

مقایسه شکل پذیری دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP و فولادی

فیاض یوسفی^۱، اصغر وطنی اسکوئی^{۲*}، سعید معدنی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

چکیده

در سازه های بتن مسلح به منظور کاهش تغییر مکان طبقات یکی از روش های ساده استفاده از دیوار برشی می باشد. با توجه به اینکه دیوار برشی دارای سختی مناسب می باشد می تواند تغییر مکان طبقات را به اندازه نیاز لرزه ای محدود بکند. استفاده از میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP در دیوارهای برشی سیستم های سازه های بتن مسلح در کنار مزایای خود می تواند جهت افزایش دوام و طول عمر مفید اینگونه عناصر سازه ای مفید باشد. همچنین در دیوارهایی که تراکم میلگرد فولادی سبب مشکلاتی در ویبره کردن و عمل آوری مناسب بتن می شود جایگزینی میلگردهای کامپوزیت پلیمری با میلگرد های فولادی به علت مقاومت کششی زیاد آن و در نتیجه کاهش سطح مقطع و تعداد میلگرد می تواند کارساز باشد.

در این مقاله ۴۳ نمونه دیوار برشی بتن مسلح با استفاده از تحلیل های استاتیکی و اعمال بار فزاینده به منظور تعیین عملکرد این عناصر سازه ای بررسی شده است. ۲۰ نمونه از آنها دیوار برشی مسلح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP و ۲۰ نمونه دیوارهای برشی مسلح شده با میلگردهای فولادی و تعداد ۴ مدل بابت تاثیر مقاومت فشاری بتن بر عملکرد دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگرد های کامپوزیت پلیمری GFRP در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد های کامپوزیت پلیمری GFRP قابلیت تحمل تغییر مکان و نیروی جانبی بیشتری را نسبت به دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد فولادی را دارد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی، تغییر مکان، میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP، شکل پذیری.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	شناسه دیجیتال:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2017.74841.1059	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.74841.1059	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	۱۳۹۶/۰۶/۲۴	۱۳۹۶/۰۶/۲۴	۱۳۹۶/۰۵/۲۶	۱۳۹۵/۱۱/۰۷
			اصغر وطنی اسکوئی		*نویسنده مسئول:	
			asvatani@gmail.com		پست الکترونیکی:	

Comparison of Ductility in the Shear Walls Reinforced with GFRP and Steel Rebars

F.Yousefy¹, A.Vatani Oskouei^{2*}, S.Maadani³

1-Masters student, Department of Civil Engineering, Takestan branch, Islamic Azad university, Takestan,Iran

2- Assoc. Prof, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Takestan branch, Islamic Azad university, Takestan,Iran

ABSTRACT

In concrete structures in order to reduce the drift, one of the simple methods are using a shear wall. Due to the fact that the shear wall has a suitable stiffness, it can limit the displacement of the story as much as the seismic demand. The use of GFRP polymer composite rebar in concrete shear walls of along with its advantages, can be useful for increasing the durability and service life of such structural elements. Also, in concrete shear walls where the congestion of steel reinforcement causes problems in vibration and quality of concrete, replacement of polymer composite rebar with steel rebar due to its high tensile strength, thus reducing the cross-sectional area of reinforcing element.

In this study 43 shear walls was analysed subjected to pushover analysis to determination the amount of ductility and lateral strength. 20 models of them reinforced by GFRP polymer composite reinforcement rebar and 20 models reinforced by steel reinforcements, and for three last models difference concrete compression amount was used. The results show that the reinforced shear wall with GFRP polymer composite reinforcement has the ability to withstand displacements and greater lateral force than the steel reinforced steel walls.

ARTICLE INFO

Received: 26/01/2017

Revised: 17/08/2017

Accepted: 15/09/2017

Keywords:

Shear wall

Reinforce Concrete
composite fibers

GFRP reinforcement
ductility

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.74841.1059

*Corresponding author: A.Vatani Oskouei.

