

کامپوزیت‌های پایه پلیمری (FRP) و استحکام بخشی سازه‌های بنایی غیر مسلح

روح اله رحیمی - عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه خلیج فارس

r.rahimi@pgu.ac.ir

contact:09177703299

چکیده

تحقیقی که در این مقاله بررسی شده است، در مورد استحکام بخشی سازه‌های بنایی غیر مسلح با استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف کربن و الیاف شیشه بود. با پیچیدن الیاف به دور سازه‌های بنایی غیر مسلح از تخریب و آوارش خارج از محور این سازه‌ها جلوگیری می‌شود. این تکنیک استحکام بخشی، می‌تواند به عنوان راه حل موقت یا دائم مطرح باشد. در هر حال خصوصیت مثبتی از خود نشان می‌دهد از جمله اینکه باعث افزایش داکتیلیتهی سازه‌ی بنایی غیر مسلح می‌شود. برای بررسی استحکام برشی دیواره‌های آجری که به وسیله الیاف تک جهت کربنی یا شیشه‌ای استحکام بخشی شده‌اند. آزمایشاتی انجام گرفته است. این آزمایشات نشان می‌دهد که فصل مشترک بین ملات و دیوار کمترین استحکام را از خود نشان می‌دهند. این ملات بین کامپوزیت و دیواره‌ی آجری قرار گرفته است و برای چسباندن یکنواخت کامپوزیت به دیواره استفاده می‌شود. وقتی که یک ملات با پایه سیمانی استفاده شود، تخریب به خاطر جدایش این ملات از روی دیواره شروع می‌شود. در این حالت افزایش استحکام و سفتی در اثر استفاده از الیاف کربنی و شیشه تقریباً یکسان است. اگر به جای این ملات سیمانی از رزین‌های اپوکسی استفاده شود، نتایج بهتری حاصل می‌شود. اگر دیواره‌هایی که با دولایه سنگ ساخته شده‌اند بوسیله کامپوزیتهای پایه پلیمری تحت تنش قرار گیرند، در این حالت تخریب در اثر جدایش بین لایه‌های سنگی اتفاق می‌افتد اما اگر این لایه‌ها از آجر ساخته شده باشد، تخریب در اثر شکستن آجرها بوجود می‌آید. در هر دو حالت، استحکام برشی نسبت به حالتی که دیواره‌ها تقویت نشده باشند، خیلی زیاد است.

کلید واژه‌ها: استحکام بخشی. سازه‌های بنایی غیر مسلح، کامپوزیتهای پایه پلیمری.

۱-مقدمه:

تاکنون تحقیقات قابل ملاحظه‌ای بر روی امکان. بهبود خواص مکانیکی سازه‌های بنایی غیر مسلح با استفاده از تکنیک‌های مختلف تقویت انجام شده است. برای تقویت استحکام برشی این سازه‌ها استفاده از میله‌های فلزی یا تزریق ملات‌های آهکی یا سیمانی معمول بوده است. در سال‌های اخیر استفاده از ورقه‌ها، نوارها و تسمه‌های کامپوزیتهای پایه پلیمری برای تقویت سازه‌های بتنی بسیار معمول شده است. اما تحقیقات بسیار کمی بر روی استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری برای استحکام بخشی سازه‌های بنایی غیر مسلح انجام شده است. یکی از اولین کارهایی که در این زمینه انجام شده توسط Di Tommaso و همکارانش بوده که از FRP برای افزایش مقاومت در مقابل زلزله برج‌های ناقوس استفاده شده است [۱]. در این بخش سعی شده است. که کارها و تحقیقات محققین دیگر که در سال‌های اخیر انجام شده، گردآوری شود

