع سمنان یکی از آثار با ارزش و باشکوهی است که با ویژگیهای برجسته، سبک متفاوت معماری و قرار گرفتن در قالب بافت تاریخی شهر از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (شکل 2). پاره‌ای از باستان‌شناسان منار را یک بنای منفرد راهنما می‌دانند که بعدها در اطراف آن شبستان و مسجد احداث شده، ولی بر اساس روایات و نیز تحقیقات انجام شده منار مسجد جامع به هیچ وجه یک میل منفرد نبوده است. بدون شک این مناره هم عملکردی جز آنچه که منارها در معماری مساجد ایفا می‌کنند نداشته است. ارتفاع کلی منار 31/5 متر است که از این ارتفاع، 27/5 متر آن شامل میله منار تا انتهای مقرسرها و قاعده مازنه و 4 متر دیگر شمال مازنه و قسمت فوقانی آن می‌شود.



شکل 2- نمایی از منار مسجد جامع سمنان [6]

موقعیت و تاریخچه منار

این بنا در گوشه شمال شرقی مسجد جامع واقع شده و از شمال به بازار شیخ علاءالدوله و خیابان امام خمینی، از شرق به راسته بازار و از جنوب به تکیه و حمام تاریخی پهنه محدود است. این مناره فاقد کتیبه یا سنگ نیشته تاریخی است. به همین جهت سال احداث آن به درستی معلوم نیست. هر چند کتیبه‌های منار هیچ‌گونه تاریخی را بیان نمی‌کنند لیکن وجود نام بانی بنا در کتیبه زیرین تا اندازه زیادی می‌تواند راهگشای تشخیص حدود تاریخی و قدمت بنا باشد. استاد مجتبی مینوی، منار را از آثار ابو حرب بختیار حاکم قومس و ممدوح منوچهر دامغانی می‌داند که در بین سالهای 417 تا 466 احداث شده است. ماذنه منار به شکل هشت ضلعی می‌باشد. منار مسجد جامع به علت اهمیت زیاد دارای شماره ثبت جداگانه‌ای تحت شماره 162 به ثبت تاریخی رسیده است [6].

مدل‌سازی بنا

در این تحقیق جهت مدل‌سازی و آنالیز از نرم افزارهای SAP2000 [7] و DIANA [8] استفاده گردیده است. قطر منار در پایین 3/6 متر و در داخل 2,09 متر است. ضخامت دیوار منار در پایین‌ترین قسمت 75 سانتیمتر می‌باشد و متناسب با کم‌شدن قطر منار از پایین به بالا از قطر دیوار و دکل نیز کاسته شده بطوریکه در قسمت انتهایی بدنه منار که قطر آن به حداقل می‌رسد تنگی گلوبی احساس نمی‌شود. منار از آجرهایی به ابعاد 25×25×5 سانتیمتر و ملات گچ شوره ساخته شده است.

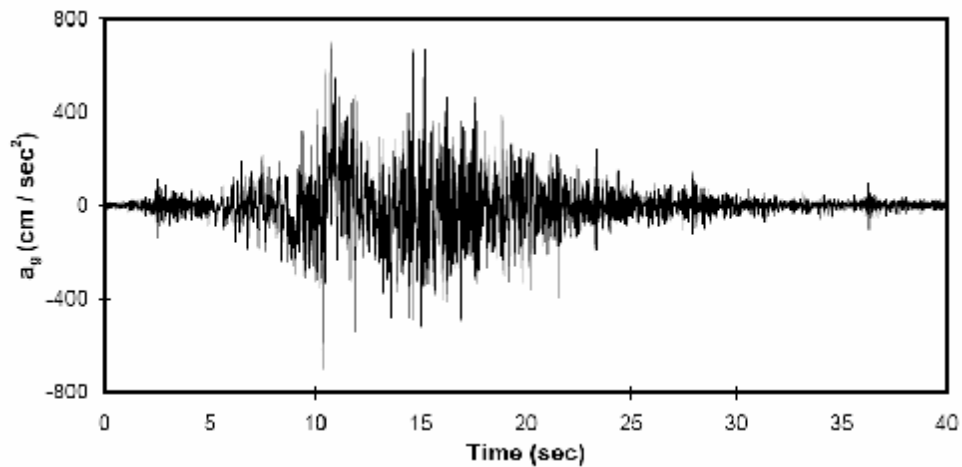
از آنجا که ضخامت مناره نسبت به ارتفاع آن کم می‌باشد، جهت تحلیل از المانهای Shell به ابعاد مختلف و مشخصات فیزیکی متفاوت استفاده گردیده است. در جدول 1 مشخصات فیزیکی واقعی مصالح بکار رفته در بنا و میانگین این مقادیر آورده شده است.