Email address: asvatani@gmail.com

۱- مقدمه

در ساختمانهای بتن مسلح، استفاده از دیواربرشی باعث افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه می گردد ولی در سازه هایی بتن مسلحی که در معرض شرایط مهاجم محیطی قرار می گیرند و امکان زوال میلگردهای فولادی در طول بهره برداری این عناصر در شرایط محیطی خوردنده وجود دارد به منظور افزایش دوام و عمر مفید سیستم های سازه ای لازم است از مصالحی که توانایی عملکرد مناسبی در برابر شرایط محیطی مهاجم را دارند و دارای مقاومت مناسبی هستند استفاده گردد [۱].

محمد و همکارانش [۲، ۳، ۴، ۵، ۶] با توجه به تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که دیوارهای برشی که با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP تسلیح شده اند، مقاومت جانبی مناسبی در مقایسه با دیوارهای برشی که با میلگردهای فولاد تسلیح شده اند را دارا می باشند. دیوار برشی بتنی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP تا تغییر مکان نسبی دو درصد که معادل ۸۰ درصد مقاومت نهایی خود می باشد دارای عملکرد خطی بوده و ترک های ایجاد شده، پس از بار برداری بسته می شوند. با توجه به اینکه ضریب الاستیسته میلگردهای ساخته شده از کامپوزیت پلیمری GFRP در مقایسه با میلگردهای فولادی کمتر می باشد، تغییر مکان ایجاد شده آن زیادتر و عرض ترک آن نیز بیشتر می باشد. توتانچی و دنگ [۷] در نتیجه تحقیقات خود نشان دادند که تغییر مکان نمونه های تسلیح شده با میلگردهای فولادی حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد نمونه بتنی مسلح شده با میلگرد پلیمری FRP می باشد. سوریچ و همکاران [۹] در بررسی عملکرد نمونه های بتنی مسلح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری FRP نشان دادند که خیز و عرض ترکها و تعداد گستردگی آنها نسبت به نمونه های تسلیح شده با میلگرد های فولادی به میزان قابل ملاحظه ای بیشتر می باشد. شایان ذکر است که تغییر مکان غیر خطی خمشی و برشی دیوار اثر مهمی در پاسخ سازه در برابر نیروهای جانبی دارد [۱۰]. گرچه اکثر کارهای تحقیقاتی (آزمایشگاهی و عددی) بجای تخمین قابلیت تغییر مکان این عناصر تحت بار نهایی، بیشتر بر روی پیش بینی ظرفیت باربری جانبی این عناصر تکیه دارند [۱۱].

در این مقاله مقایسه پارامترهای مقاومت، تغییر مکان و شکل پذیری دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP و دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگرد فولادی صورت گرفته شده است. همچنین تاثیر پارامترهایی همچون مقاومت بتن، قطر میلگرد و ابعاد هندسی دیوار بر عملکرد لرزه ای دیوارهای بتن مسلح تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری بررسی شده است.