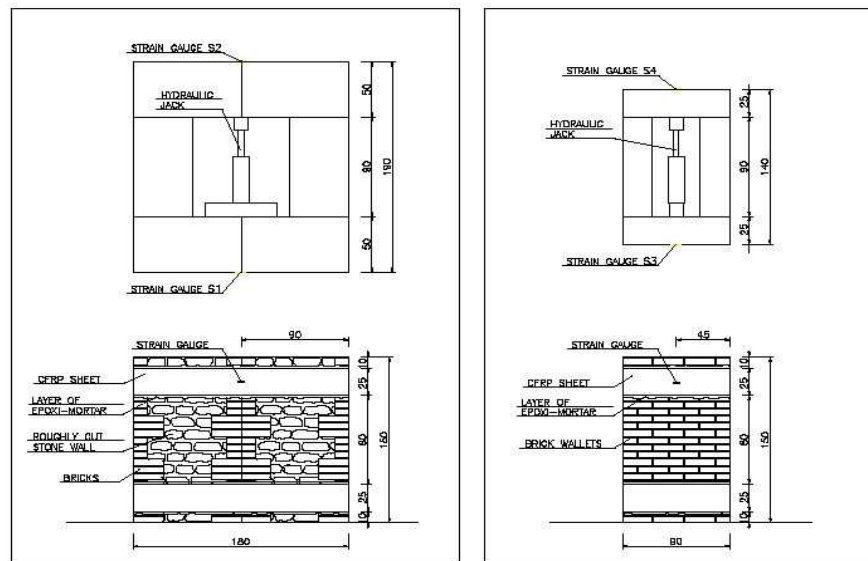
جدول ۱. موارد استفاده از کامپوزیت‌های پایه پلیمری (FRP) به منظور استحکام بخشی در برابر زلزله

	Type of intervention using FRP materials	Related problems
Wood structures	Flexural reinforcement of wood beams using FRP sheets and re-bars epoxy-bonded or inserted in wood-beams in tension zone;	Adhesion between FRP materials and wood/masonry surface;
	Shear reinforcement of wood beams	Aging behavior of reinforcement and adhesion;
Masonry structures	Shear reinforcement of masonry walls using FRP sheets epoxy-bonded to masonry walls or embedding FRP re-bars mounted near the surface of masonry walls;	High and low temperatures behavior;
	Flexural reinforcement of masonry walls	Connections of different shapes of FRP materials;
	Seismic upgrading intervention on masonry vaults using FRP sheets;	Dynamic behavior of the reinforced structures;
	Confinement of masonry columns with FRP sheets;	Types of mortars used in order to leveling masonry surfaces to which the FRP sheets are bonded;
	Provisional intervention in order to put in security damaged masonry buildings;	Creep behavior;
	Connection of multiple leaf masonry walls (re-bars).	Monitoring methods of reinforced structures (adhesion faults, decreases in mechanical properties of new material, etc)

۲- تقویت سازه های بنایی غیر مسلح با استفاده از کامپوزیت‌های پایه پلیمری (FRP)

پیچیدن (Wrapping) کامپوزیت‌های پایه پلیمری به دور سازه های بنایی غیر مسلح، بطور قابل ملاحظه ای استحکام داکتیلیتی این سازه ها را افزایش می دهد. دیواره های سازه های بنایی غیر مسلح معمولاً به طور صحیحی به یکدیگر متصل نیستند و این عامل باعث آسیب پذیر بودن این سازه ها در مقابل زلزله می شود. اگر نیروهایی که به دیوار وارد می شود عمود بر آن باشد و به عبارتی اگر نیروهای وارد شده به صورت برشی باشد در این صورت مکانیزم تخریب دیوارها به صورت فرو ریختن خارج از محور (out-of-plane) می باشد. یکی از کارهایی که انجام شده به این صورت است که در آن ده عدد دیواره آجری برای تولید دو واحد به یکدیگر مونتاژ شده اند. در یکی از واحد ها شش عدد دیواره به صورتی که در شکل ۱ سمت چپ کنار همدیگر قرار می گیرند و ۴ عدد دیواره آجری باقیمانده به صورتی که در شکل ۱ سمت راست کنار همدیگر قرار می گیرند. نتایج کامل این آزمایش در مرجع شماره ۲ آمده است. برای انجام آزمایش بایستی ابتدا سطح دیواره آماده سازی شود. برای این کار گچ های سطح خارجی دیوارها را به وسیله سنگ زنی از بین می برند. برای چسباندن الیاف کربن به سطح دیوارها ابتدا یک لایه رزین اولیه (Epoxy-Prime) به سطح دیوار کشیده می شود سپس یک لایه رزین اشباع به عنوان آستر روی رزین اولیه کشیده شد. الیاف کربن در دو قسمت به دور دیوارها پیچیده شده است. یکی در قسمت بالای دیوار و دیگری در قسمت پایین دیوار و در هر قسمت دو لایه کربن استفاده شده است. از یک جک هیدرولیکی نیز برای ایجاد تنش به دیواره ها در داخل واحد ها استفاده شده است. توسط

