بهبود خواص لرزه ای گنبدها و قوس های آجری به کمک مسلح سازی با پلیمرهای الیافی (FRP[†])– مرور مطالعات موردی

احسان نیکویی [۱] سید احمد انوار[۲]
بخش مهندسی راه و ساختمان , دانشکده مهندسی, دانشگاه شیراز .

چکیده

در بسیاری از بناهای تاریخی ایران, و بخصوص آنچه مربوط به بعد از اسلام است, سازندگان بنا, قوس ها و گنبدها را به عنوان عناصر مرکزی اثر تاریخی, به عنوان عناصر هنری و معماری اثر و همچنین به عنوان قسمتی از سیستم باربر بنای تاریخی به کار گرفته اند. همچنین با نگاهی به شهرهای کوچک و روستاها به ویژه آنانی که در حاشیه کویر قرار دارند, ملاحظه می شود که سقف بسیاری از آب انبارها و خانه های آنها به صورت گنبدی, هر چند کوچک, ساخته شده اند و قوس ها نیزجزئی جدائی ناپذیر از معماری این نواحی می باشند. لازم به ذکر نیست که در ساخت این آثار و بناها از آجر و بعضاً از خشت استفاده شده است.

به دلیل ضعف شدید سازه های با مصالح بنائی در مقابل نیروهای لرزه ای, سطح پائین جذب انرژی زلزله آنها, و خصوصیات مقاومتی نامناسب مصالح بنائی به خصوص در تحمل تنش های کششی, باید برای بهبود رفتار این ساختمان ها چاره اندیشی شود. قوس ها وگنبدهای آجری و مطمئناً خشتی, نیز از این قاعده مستثنی نمی باشند و رفتار آن ها, به عنوان بخش مهمی از ساختمان های تاریخی و بناهای بامصالح بنائی, همواره از منظر لرزه ای و رفتار در زمان بروز زلزله مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

در این مقاله ضمن تأکید بر اهمیت تحقیق در باب استفاده از تکنیک های نو در مقاوم سازی قوس ها وگنبدها, مطالبی پیرامون نحوه مقاوم سازی سازه ها با رشته های پلیمری ارائه خواهد شد. سپس, با بررسی نتایج حاصل از تحقیق های آزمایشگاهی, تأ ثیر این روش در رفتار قوس های آجری مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه, کاربرد این روش در قالب مقاوم سازی چند بنای قدیمی در کشور ایتالیا ارائه می شود. در پایان, در بخش نتیجه گیری نهایی, ضمن مقایسه این روش با سایر روش های رایج, پیشنهادهائی جهت استفاده از این روش, سازگار با گنبدهای رایج در ایران, ارائه می شود.

---

† Fiber Reinforced Polymers

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد
[۲] عضو هیأت علمی

سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com

۱. مقدمه

با بررسی صدمات و لطمات وارد بر گنبدها و قوس ها در زلزله های اخیر, می توان موارد موجد خرابی و شاخصه های گسیختگی را برای آن ها مشخص و در جهت بهبود عملکرد قوس ها تکنیک مقاوم سازی مناسب را ارائه داد.

یکی از نقاط ضعف در سازه های گنبدی و قوسی, نشیمنگاه آن یعنی محل اتصال گنبد و قوس با ناحیه تخت سقف در خانه های روستائی, و در گنبدها و قوس های بزرگتر در مساجد در محل اتصال آنها با دیوار ها می باشد. عدم اتصال مناسب گنبد و قوس با تکیه گاه آن باعث در رفتن تکیه گاه از زیر گنبد و قوس گردیده و نهایتاً خرابی آن را باعث می گردد, قوس تخریب شده سمت راست در شکل ۱. کاربرد حلقه بتنی برای حفظ یکپارچگی تکیه گاه و تضمین پیوستگی بین دیوارها و سقف یکی از روش های رایج در مقاوم سازی این گونه بناهاست. ولی این روش همواره به عنوان روشی که با تخریب بخشی از بنا و نیز مخدوش شدن اصالت بنا همراه است دیده شده و کاربرد آن با شک وتردید مواجه است.