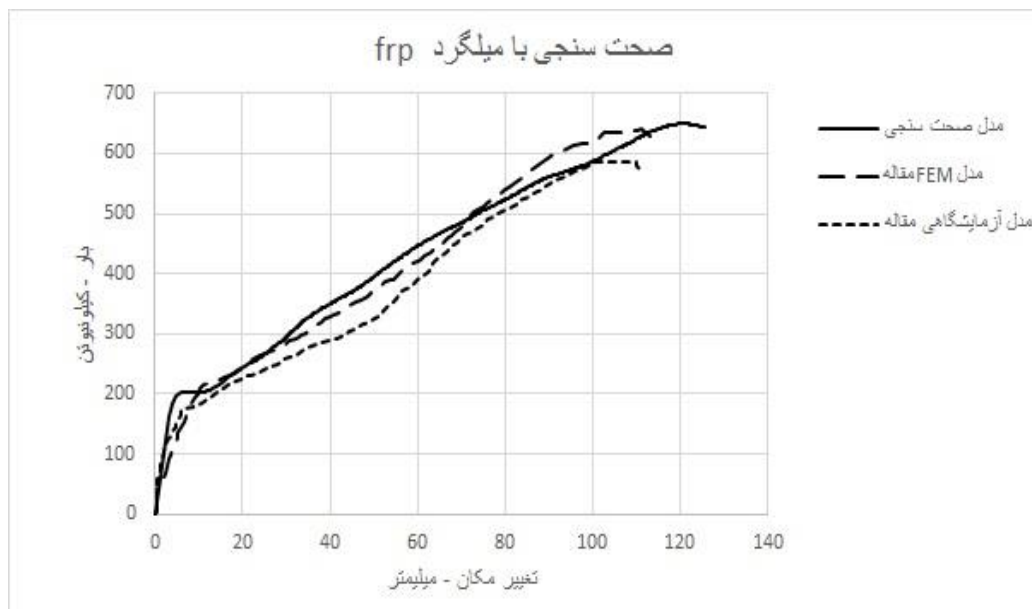
۲- مدل اجزای محدود

۲-۱- صحت سنجی مدل اجزای محدود

جهت صحت سنجی پارامترهای مدل سازی، مطالعه آزمایشگاهی انجام شده توسط محمد و همکاران [۲] انتخاب گردید. دیوار برشی آزمایش شده به ابعاد $3500 \times 1500 \times 200$ میلی متر، بتن مورد استفاده دارای مقاومت فشاری $f_c' = 39/9 \text{ MPa}$ و کرنش $\epsilon_{cu} = 0/0.35$ می باشد. میلگردهای افقی و عمودی از جنس کامپوزیت پلیمری GFRP به ترتیب شماره #۴ به مساحت $126/7$ میلی مترمربع با فاصله ۸۰ میلی متر، و شماره #۳ به مساحت $71/3$ میلی مترمربع با فاصله ۱۲۰ میلی متر انتخاب شده است. در جدول شماره ۱ مشخصات هندسی و مکانیکی میلگرد های پلیمری استفاده شده ارائه شده است. میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP دارای عملکرد خطی بوده و در مدل اجزای محدود اتصال و پیوستگی بین بتن و میلگرد بصورت کامل در نظر گرفته شده است. مقایسه نتایج این تحقیق و محمد و همکاران [۲] در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به شکل ۱، همخوانی مناسبی بین نتایج این تحقیق و کار تحقیقاتی محمد و همکاران [۲] مشاهده میشود.

جدول ۱- مشخصات میلگرد GFRP انتخاب شده در مقاله [۲]

Bar (GFRP)	d_b (mm)	A_f (mm ²)	E_f (GPa)	F_{fu} (MPa)
#3	۹/۵	۷۱/۳	۶۶/۹	۱۴۱۲
#4	۱۲/۷	۱۲۶/۷	۶۹/۶	۱۳۹۲



شکل ۱: مقایسه نمودار حاصله از تحلیل در این تحقیق با مقاله محمد و همکاران [۲]

۲-۲- روند محاسبه شکل پذیری مکانی دیوارهای تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP

در محاسبه شکل پذیری تغییر مکانی، با استفاده از نتایج حاصله و منحنی ظرفیت بدست آمده از تحلیل دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP و دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد فولادی، طبق نظرات محققان پریستلی و کووالسکی [۱۲]، محمد و همکارانش [۶،۵،۴] و وطنی اسکویی [۱۳] از روند زیر استفاده شده است.

(۱) مقدار حداکثر تحمل بار P_u و تغییر مکان $\Delta_{capacity}$ همسان آن تعیین می‌گردد.

برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی بعد از اینکه بار نهایی ۲۰ درصد افت کرد ($0.8P_u$) و تغییر مکان‌های همسان آن Δ_u مشخص می‌گردد (شکل ۳). در صورتیکه برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP از منحنی بار تغییر مکان ۲۰ درصد مانده به بار نهایی ($0.8P_u$) (شکل ۲) و تغییر مکان متقابل به آن تعیین می‌گردد.