این جک هیدرولیکی نیروی با گام ۱۰ KN به دیواره ها وارد می شود که نیرو تا تخریب دیواره ها افزایش پیدا می کند. جزئیات موارد ذکر شده در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: جزئیات قرارگیری لایه های CFRP (کامپوزیت های پایه پلیمری با الیاف کربن) در دیواره های آجری

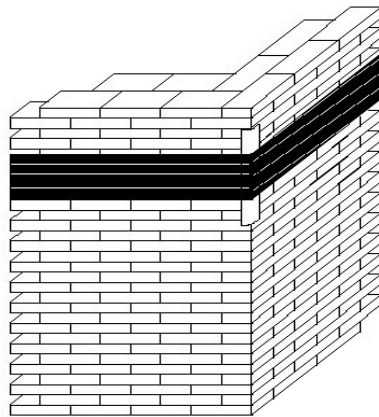
این آزمایش نشان داد که مواد کامپوزیتی، کارآیی خود را تا فرو ریختن دیوارها حفظ می کنند. یکی از نکات قابل توجه در این آزمایش این است که مواد کامپوزیتی از فرو ریختن دیوار و ایجاد آوار جلوگیری می کند. در واقع این مواد کامپوزیتی می توانند آجرها و سنگ ها را در داخل خود نگه دارند. این پدیده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: کارآیی لایه ی کامپوزیتهای پایه پلیمری (FRP) تا فرو ریختن دیوارهای آجری

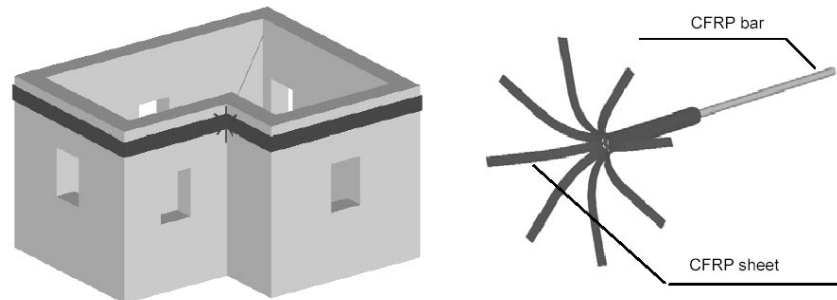
پدیده فروریختن دیوارهای آجری ، خیلی قبل تر از اینکه نیرو به حداکثر خود برسد، شروع می شود. مقدار تغییر شکل اندازه گیری شده، زمانی که نیرو به حداکثر مقدار خود می رسد زیاد است. این موضوع نشان دهنده ی این نکته است که سازه های بنایی غیر مسلح تقویت شده با الیاف های کربن، داکتیلیتی بالایی دارند. توجه به این نکته ضروری است که باید از تیزی گوشه های عمودی دیوار اجتناب کرد. و این بخاطر این است که الیاف های کربن نسبت به نیروهای عمودی استحکام کمی نشان می دهند. برای حل این مشکل از فولادهای "L" شکل با شعاع انحناء (cm) ۲ در گوشه های دیوار استفاده می شود.

(شکل ۳)