جدول 1- مشخصات فیزیکی مصالح

مشخصات مصالح	ملات	آجر	میانگین (آجر و ملات)
E (GPa)	3/9	6	5/2
ν	0/3	0/25	0/3

تحلیل مدل

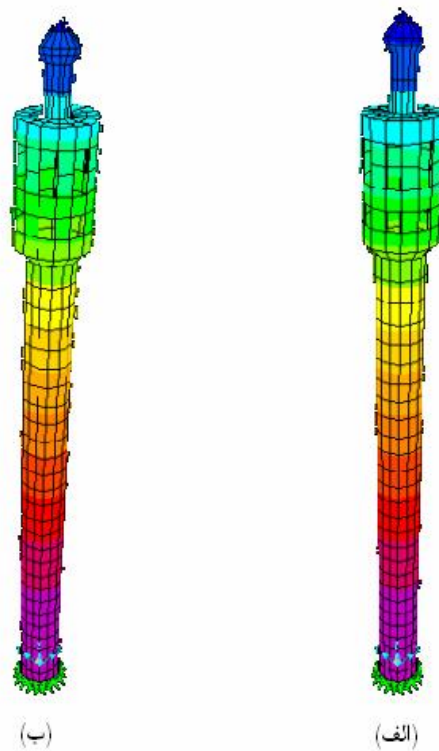
پس از ایجاد مدل، سازه بر اساس طیف زلزله ال سنترو که در شکل 3 نمایش داده شده با توجه به مشخصات فیزیکی مصالح آنالیز دینامیکی می‌گردد.



شکل 3- طیف زلزله ال سنتر و

حالت اول : استفاده از نرم افزار SAP2000

در این حالت به منظور مدلسازی منار، همانطوریکه در شکل 4 نشان داده شده، از تعداد 1696 المان Shell با مشخصات فیزیکی میانگین مصالح مصرفی (آجر و ملات) استفاده گردید. تحت آنالیز مودال در مد اول و آنالیز طیفی، مقدار جابجایی نوک منار در جهت افق و مقدار تنشها بدست آمد که خلاصه آن در جدول 2 آورده شده است.



شکل 4- آنالیز منار به کمک نرم افزار SAP2000 (الف) آنالیز مودال؛ (ب) آنالیز طیفی

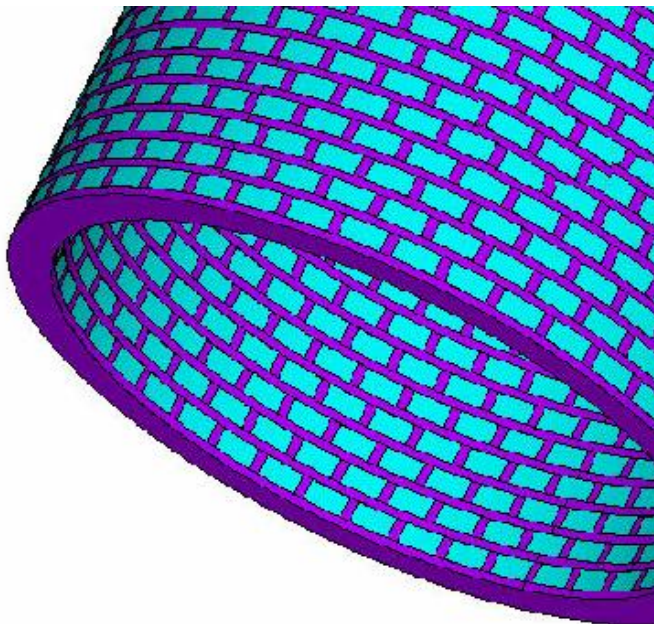
حالت دوم: استفاده از نرم افزار DIANA

برای بررسی رفتار سازه‌های با مصالح بنایی، اگرچه استفاده از برنامه‌های خطی الاستیک می‌تواند کمک زیادی نماید، ولی برای بدست آوردن اطلاعات