(۲) مقدار $0.4 P_u$ در روی نمودارها مشخص می‌گردد.

(۳) برای دوخطی کردن نمودارها، خطی موازی محور تغییر مکان از نقطه $0.8P_u$ رسم می‌گردد.

(۴) خطی از مبدأ مختصات طوری رسم می‌گردد، تا از نقطه $0.4 P_u$ در روی نمودار عبور کند.

(۵) خط افقی طوری رسم می‌گردد، تا مساحت زیر و روی نمودار ظرفیت اصلی با نمودار دوخطی برابر گردد (فرض بر رفتار الاستو پلاستیک کامل است).

(۶) مقدار تغییر مکان نقطه تلاقی منحنی دوخطی را از روی منحنی را محاسبه و مقدار آن را برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی Δ_y و برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای GFRP را با Δ_e نمایش داده شود.

(۷) تغییر مکان متقابل با $0.8P_u$ را به عنوان تغییر مکان حداکثر Δ_u در نظر گرفته می‌شود.

(۸) برای محاسبه مقدار شکل پذیری در دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری FRP از تقسیم مقدار Δ_u بر Δ_e و برای دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد فولادی از تقسیم مقدار Δ_u بر Δ_y به قرار زیر بدست می‌آید.

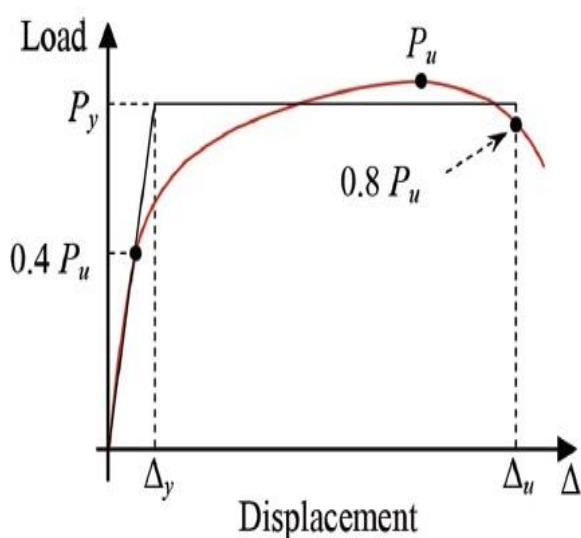
برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای GFRP

$$\mu_{uf} = \frac{\Delta_u}{\Delta_e} \quad (1)$$

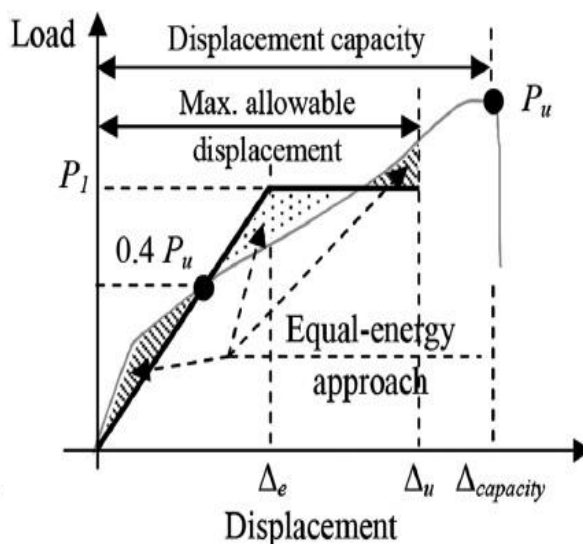
$$\mu_{us} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

برای دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی

$$(2)$$



شکل ۳: نمودار دوخطی در دیوار برشی با میلگرد فولادی [4]



