استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح با استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری (FRP)

شمس الدین شمسایی، عبدالمجید نورتقانی ، روح اله رحِیمی

کلید واژه ها: استحکام بخشی- سازه های بنایی غیر مسلح- کامپوزیتهای پایه پلیمری

چکیده

در این مقاله سعی شده است، امکان استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری (FRP) برا ی استحکام بخشی وبهبود مقاومت درمقابل زلزله برروی سازه های بنایی غیر مسلح مورد بررسی قرار گیرد. برا ی اینکار خلاصه ای ازکارهایی 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 برروی سازه های بنایی غیر مسلح نشان می دهد که مواد FRP باعث افزایش استحکام کشش و برشی این سازه ها می شود . استفاده ازCFRP (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 درداخل ایران وجود دارند که بصورت تقویت نشده می باشند. بسیاری از این سازه ها جزوی ازمیراث ملی کشور محسوب می شوند. این سازه ها درمقابل 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 درمقابل زلزله می باشد. جدول ۱ مواردی را که می توان ازFRP برای استحکام بخشی وبهبود مقاومت در مقابل زلزله استفاده کرد،را نشان می دهد.دراین تحقیق تاثیر این نوع استحکام بخشی برروی سازه های بنایی غیر مسلح مورد بررسی قرار گرفته است.در این نوشتار موادی که به صورت ابتکاری برا ی استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح استفاده می شود، بررسی می شود.

مقدمه

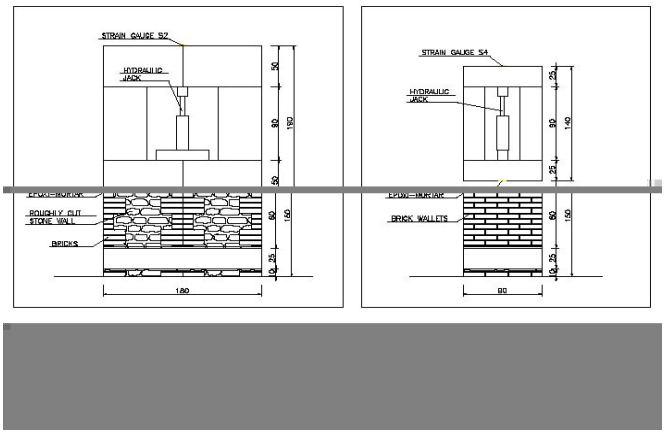
تاکنون تحقیقات قابل ملاحظه ای برروی امکان بهبود خواص مکانیکی سازه های بنایی غیر مسلح با استفاده از تکنیک های مختلف تقویت انجام شده است. برای تقویت استحکام برشی این سازه ها استفاده از میله های فلزی یا تزریق ملات های آهکی یا سیمانی معمول بوده است . در سالهای اخیر استفاده از ورقه ها ، نوارها و تسمه های کامپوزیتهای پایه پلیمری برای تقویت سازه های بتنی بسیار معمول شده است. اما تحقیقات بسیار کمی برروی استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری برا ی استحکا م بخشی سازه های بنایی غیر مسلح انجام شده است. یکی از اولین کارهایی که در این زمینه انجام شده توسط Di Tommaso و همکارانش بود ه که از FRP برا ی افزایش مقاومت در مقابل زلزله برجهای ناقوس استفاده شده است[۱] . در این بخش سعی شده ا ست. که کارها و تحقیقات محققین دیگر که در سالهای اخیر انجام شده، گرد آوری شود

جدول۱- 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; Shear reinforcement of wood beams	Adhesion between FRP materials and wood/masonry surface; 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; Flexural reinforcement of masonry walls Seismic upgrading intervention on masonry vaults using FRP sheets; Confinement of masonry columns with FRP sheets; Provisional intervention in order to put in security damaged masonry buildings; Connection of multiple leaf masonry walls (re-bars).	High and low temperatures behavior; Connections of different shapes of FRP materials; Dynamic behavior of the reinforced structures; Types of mortars used in order to leveling masonry surfaces to which the FRP sheets are bonded; Creep behavior; Monitoring methods of reinforced structures (adhesion faults, decreases in mechanical properties of new material, etc)