شکل ۳: کاربرد فولاد های "L" شکل به منظور پخش نیروها در امتداد دیوار

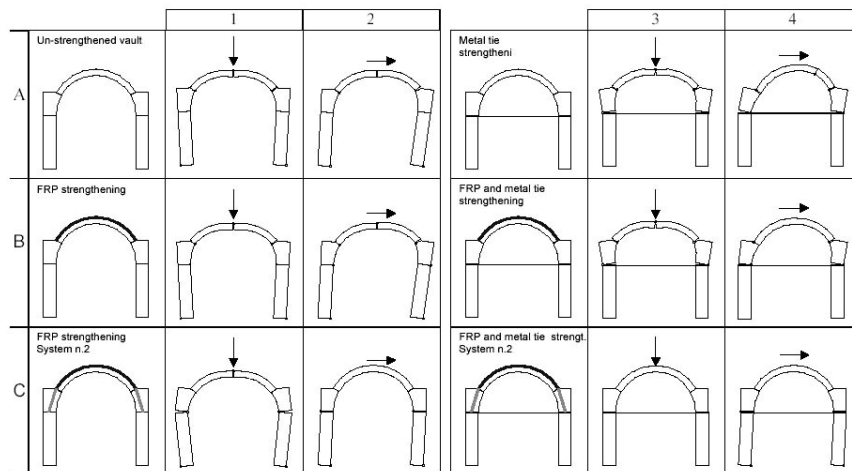
استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری جهت استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح ممکن است به عنوان راه حل موقت یا راه حل قطعی مورد استفاده قرار گیرد. حتی اگر به عنوان یک راه حل موقت مطرح باشد، فواید استفاده از این روش قابل ملاحظه است. این تکنیک برای سازه های غیر مکعبی نیز استفاده می شود. برای جلوگیری و اجتناب از جدایش الیاف ها از سطح این سازه ها یکی از راه حلها استفاده از تاندونهایی می باشد که در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴ و ۵: استفاده از تاندونهای پلیمری برای جلوگیری و اجتناب از جدایش الیاف ها از سطح سازه

۳- بالا بردن مقاومت در برابر زلزله در طاقها و قوسهای سازه های بنایی:

بطور کلی، طاقها نسبت به تغییر شکل رفتار خوبی از خود نشان می دهند. در واقع وقتی که نیرویی به این نوع سازه ها اعمال می شود این نیروها بطور مطلوبی در طول اتصال ملاتنها (mortar joints) پخش می شود یعنی می توان گفت که تغییر فرم ها در طول اتصال ملاتنها پخش می شود. شروع آسیب دیدن و ترک برداشتن این سازه ها، همیشه بخاطر استحکام مواد استفاده شده یا ناتوانی ملاتنها برای انتقال نیرو نیست بلکه در اکثر مواقع بخاطر عاملهای غیر مستقیم می باشد. یکی از معمول ترین اتفاقاتی که در این نوع سازه ها می افتد، حرکت چرخشی دیواره ها یا شکم انداختن تاج (key stone) در اثر اعمال نیروهای وارده است. در اثر اعمال این نیروها، تمرکز تنش در قسمتها داخلی و قسمتی خارجی بوجود می آید که باعث تغییر فرم پلاستیکی در ماده می شود. در اثر این تمرکز تنش، جدایش در قسمتهای مذکور بوجود می آید. شکل ۶ تشکیل این جدایش ها در اثر اعمال نیروهای مورد نظر تحت شرایط مختلف استحکام بخشی را نشان می دهد. همچنانکه در شکل ۶ قسمت C سمت راست مشاهده می شود برای سازه های مورد نظر که تحت نیروهای برشی و فشاری قرار گرفته است، اگر از لایه های کامپوزیتی در سطح خارجی تاج و یک میله بصورت افقی استفاده شود، بهترین نتیجه حاصل می شود.



شکل ۶. مکانیزم جدایش (فرو ریزی) در شرایط مختلف استحکام بخشی

۴- بررسی استحکام برشی سازه های تقویت شده و تقویت نشده:

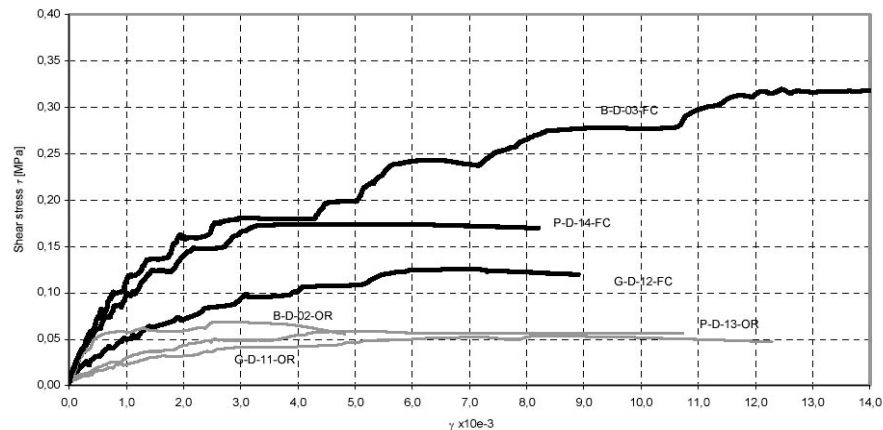
آزمایشهای مختلفی برای تعیین استحکام برشی و قطری سازه های بنایی غیر مسلح تقویت شده بوسیله کامپوزیتهای پلیمری انجام شده است. نتایج این آزمایشها در جداول ۲ و ۳ و شکل ۷ آمده است.