وزن مرده بسیار زیاد مؤثر برگنبدها و قوس ها به خاطر ضخامت نسبتا بالای این سقف ها, یکی دیگراز عوامل مؤثر در ضعف رفتاری آن ها در مقابل زلزله می باشد, شکل های ۲ و ۳. در کنار این مسئله وجود بازشوهای زیاد در دیوارها نیز در تضعیف عملکرد سازه در مقابل

شکل ۲. ویرانی در اثر بار مرده بسیار زیاد مؤثر بر قوس ها, زلزله بم (۲۰۰۳).

نیرو در اطراف بازشوها, [1].

[1].

سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com

نیروهای جانبی نقش دارد.

ابتکار معماران ایرانی در استفاده از بازشوهای به شکل قوس در رفتار بهتر سیستم اعم ازگنبد, قوس و دیوارها نقش بسزایی دارد, شکل ٤. با این وجود عدم رعایت فاصله مناسب این باز شوها از یکدیگر در بسیاری از بناها باعث پدید آمدن مشکلات پیش گفته می گردد. نقش این قوس ها نیز می تواند به عنوان ابزاری برای انسجام و هماهنگی دو عنصرباربر جانبی که در زیر گنبد قرار گرفته اند, مطرح باشد, شکل ٥.

شکل٥ . گنبد قرار گرفته بر روی دو دیوار و دو قوس و ویرانی قوس در زلزله بم(۲۰۰۳) به سبب ضعف مصالح و عملیات نامناسب ساخت، [1].

با توجه به موارد ذکر شده نیاز به روش و یا ر ازه با مصالح بنائی را بهبود بخشد و در عین حال با اجرای آ رد گردد وجود دارد؛ روش و یا روش هائی که برای ایجاد پیوستگی مناسب بین دیوارها و گنبدها و قوس ها و همچنین برای مقاوم سازی آنها به کارگرفته می شوند. در سال های اخیر استفاده از پلیمرهای الیافی برای رسیدن به این اهداف, به عنوان گزینه ای مناسب از سوی محققین پیشنهاد شده است.

۲. بررسی های آزمایشگاهی

برای بررسی رفتار و عملکرد قوس ها و گنبد هاو دیوارهای آجری که با پلیمرهای الیافی مقاوم سازی شده اند, بررسی های آزمایشگاهی مختلفی توسط محققین صورت گرفته است.

۲. ۱. قوس های آجری

در سال ۲۰۰۱ والوزی و مودنا [2 و3], به منظور بررسی مکانیسم شکست قوس ها پس از مقاوم سازی آن ها با پلیمر های الیافی با استفاده از امکانات دانشگاه پادووا(Padua) در ایتالیا, ٦ نمونه قوس آجری ساختند. در دو نمونه, ورق های پلیمر الیافی شیشه ای(GFRP)

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

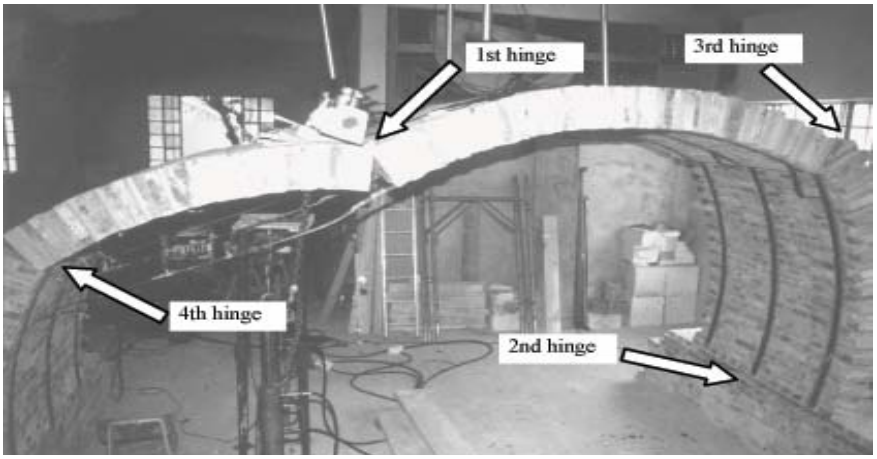
در سطح خارجی قوس چسبانیده شد. دو نمونه نیز باقراردادن ورق های پلیمرالیافی (CFRP) در سطح خارجی تقویت گردیدند. درون قوسِ دو نمونه دیگر پس از آغشته نمودن سطح قوس با چسب اپوکسی با پلیمرهای کربنی (CFRP), تقویت گردیدند. بارگذاری قوس در یک چهارم دهانه آن صورت گرفت. خصوصیات پلیمرهای الیافی استفاده شده در جدول ۱ دیده می شود