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 معمولا به طو ر 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 درآن ده عدد دیواره آجری برای تولید دوواحد به یکدیگر مونتاژ شده اند. در یکی از واحد ها شش عدد دیواره به صورتی که درشکل ۱سمت چپ کنار همدیگر قرار می گیرند و ٤ عدد دیواره آجری باقیمانده به صورتی که در شکل ۱ سمت راست کنار همدیگر قرا ر می گیرند . نتایج کامل این آزمایش در مرجع شماره ۲ آمده است. برا ی انجام آزمایش بایستی ابتدا سطح دیواره آماده سازی شود . برا ی 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 شودسپس یک لایه رزین اشباع به عنوان آستر روی رزین اولیه کشیده شد. الیاف کربن دردوقسمت به دور دیوار ها پیچیده شده است. یکی درقسمت بالای د یوار و دیگر ی در قسمت پایین دیوار و درهر قسمت دولایه 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 گا م KN ۱۰ به دیواره ها وارد می شود که نیرو تا تخریب دیواره ها افزایش پیدا می کند. جزئیات موار د ذکر شده در شکل ۱ آمده است.



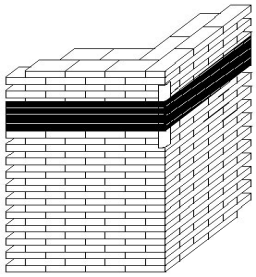
شکل۱- جزییات قرارگیری لایه های CFRP (کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف کربن) در دیواره ی آجری

این آزمایش نشان داد که مواد کامپوزیتی ، کا رآیی خود را تا فروریختن دیوارها حفظ می کنند. یکی از نکات قابل توجه در ا ین آزمایش این است که مواد کامپوزیتی از فروریختن دیوار و ایجاد آوار جلوگیری می کند. در واقع این موا د کامپوزیتی می توانند آجرها و سنگ ها را درداخل خود نگه دارند. این پدیده در شکل۲ نشان داده شد ه است.

شکل۲- کارآیی لایه ی کامپوزیتهای پایه پلیمری (FRP) تا فرو ریختن دیوارهای آجری

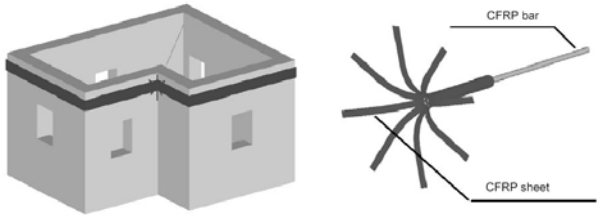
پدیده فروریختن دیوارهای آجری ، خیلی قبل تر از اینکه نیروبه حداکثر خود برسد ، شروع می شود. مقدار تغییر شکل اندازه گیری شده، زمانی که نیرو به حداکثر مقدار خود می رسد زیاد است. این موضوع نشان دهنده ی این نکته است که سازه های بنایی غیر مسلح تقویت شده با

الیاف ها ی 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 فولاد های "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 نیرو ها در امتداد دیوار

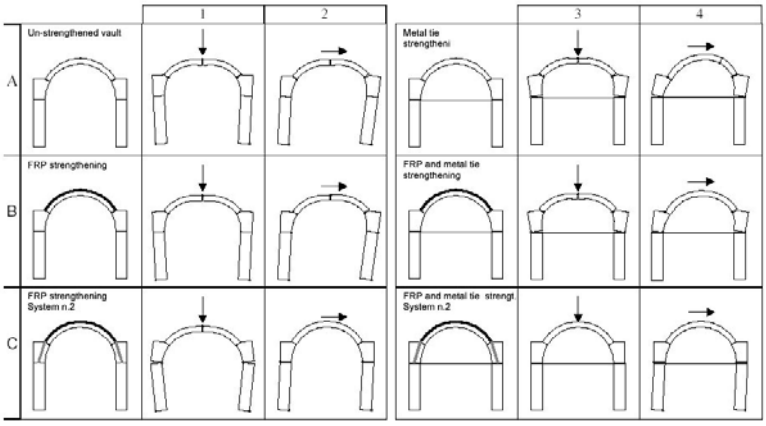
استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری جهت استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح ممکن است به عنوا ن راه حل موقت یا راه حل قطعی مورد استفاده قرار گیرد. حتی اگر به عنوان یک راه حل موقت مطرح باشد، فواید استفاده از این روش قابل ملاحظه است. این تکنیک برای سازه های غیر مکعبی نیز استفاده می شود . برای جلوگیری و اجتناب از جدایش الیاف ها از سطح این سازه ها یکی از راه حلها استفاده از تاندونهایی می باشد که در شکل ٤و ٥ نشان داده شده است.