دقیقت و تعیین ترک خوردگی سازه، شکل پذیری، نحوه انهدام و ظرفیت نهایی سازه نیاز به روشهای آزمایشگاهی و روشهای عددی می باشد. با توجه به هزینه های بسیار بالا و زمان زیادی که باید صرف کارهای آزمایشگاهی نمود، روشهای عددی مخصوصا روش المانهای محدود امروزه به عنوان موثرترین روش مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از روش المانهای محدود امروزه به عنوان موثرترین روش مورد استفاده قرار می گیرد. جهت تحلیل منار در این مقاله، از یک برنامه المان محدود غیرخطی DIANA استفاده شده است [7]. این برنامه قابلیت آنالیز غیرخطی سازه های با مصالح بنایی، بتن آرمه و فولادی را دارا می باشد. در این برنامه سازه از یکسری المان صفحه ای با ضخامت ثابت تشکیل شده است و نیروی کل به 30 بار کوچکتر تقسیم شده و به سازه وارد می شود و آنالیز غیرخطی را انجام می دهد. واگرایی در این برنامه بدین صورت می باشد که اگر هر یک از نرملهای بردارهای تغییر مکان یا نیروهای نامتعادل از مقدار ماکزیمم بیشتر شود، عملیات به علت بزرگی بیش از اندازه این مقادیر متوقف می شود و همچنین این برنامه برای مدل کردن ترکها از مدل ترک خوردگی گسترده استفاده می کند.

در این حالت مدل شامل 5211 المان بوده که از المانهای ایزوپارامتریک 4 نقطه ای نوع RQUAD و با در نظر گرفتن آجر و ملات به صورت لایه به لایه مجزا و با ابعاد واقعی برای مدل نمودن اجزا استفاده شده است (شکل 5). پس از آن سازه تحت اثر 3 مود اول، آنالیز مودال شده و مقادیر تنشها و جابجایی های سازه بدست آمده است.



شکل 5- مدل لایه به لایه و المان محدود منار

در حالت اول با توجه به مشخصات فیزیکی میانگین مصالح (آجر و ملات)، تنشهای بحرانی در نقاطی از سازه قابل مشاهده می باشد. با توجه به تقارن سازه تنشهای کششی و فشاری تقریبا یکسان بودند. با توجه به اینکه نیروی زلزله به صورت رفت و برگشت عمل نموده در هر نقطه از سازه در اثر این نیرو هم کشش و هم فشار بوجود می آید. نظر به اینکه مصالح مصرفی در این منار از نوع مصالح بنایی با قدرت چسبندگی پایین می باشد در نقاطی که کشش بوجود می آید بیش از مقدار مجاز بوده و سازه گسیخته می شود. همچنین در قسمتهایی از سازه که قطر آن تغییر می کند سختی نیز تغییر کرده و به تبع آن تنشهای زیادی بوجود می آید که لذا نیاز به بهسازی موضعی دارد. از سوی دیگر در قسمت تحتانی منار نیز در اثر نیروهای ناشی از زلزله و وزن سازه تنشهای زیادی بوجود آمده که نیازمند انجام بهسازی کلی می باشد.

جدول 2- نتایج حاصل از تحلیل خطی و غیرخطی

نرم افزار مصرفی	نوع آنالیز	مقادیر جابجایی (cm)
SAP2000	مودال	24/51
SAP2000	طیفی	21/39
DIANA	مودال	36/58



پیشنهاد برای مقاوم سازی

با توجه به اهمیت این بنا از لحاظ تاریخی و گردشگری باید بهسازی به گونه‌ای انجام پذیرد که در وضعیت معماری و نمای آن دخالت زیادی صورت نگیرد؛ بدین منظور راهکارهای زیر جهت بهسازی سازه ارائه می‌گردد:

1- ایجاد سوراخهایی با قطر کم در تمام ارتفاع و قراردادن مفتولهای فولادی نازک با مقاومت بالا در آنها. برای این کار ابتدا بایستی جداره منار توسط مته‌های نازکی سوراخ گردد و سپس مفتولهای موردنظر در درون آنها قرار گرفته و سوراخ با چسب یا ملات مخصوص پر شود. در قسمت پایین نیز مفتولها توسط یکسری قلاب به فونداسیون احداثی که به صورت مش بندی بوده متصل می‌گردد.

2- استفاده از FRP. در این روش الیافهای پلیمری به منظور افزایش مقاومت کششی با چسب مخصوص بر روی جداره داخلی منار چسبانده می‌شود لذا مقاومت کششی و برشی سازه در هنگام اعمال بار جانبی افزایش می‌یابد.