قوس ها به شکل منحنی زنجیری (Catenary) در نظر گرفته شده بودندو با توجه به اینکه مقاومت و مدول الاستیک پلیمرهای شیشه ای کمتر از پلیمرهای کربنی است برای تقویت نمونه ها با پلیمرهای الیافی به نحوی که سختی تقریبا یکسانی داشته باشند, پلیمرهای الیافی شیشه ای در عرض ۲۰۰ میلی متر از قوس استفاده شدند و این در حالی بود که پلیمرهای الیافی کربنی در عرض تنها ۷۰ میلی متر داخل نمونه ها را پوشانده بودند.

جدول ۱ خصوصیات پلیمرهای الیافی در آزمایشات والوزی و موتا[2]

Property	FRP Type	
	Carbon (C1-30)	Glass (G-73R)
Tensile Strength (MPa)	3430	1700
Elastic Modulus (GPa)	230	65
Density (kg/m3)	1820	2600
Thickness (mm)	0.165	0.161
Ultimate Strain (%)	1.50	2.80

ناپایداری در قوس های آجری در سطح زیر و استقرار پی در امتداد چهار مفصل در طول دهانه آن هارخ می دهد. استفاده از عنوان مفصل پلاستیک برای این مکانیسم ها نمی تواند چندان درست باشد, چرا که این مفاصل عموما در یکی از سطوح داخلی یا خارجی قوس پدید می آیند و عملکرد آنها به گونه ای است که حالت پلاستیک به آن صورتی که از یک مفصل پلاستیک انتظارمی رود از خود نشان نمی دهند. در قیاس با آن ها محل تشکیل مفصل پلاستیک در سازه های معمولی عموما خط مرکزی عضو در نظر گرفته می شود و قابلیت تحمل کشش در آن ها وجود دارد لیکن در مفاصل تشکیل شده در قوس آجری چنین نیست. این مفاصل امکان آزادی دوران بین قسمت های میانی را فراهم می آورند و در نهایت تشکیل چهار عدد از آن ها به ناپایداری می انجامد, شکل ٦ (الف).



سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com

(الف)

(ب)

شکل۶. مکانیسم های زوال درقوس الف: تقویت نشده [4] و ب: تقویت شده در داخل، [2] .

آن گونه که این محققین نشان دادند, دیگ ت نمی باشد. بلکه در حالتی که قسمت خار ت برشی و لغزش بین ملات و آجرصورت ـا پلیمرهای الیافی تقویت شود, شکست به واسطه افزایش تنشهای عمود بر پلیمر های الیـافی و پدیده جداشدگی(Debonding) اتفاق می افتد, شکل ٦ (ب). این محققـین پیشـنهاد کردنـد مـوارد زیر در مقاوم سازی قوس های آجری با پلیمر های الیافی در نظر گرفته شوند.

۱. استفاده از ورق های پلیمری با عرض زیـاد بـه تجمـع تـنش هـای فشـاری در طرف مقابل و در مصالح بنائی می انجامد. لذا ضروری است برای ایـن کـه رفتـار قـوس بـه سمت رفتار ترد شکن سـوق داده نشود, بـرای درصد تسلیح حداکثر مقداری منظور نمود.

۲. از استفاده از پلیمر های الیافی به صورت موضعی باید پرهیز نمـود. از سـوی دیگر نیز استفاده از پلیمر های الیافی در تمام طول قوس نیـز بهینـه نیسـت. اسـتفاده از ایـن پلیمر ها درطولی حدود ۰/۷۵ طول قوس پیشنهاد می گردد, که تغییرات آن به نوع پلیمر های الیافی وابسته است.

۳. با وجود تفاوت در مکانیسم شکست در قوس های تقویت شده در قسمت داخل با آن هایی که در سطح خارجی تقویت شده اند, لیکن مقاومت نهـائی کسـب شـده در هـر دو حالت تقریبا در یک حد می باشد.