شکل۴و۵ – استفاده از تاندونهای پلیمری برای جلوگیری و اجتناب از جدایش الیاف ها از سطح سازه

بالا بردن مقاومت در برابر زلزله در طاقها و قوسها ی سازه های بنایی

بطور کلی، طاقها نسبت به تغییر شکل رفتارخوبی ازخود نشان می دهند. درواقع وقتی که نیرویی به این نوع سازه هااعمال می شوداین نیروهابطورمطلوبی درطول اتصال ملاتها (mortar joints) پخش می شود یعنی می توان گفت که تغییر فرم ها در طول اتصال ملاتها پخش می شود. شروع آسیب دیدن و ترک برداشتن این سازه ها ، همیشه بخاطر استحکام مواد استفاده شده یا ناتوانی ملاتها برا ی 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) د راثر اعمال نیروهای وارده است. در اثر اعمال این نیروها ، تمرکز تنشی 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 ٦ تشکیل این جدایش ها در اثر اعمال نیروهای مورد نظر تحت شرایط مختلف استحکام بخشی را نشان می دهد. همچنانکه در شکل ٦ قسمت c سمت راست مشاهده می شود برا ی 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.



شکل۶- مکانیزم جدایش(فرو ریزی) در شرایط مختلف استحکام بخشی

بررسی استحکام برشی سازه های تقویت شده و تقویت نشده

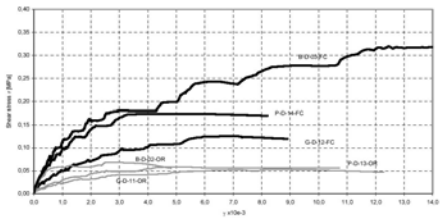
آزمایشهای مختلفی برای تعیین استحکام برشی و قطری سازه های بنایی غیر مسلح تقویت شده بوسیله کامپوزیتهای پلیمری انجام شده است. نتایج این آزمایشها در جداول ۲ و ۳ و شکل ۷ آمده است.

جدول۲- نتایج آزمایشهای تعیین استحکام برشی(shear compression) در سازه ها ی 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

جدول۳- نتایج آزمایشهای تعیین استحکام قطری(diagonal compression) در سازه ها ی 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



شکل۷-نتایج آزمایشهای تعیین استحکام قطری(diagonal compression) در سازه ها ی 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 استحکا م 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 مستقیما" برروی دیواره کشیده شود و برروی 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 استحکا م برشی نسبت به حالتی که استحکام بخشی نشده است تا ۲٤۰٪ نیز می رسد .

نتیجه گیری

تحقیقی که در این مقاله بررسی شد در مورد استحکام بخشی سازه های بنایی غیر مسلح با استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری با الیاف کربن و الیاف شیشه بود. با پیچیدن الیاف به دور سازه های بنایی غیر مسلح از تخریب و آوارش خارج از محور این سازه ها جلوگیری می شود.این تکنیک استحکام بخشی ، می تواند به عنوان را ه حل موقت یا دائم مطرح باشد. در هر حال خصوصیت مثبتی از خود نشان می دهد از جمله اینکه باعث افزایش داکتیلیتی سازه ی بنایی غیر مسلح می شود . برای بررسی استحکام برشی دیواره های آجری که به وسیله الیاف تک جهته کربنی یا شیشه ای استحکام بخشی شده اند. آزمایشاتی انجا م گرفته است. این آزمایشات نشان می دهد که فصل مشترک بین ملات و دیوار کمترین استحکام را از خود نشان می دهند. این ملات بین کامپوزیت و دیواره ی آجری قرار گرفته است و برا ی چسباندن یکنواخت کامپوزیت به دیواره استفاده می شود . وقتی که یک ملات با پایه سیمانی استفاده شود ، تخریب به خاطر جدایش این ملات از روی دیواره شروع می شود . در این حالت افزایش استحکام و سفتی در اثر استفاده از الیاف کربنی و شیشه تقریبا یکسان است. اگر به جای این ملات سیمانی از رزین های اپوکسی استفاده شود ،نتایج بهتری حاصل می شود. اگر دیواره هایی که با دولایه سنگ ساخته شده اند بوسیله کامپوزیتهای پایه پلیمری تحت تنش قرا رگیرند، در این حالت تخریب در اثر جدایش بین لا یه های سنگی اتفاق می افتد اما اگر این لایه ها ازآجر ساخته شده باشد، تخریب در

اثر شکستن آجرها بوجود می آید. در هردو حالت ، استحکام برشی نسبت به حالتی که دیواره ها تقویت نشده باشند، خیلی زیاد است .

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.tional 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- Chiostrini, 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.