جدول ۲: نتایج آزمایشهای تعیین استحکام برشی (shear compression) در سازه های آجری

Index Code	Strength technique	Texture	Section [cm]	P_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]	G [MPa] Scheme 1	G [MPa] Scheme 2	τ_k [MPa] $b=1.50$
B-T-04-OR	None	double-leaf roughly cut stone masonry	48	180.70	0.219	546	328	0.130
B-T-05-FC	CFRP	double-leaf roughly cut stone masonry	48	241.40	0.352	467	771	0.262
V-T-06-FV	GFRP	double-leaf roughly cut stone masonry	48	231.30	0.334	245	249	0.245
P-T-15-OR	None	double-leaf roughly cut stone masonry	48	100.40	0.172	216	-	0.136

جدول ۳: نتایج آزمایشهای تعیین استحکام قطری (diagonal compression) در سازه های آجری

Index Code	Strength technique	Texture	Section [cm]	P_{max} [kN]	τ_k [MPa]	$G_{1/3}$ [MPa]	$\gamma_{1/3}$
B-D-02-OR	None	one-leaf solid brick masonry	48	34.31	0.069	131	0.136
B-D-03-FC	CFRP	one-leaf solid brick masonry	48	188.25	0.373	100	1.240
G-D-11-OR	None	double-leaf roughly cut stone masonry	57	51.14	0.053	26	0.643
G-D-12-FC	CFRP	double-leaf roughly cut stone masonry	57	121.53	0.127	55	0.699
P-D-13-OR	None	double-leaf roughly cut stone masonry	48	47.66	0.059	37	0.533
P-D-14-FC	CFRP	double-leaf roughly cut stone masonry	48	141.61	0.173	117	0.497



شکل ۷: نتایج آزمایشهای تعیین استحکام قطری (*diagonal compression*) در سازه های آجری) منحنی خاکستری: دیوار تقویت نشده- منحنی مشکی: دیوار تقویت شده توسط کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف کربن (*CFRP*)

اگر ملات سیمانی بین کامپوزیت و دیواره استفاده شود و نمونه ها تحت تنش قرار گیرند، افزایش استحکام برشی معادل ۵۵٪ نسبت به حالتی که استحکام بخشی نشده است، مشاهده خواهد شد. نوع الیاف به کار رفته تاثیری در میزان افزایش استحکام برشی نخواهد داشت. این به دلیل تخریب سازه از فصل مشترک دیواره و ملات می باشد. به عبارتی ضعیف ترین قسمت، فصل مشترک دیواره و ملات می باشد. اما اگر به جای ملات سیمانی از رزین اپوکسی استفاده شود به عبارتی رزین اپوکسی مستقیماً بر روی دیواره کشیده شود و بر روی آن الیاف مورد نظر قرار گیرد، استحکام برشی به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا می کند. در حالی که رزین اپوکسی برای چسباندن کامپوزیت به دیواره ها استفاده شود، این افزایش استحکام برشی نسبت به حالتی که استحکام بخشی نشده است تا ۲۴۰٪ نیز می رسد.

۵- نتیجه گیری:

در این مقاله سعی شد امکان استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری (*FRP*) برای استحکام بخشی و بهبود مقاومت در مقابل زلزله بر روی سازه های بنایی غیر مسلح مورد بررسی قرار گیرد. برای اینکار خلاصه ای از کارهایی که محققان دیگر انجام داده اند، گرد آوری شده است. این تحقیق مربوط به بررسی عملکرد کامپوزیتهای پایه پلیمری جهت استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح می باشد. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی سازه های بنایی غیر مسلح نشان می دهد که مواد *FRP* باعث افزایش استحکام کشش و برشی این سازه ها می شود. استفاده از *CFRP* (کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف کربن) و *GFRP* (کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف شیشه) مورد بررسی قرار گرفته است. سازه های بنایی غیر مسلح بسیاری در داخل ایران وجود دارند که بصورت تقویت نشده می باشند. بسیاری از این سازه ها