٤. در مورد استفاده از انواع مختلف پلیمرهای الیافی نیز مشاهده شد که اسـتفاده از پلیمر های شیشه ای نسبت به پلیمرهای کربنی به مراتـب بهتـر اسـت چـرا کـه اسـتفاده از پلیمرهای کربنی به واسطه مدول الاستیک بالاتر این مواد رفتار ترد شکن تری به قـوس می دهند, که هدف پرهیز از چنین رفتاری است. جابجائی نهائی در مناطق شکسـت در مـوارد استفاده از پلیمر شیشه ای به مراتب بیشتر از موارد استفاده از پلیمرهای کربنی بود.

۲. ۲. گنبد های آجری

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

در سال ۲۰۰٤ فاچیو و فوراباچی [5] در دانشگاهIUAV, واقع در شهر ونیز ایتالیا, ۵۰ نمونه اندازه واقعی از قوس ها و گنبدهای با مصالح بنائی (شکل۷) که توسط انواع

مختلف

قرار دادند. نتایج به دست آمده ازاین تحقیق به قر

۱. مکانیسم شکست قوس ها و گنبد های مس
متنوع می باشند. وقوع ترک های عمودی در واقع
وجود پلیمرهای الیافی نمی تواند از وقوع این پدی
مکانیسم گسیختگی در قطعات پدید آمده در گنبد, همان مکانیسم شکست معمول در قوس های مسلّح می باشد.

۲. مقاومت مرتبط با انواع مکانیسم های محتمل برای شکست گنبدهای آجری مسلح با روابط پیشنهادی قابل پیش بینی می باشد.

۳. به دلیل نزدیکی مکانیسم های شکست گنبد هاو قوس های مسلح, پیشنهادات ارائه شده توسط محققین دیگر برای استفاده بهینه از پلیمر های الیافی جهت تقویت مناسب قوس های آجری, نیز می تواند برای تقویت گنبد ها استفاده شود.

۳. مطالعه های موردی و مثال هائی از کاربرد انواع الیاف پلیمری در بناهای تاریخی ایتالیا

مطالعات موردی در ایتالیا در زمینه مقاوم سازی قوس ها با انواع الیاف پلیمری به دو صورت انجام شده است. در وجه اوّل یک قوس خاص از یک بنای تاریخی برگزیده شده و پس از بررسی مصالح مورد استفاده در آن و ساخت همان قوس در آزمایشگاه و مقاوم سازی نمونه آزمایشگاهی, قوس مقاوم سازی شده مورد ارزیابی قرار گرفته و نتیجه در مقاوم سازی قوس اصلی در بنای تاریخی به کارگرفته می شود. در وجه دوم قوس, مستقیماً وبدون بررسی قبلی رفتار نمونه در آزمایشگاه, مقاوم سازی می گردد. این روش در مورد دو دسته از قوس ها ی زیر به کار گرفته شده است.

سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com

الف) قوس های آسیب دیده در زلزله های قبلی.

ب) قوس های سالم قبل از هرگونه صدمه در اثر زلزله.

به عنوان مثالی از گروه اوّل, مقاوم سازی قوس واقع در قصر بولونیا و از گروه دوّم حالت الف, مقاوم سازی یک قوس در کلیسای شهر اسیسی و برای حالت دوّم, مقاوم سازی قوسِ واقع در بنای " Elmi Pandolfi " ارائه می گردند.

۳. ۱. مقاوم سازی قوس قصر بولونیا (Palazzo Bologna)

لوچیانووهمکاران[6] در دانشگاه کاسینوی ایتالیا به بررسی مقاوم سازی قوس واقع در آخرین طبقه قصر بولونیا با استفاده از پلیمرهای الیافی پرداخته اند. این محققین قبل از انجام مقاوم سازی بر روی قوس واقعی, نمونه ای کاملاً مشابه از این قوس در آزمایشگاه ساخته و رفتار قوس مسلّح شده را در مقابل شرایط بارگذاری مختلف مورد بررسی قرارداده اند, شکل۸. به دلایل معماری نظر بر این قرار گرفته بود که تنها سطح داخلی قوس با پلیمرهای الیافی کربنی مقاوم سازی گردند.