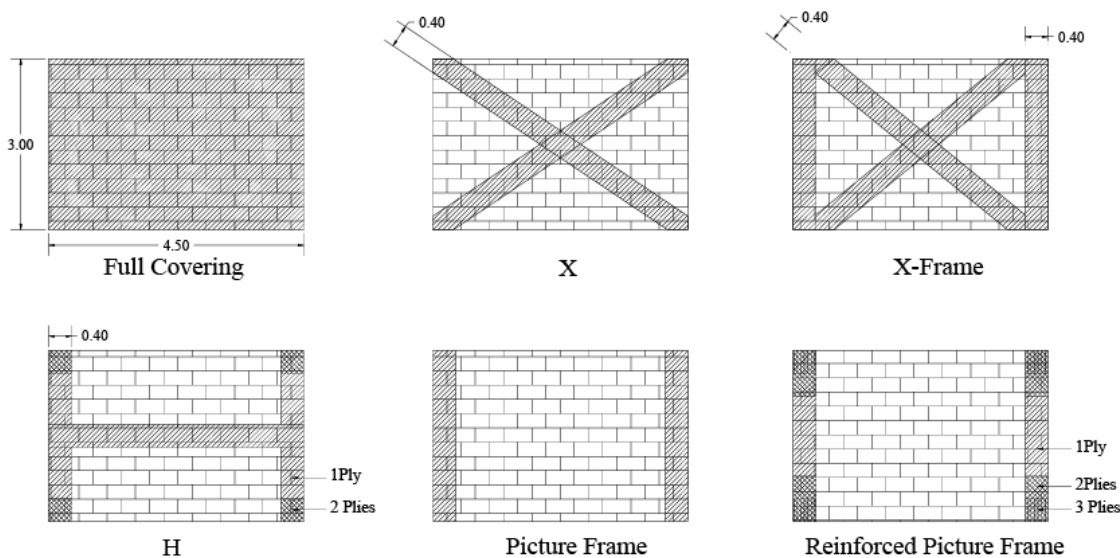
3- استفاده از مش بندی فولادی در جداره داخلی منار و سپس پاشیدن بتن بر روی آنها و اتصال آنها به فونداسیون احداثی پایین.

4- استفاده از ستون فولادی لوله‌ای در وسط منار و اتصال آن به ورق‌های حلقه‌ای فولادی که توسط پیچ و رزین به درون جداره داخلی منار متصل شده است. از ستون فولادی وسط می‌توان به عنوان تکیه گاه جهت اتصال پله‌های فولادی به آن استفاده نمود که با این کار هم عبور و مرور در داخل منار به راحتی صورت می‌گیرد و هم وجود ستون و پله‌های فولادی باعث می‌شود که سختی سازه افزایش یافته و در نتیجه جابجایی آن در برابر بارهای ناشی از زلزله کمتر شود. اتصال ستون فولادی و اتصالات آن به جداره به نحوی باشد که عملکرد منار در زمان زلزله به صورت پیوسته و هماهنگ باشد. همچنین باید اتصال به کمک فونداسیون مرتبط احداثی در قسمت پایین منار به صورت کامل برقرار گردد تا نیروی برشی پایه در هنگام زلزله از زمین به سازه مرکب منتقل شود.

هر یک از این روش‌ها فوق مدلسازی و تحلیل شدند و با توجه به نتایج حاصله و اجرایی بودن طرح، روش دوم انتخاب گردید که ذیلا توضیح داده می‌شود.

مقاوم‌سازی به کمک FRP

یکی از روش‌های جدید بهسازی سازه‌های بنایی که اخیراً متداول شده است، استفاده از الیاف FRP (الیاف تقویت شده پلیمری) می‌باشد. FRP شامل انواع الیاف مختلف FRP شیشه (GFRP)، FRP کربن (CFRP) و FRP آرامید (AFRP) می‌باشد که در داخل پلیمر پیوسته‌ای بنام ماتریس جا گرفته‌اند [9]. از جمله مزایای FRP می‌توان به بالا بودن نسبت مقاومت و سختی به وزن، دوام بالا در بسیاری از شرایط، سرعت و آسانی نصب و اجرا اشاره نمود. عامل مهمی که در رفتار دیوارهای تقویت شده بنایی با FRP (URM-FRP) تاثیر دارد، شکل تقویت می‌باشد که در شکل 6 نمایش داده شده است [10]. مقاوم سازی و تحلیل منار به کمک حالات مختلف تقویت انجام شد. مقایسه‌ای بین رفتار منارهای تقویت شده با FRP در بارگذاری سیکلی استاتیکی انجام گردید که به دلیل محدودیت فضایی نتایج زیر به طور خلاصه و مختصر ذکر می‌شوند.