جزوی از میراث ملی کشور محسوب می شوند. این سازه ها در مقابل زلزله بیشترین آسیب را می بینند. جایگزین کردن تمامی قطعات زیر استاندارد این سازه ها گران تمام می شود. علاوه بر این برای مرمت و نگهداری بناهای تاریخی کشور به یک روش مبتکرانه نیازمند است. به عنوان یک نتیجه گیری می توان گفت که اکثر این سازه ها نیازمند تقویت در مقابل زلزله می باشد. جدول ۱ مواردی را که می توان از FRP برای استحکام بخشی و بهبود مقاومت در مقابل زلزله استفاده کرد، را نشان می دهد. در این تحقیق تاثیر این نوع استحکام بخشی بر روی سازه های بنایی غیر مسلح مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوشتار موادی که به صورت ابتکاری برای استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح استفاده می شود، بررسی شد

منابع:

- [1] UNI 9091/2, Legno: Determinazione dell'umidità. Metodo per pesata, April 1987.
- [2] UNI ISO 3132, Legno: determinazione della resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura, April 1985.
- [3] UNI ISO 3349, Legno: determinazione del modulo di elasticità a flessione statica, Oct 1984.
- [4] Di Tommaso, A. and Barbieri, A. (1999). Evoluzione delle tecniche per il miglioramento sismico di torri e campanili: impiego degli FRP materials, International Workshop Assisi 99, April 22-24, 1999, Assisi (Pg), 295-308.
- [5] Avorio, A., Borri, A., Corradi, M. and Celestini, G. (1999).
Miglioramento sismico:
sperimentazione e analisi sull'utilizzo dei materiali compositi nelle costruzioni in muratura, L'Edilizia, De Lettera ed., 9-10 sept.-oct., XIII, Milano, 60-71.
- [6] Drdacky, M., Lesak, J. and Avramidou, N. (2002). Behaviour of masonry walls strengthened against seismic effects by yarn composite strips or geo-nets mounted on their surface, 1st International Conference on Vulnerability of 20th Century Heritage to Hazards and Prevention Measures, CICOP, Rhodes, April, 3-5.
- [7] Avramidou, N. (2000). Ricerca sperimentale sulle tecnologie di ripristino/rinforzo sismico di elementi tecnici, per mezzo di placcaggi realizzati con tessuti strutturali, 5th Inter.ational Congress on Restoration of Architectural Heritage, Firenze 2000, Sept.17-24.
- [8] ASTM E 519-81 (1981). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, American Society for Testing Materials.

- [9] Chiostri, S., Galano, L. and Vignoli, A. (2000). On the determination of strength of ancient masonry walls via experimental tests, 12th World Conf. on Earthquake Engineering, cd-rom, Auckland, New Zealand, Paper No. 2564.
- [10] Turnsek, V. and Sheppard, P. F. (1980). The shear and flexural resistance of masonry walls, Research Conf. on Earthquake Engineering., Skopje.
- [11] Borri, A., Corradi, M. and Vignoli, A. (2000). Il comportamento strutturale della muratura nelle zone terremotate dell'Umbria: alcune sperimentazioni, *Ingegneria Sismica*, Patron Ed., XVII, n.3, sept.-dec. 2000, Bologna, 23-33.
- [12] Borri, A., Avorio, A. and Bottardi, M. (2000). Theoretical Analysis and a case study of historical masonry vault strengthened by using advanced FRP. 3rd Inter. Conf. Advanced Composite Materials in Bridge and Structures, August 15-18, Ottawa-Canada, 577-584.
- [13] Avorio, A., Barbieri, A., Borri, A., Corradi, M. and Di Tommaso A. (2001). Comportamento dinamico di volte in muratura rinforzate con FRP-materials: primi risultati, X Conv. Naz.le L'ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, CD rom, Potenza, 9-13 Sept. 2001.
- [14] Faccio, P. and Foraboschi, P. (2000). Experimental and Theoretical Analysis of Masonry Vaults with FRP Reinforcements, 3° International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, August 2000, Ottawa, Canada, 629-636.
- [15] Valluzzi, M.R., Valdemarca, M. and Modena, C. (2001). Experimental analysis and modeling of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates, *ASCE J. of Composites for Construction*. August, 2001.