شکل ۸. بررسیهای آزمایشگاهی بر روی نمونه مشابه قوس واقعی در قصر

نتایج بررسی ناده از پلیمرهای الیافی کربنی برای مقا وسایر ویژگی های آن گزینه ای منا انجام تحقیقات آزمایشگاهی برای هر ی قوس ها با پلیمرهای الیافی نظر کلی بر استفاده از آرامید وپلیمرهای الیافی شیشه ای قرار داشت ولی در این مورد, نتایج آزمایشگاهی کاربرد پلیمرهای الیافی کربنی را مناسب تر نشان داد. اکنون این محققین مشغول مقاوم سازی قوس اصلی در قصر بولونیا میباشند.

۳. ۲. مقاوم سازی قوس واقع در کلیسای شهر اَسیسی

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

کلیسای شهر اَسیسی در اثر زلزله های سال های ۱۲۷۹, ۱۳۲۸, ۱۷۰۳, ۱۷٤۷, ۱۷۸۱, ۱۷۹۹, ۱۸۳۲, ۱۸۵۹, ۱۹۱۷و ۱۹۷۹ صدمات مختصری دیده بود لیکن در اثر زلزله مخرب ۲٦ سپتامبر ۱۹۹۷ در منطقه اُمبریا, به قوس ها و دیوارهای این کلیسا و نیز به نقاشی ها وگچ بری های روی سقف ودیوارهای آن صدمات زیادی وارد شد. یک برنامه ملّی ویک تلاش همگانی در ایتالیا برای بازسازی ومقاوم سازی این کلیسا آغاز شد. سرپرستی این برنامه را دکتر جیورجیو کروچی بر عهده داشت. مطالعات مختلفی برای مقاوم سازی وبهبود رفتار لرزه ای قوس های آسیب دیده در این بناانجام گرفت. گزینه استفاده از دال بتنی برای ایجاد یکپارچگی قوس به دلیل افزایش بار مرده وگزینه استفاده از یک سازه کمکی فولادی به دلیل صدمه زدن به ظاهر هنری بنا کنارگذاشته شدند. به دلیل اهمیّت گچ بری ها و نقاشی های واقع در سطح داخلی قوس به سیستمی که بر روی قوس کار شود نیاز بود. سرانجام تصمیم بر آن شد که از تیرچه های چوبی- پلیمری آویزاستفاده شود, شکل ۹.

(الف) (ب)

شکل ۹. سیستم پشت بندهای چوبی- پلیمری برای قوس کلیسای شهر اسیسی. الف: در حین اعمال سیستم و ب : بعد ازاعمال سیستم مقاوم سازی, [7].

جنس تشکیل می شد. در محل هائی همانند تاج قوس و در اطراف تکیه گاه ها که تمرکز تنش دیده می شد, لایه دیگری از آرامید با جرم ۳٦۰ گرم بر مترمربع و تاب کششی ۳ گیگا پاسکال استفاده گردید. برای اتصال لایه های مختلف به یکدیگر از اپوکسی بهره گرفته شد. برای کنترل تغییر شکل های قوس ناشی از زلزله, تیرچه های چسبانده شده به قوس با آویز فولادی متصل به سقف, به گونه ای که در شکل ۹ ملاحظه می گردد, نگهداری شده اند.

۳. ۳. مقاوم سازی قوس واقع در بنای Elmi Pandolfi

در این بنا از الیاف پلیمری کربنی برای دیوارهای خارجی و یکی از گنبدها استفاده شده است. ابتدا صیقلی و صاف نمودن سطح خارجی گنبدبه وسیله ماسه پاشی و نیز شستشوی آن با محلول های خاص صورت گرفت. در ادامه سطح خارجی گنبد با پرایمر

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

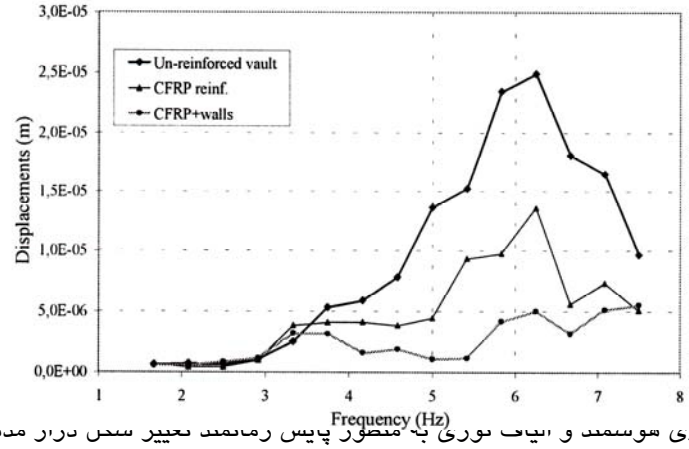
خاص و پس از آن مخلوط اپوکسی- رزین آغشته گردید و ورق های پلیمر الیافی بر روی آن چسبانده شد, شکل ۱۰.