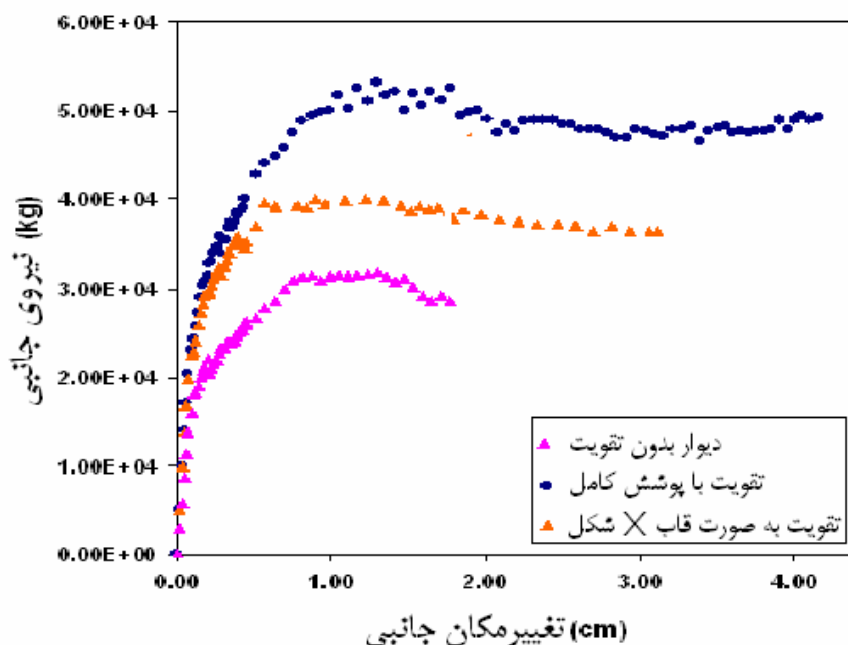
شکل 6 - الگوهای مختلف FRP برای تقویت

خلاصه و نتیجه‌گیری

1- پوشش‌های تقویت کننده GFRP مقاومت جانبی نمونه را با ضریب 1/1 تا 2/8 و پوشش‌های تقویت کننده CFRP مقاومت جانبی را با ضریب 1/5 تا 4/4 بسته به الگوی تقویت، نسبت به نمونه مبنا افزایش می‌دهند.



- 2- با استفاده از الیاف با کرنش گسیختگی بالا شکل‌پذیری و اتلاف انرژی دیوار افزایش پیدا می‌کند.
- 3- از میان الگوهای بررسی شده حالت پوشش کامل بهترین روش برای مقاوم‌سازی منار می‌باشد. در دیوارهای بنایی به دلیل عملکرد دو بعدی و صفحه‌ای دیوار آرایش‌های H (ترکیبی از نوارهای قائم و افقی) و X-Frame بهینه‌ترین آرایش‌های تقویت می‌باشند، زیرا از یک طرف در برابر هر سه مکانیزم گسیختگی مقاومت می‌کنند و از لحاظ اقتصادی هم مصالح کمتری نسبت به حالت پوشش کامل مصرف می‌شود. اما در منار، همانطوریکه در شکل 7 نشان داده شده، با توجه به عملکرد سه بعدی آن تحت اثر نیروهای جانبی و تقارن حول محور طولی بهترین روش استفاده از پوشش کامل FRP در بدنه داخلی منار می‌باشد (شکل 7).
- 4- به طور کلی، فابریک‌هایی (دارای الیاف دو جهت) که به کل سطح دیوار چسبانده می‌شوند و به درستی مهار می‌شوند، می‌توانند تمام مدهای گسیختگی منار را به تاخیر بیندازند.



شکل 7- مقایسه بین حالت پوشش کامل FRP و آرایش X-Frame در افزایش مقاومت و شکل‌پذیری منار

مراجع

- 1- برزگر، محمدرضا. شهرسازی و ساخت اصلی شهر، انتشارات کوشامهر، 1382.
 - 2- بحرینی، سیدحسین. فرآیند طراحی شهری، انتشارات دانشگاه تهران، 1377.
 - 3- طاهر، محمد علی. فرهنگ و هنر سمنان در عصر پهلوی، 1379.
 - 4- صنیع الوله، محمد حسن خان. سفر خروج از مشهد و ورود به دارالخلافه طهران.
 - 5- مشکوتی، نصرالله. فهرست بناهای تاریخی و اماکن باستانی، صفحه 280، 1381.
 - 6- مخلص، محمدعلی. بررسی اجمالی در منار مسجد جامع سمنان، 1379.
- [7] CSI, SAP2000 V-8. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures Inc, Berkeley (CA, USA) (2002).
- [8] Diana 7.2, User's manual, TNO Building Construction, the Netherlands, ww.tnodiana.com, 1999
- [9] Schwegler, G.; "Masonry construction strengthened with fiber composites in seismically endangered zones" 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, 1994, pp. 2299-2303.
- [10] Elgawady, M.A.; Lestuzzi, P.; Badoux, M.; "A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM", 13th Brick/Block Masonary Conference, Amsterdam, Holland; July 4-7, 2004.