شکل۱۰. سطح خارجی گنبد برای مقاوم سازی به وسیله پلیمرهای الیافی صیقلی و صاف شده است, [8].

با توجه به این که رفتار گنبد به همراه مصالح پر کننده بر روی آن مدّ نظر وتحت بررسی بود, محققان در مراحل مقاوم سازی یک آزمایش دینامیکی به روش ارتعاش نیروئی بر روی گنبد انجام دادند. از آنجا که وجود مصالح پرکننده روی گنبد, با جلوگیری از ایجاد تغییر شکل های بیش از اندازه در گنبد, عاملی اثرگذار بررفتار آن می باشد, محققان تصمیم بر این گرفتند که مصالح قدیمی روی گنبد را با آجر مجوف جایگزین کنند. با این کار ضمن بهبود عملکرد گنبد, وزن مرده آن نیز کاهش یافت, شکل ۱۱.

شکل ۱۱. استفاده از آجر مجوف برای پرکردن فضای روی گنبد و جلوگیری از ایجاد مکانیسم شکست و بهبود عملکرد آن,[8].

دقت در نمودار جابجائی بر حسب فر
استفاده از مواد پرکننده روی گنبد به همراه مقا
حداکثر تغییر شکل گنبد را به شدت کاهش می دهد
مقدار حداکثر تقریبا بدون تغییر باقی می ماند. این به معنای عدم تغییر خصوصیات و رفتار



دینامیکی
ن هستند؛
برطرف ک
یر نماید.
ستفاده از
الیاف پلیمری موسمند و الیاف طولی به منظور پیش رمامند تغییر شکل در در مدت گنبد می

سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com

باشد. فیبرهای نوری در بستر الیاف پلیمری قرار داده شده و با کنترل خصوصیات نوری این فیبرها, تغییر شکل های گنبد به صورت پیوسته در مکان و زمان ثبت می گردد, شکل۱۳. یکی از مزایای استفاده از الیاف نوری (FOS) نسبت به ابزارهای اندازه گیری رایج مانند کرنش سنج, قابلیت کنترل و اندازه گیری تغییر شکل
در تمام ناحیه به جای چند نقطه محدود می باشد.
استفاده از الیاف نوری به همراه الیاف پلیمری
ابزاری برای کنترل رفتار بنا در طول زمان را نیز
فراهم ساخته است.

شکل۱۳ . استفاده از الیاف نوری برای کنترل تغییر شکل گنبد و

۵.نتیجه گیری و پیشنهادات

۱. مشکلات اجرائی سایر روش های مقاوم سازی و در مقابل سهولت اجرای پلیمرهای الیافی به عنوان یک مزیت استفاده از این روش مطرح می باشد. به عنوان نمونه استفاده از پوشش بتن مسلح برای نگهداری و ایجاد مقاومت مناسب دیوارهای با مصالح بنائی به دلیل تغییر در نمای ساختمان ویا وجود تعداد زیادی بازشو یا قسمت های طاق مانند در آن ها تقریبا غیر ممکن می باشد. استفاده از کلاف بتنی در تراز سقف (کف) و ایجاد اتصال مناسب بین دیافراگم (سقف), کلاف بتنی ودیوارها یکی دیگر از روش های مقاوم سازی می باشد. اما این روش نیز ممکن است با تغییراتی که در هنگام اجرا در ظاهر بنا پدید می آورد اصالت تاریخی آن را بین ببرد. این در حالی است که امروزه الیاف پلیمری شفافی تولید شده اند که استفاده از آن ها حتی به عنوان پوشش و در سطح داخلی یا نمای بنا به هیچ وجه به چشم نمی آید و به اصالت بنا صدمه نمی زند.

۲. با کاربرد سایر روش های مقاوم سازی معمولا در سختی و جرم بنا تغییرات زیادی ایجاد می شود که این مسئله ممکن است رفتار دینامیکی بنا را کاملا تغییر دهد. در اکثر شرایط منظورتنها بالابردن مقاومت نهائی عناصر سازنده بنا بدون تغییر در رفتار دینامیکی کلی می باشد. با توجه به نسبت مقاومت به وزن بالای پلیمرهای الیافی این مهم به خوبی قابل دستیابی است. این موضوع به خوبی در آزمایشات انجام شده بر روی بنای Elmi Pandolfi ملاحظه شده است.

۳. با توجه به آزمایشات محققین ایتالیائی توصیه می شود در مقاوم سازی قوس ها وگنبد ها از پلیمرهای شیشه ای استفاده شود و پوشش پلیمری حتی الامکان در داخل قوس استفاده شود تا رفتار قوس کمتر به سوی ترد شکنی سوق داده شود.

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

٤. به واسطه انعطاف پذیری بیشتر پلیمرهای الیافی نسبت به سایر مصالحی که برای مقاوم سازی مورد استفاده قرار می گیرند, کاربرد آن ها برای تقویت قوس ها و سازه های انحنادار بسیار راحت تر می باشد و با توجه به اینکه این گونه طرح ها در آثار تاریخی ایران بی شمار یافت می شوند, یکی از بهترین گزینه ها برای مقاوم سازی بنا های تاریخی در ایران پلیمرهای الیافی به شمار می روند.

تشکر و قدردانی :

تهیّه کنندگان مقاله از دکتر کلودیو مودنا و گروه تحقیقاتی ایشان در دانشگاه پادوا در کشور ایتالیا به خاطر اینکه مقالات خود را در اختیار قرار داده اند ونیز به خاطر پیشنهادات ارزشمند ایشان در تدوین این مقاله تشکر و قدردانی می نمایند.

منابع:

1) Mahdi, T., (2004), "Performance of Traditional Arches and Domes in Recent Iranian Earthquakes," Proc.13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, August 1-6, Paper No. 2871, online available at: http://www.archidev.org/IMG/pdf/3.pdf.

2) Valluzzi, M. R., and Modena, C., (2001), "Experimental Analysis and Modeling of Masonry Vaults Strengthened by FRP," Historical Constructions, Published by NCR (Nucleo DE Conservacao e Restavro), Guimaraes, Portugal, pp 627-635.

3) Valluzzi, M.R., Valdermarca, M., Modena, C., (2001), "Behavior of Brick Masonry Vaults Strengthened by FRP Laminates," J. Compos. Constr., ASCE, 5(3), pp 163-169.

4) Creazza, G.,Saetta, A.V., Matteazzi, R., and Vitaliani, R.V., (2001), "Analysis of Masonry Structures Reinforced by FRP," Historical Constructions, Published by NCR (Nucleo DE Conservacao e Restavro), Guimaraes, Portugal, pp 539-545.

5) Faccio, P., Foraboschi, P., (2004), "Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips," J. Compos. Constr., ASCE, 8(3), pp 191-201.

6) Luciano, R., Marfia, S., and Sacco, E., (2002), "Reinforcement of Masonry Arches by FRP Materials: Experimental Tests and Numerical Investigations," Proceedings of ICCI02, San Francisco, California, 10-13 June, online available at: http://quakewrap.com/research/aziccipdf/ 117.PDF.

7) Balsamo, A., Batista U., Herzalla A., and Viskovic, A., (2001), "The Use of Aramidic Fibers to Improve the Structural Behavior of Masonry Structures Under Seismic Actions," UNESCO International Millennium Congress, Paris, France, and 10-12 Sept., online available at: http://www.unesco.org/archi2000/pdf/balsamo.pdf

8) Bastianiani, F., Tommaso, D. A., Borri, A, Corradi, M., (2003), "Composite Seismic Retrofit and Advanced Distributed Fiber Optic Monitoring of an Historical Building in Foligno (Italy)", University of Perugia, Research Report, online Available at: http://www.strutture.unipg.it/ scienza/pdf/119.pdf

سیویلیکا: مرجع دانش
www.CIVILICA.com