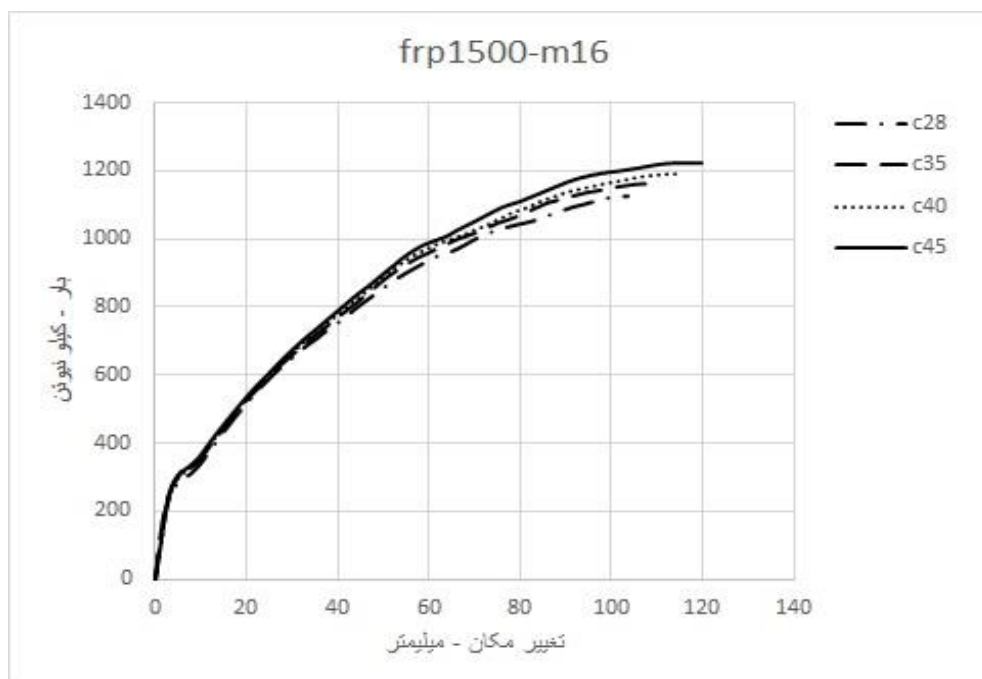
شکل ۴: نمودار دوخطی در دیوار برشی با میلگرد GFRP [4]

۳-۲- نام گذاری مدل‌های مورد مطالعه

مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP و دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی در قطرهای ۱۰-۱۲-۱۸-۱۶-۱۴ میلی‌متر می‌باشد و بقرار زیر نامگذاری گردیده است. در نامگذاری نمونه ابتدا نوع میلگرد GFRP یا steel بیان شده است. بعد از آن به علت ثابت بودن ضخامت (۲۰۰ میلی‌متر) و ارتفاع دیوار برشی (۳۵۰۰ میلی‌متر) در تمام مدل‌ها فقط مقدار عرض دیوار برشی که متغیر است برحسب میلی‌متر ذکر می‌گردد. همچنین بعد از حرف m قطر میلگرد بیان شده است. بطور مثال frp1250-m10 یعنی دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP با عرض ۱۲۵۰ میلی‌متر (ابعاد دیوار برشی ۲۰۰ × ۱۲۵۰ × ۳۵۰۰ میلی‌متر) و قطر ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین steel1500-m14 یعنی دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد فولادی با عرض ۱۵۰۰ میلی‌متر (ابعاد دیوار برشی ۲۰۰ × ۱۵۰۰ × ۳۵۰۰ میلی‌متر) با میلگرد به قطر ۱۴ میلی‌متر می‌باشد.

۳- تاثیر مقاومت بتن بر عملکرد دیوار برشی

به منظور بررسی تاثیر مقاومت بتن بر عملکرد دیوار برشی و بطور نمونه دیوار برشی با ابعاد frp1500-m16 از بتن‌های با رده C28-C35 به C40-C45 (مقاومت فشاری ۲۸ الی ۴۵ مگاپاسکال) جهت رفتار دیوار تسلیح شده با میلگرد پلیمری GFRP استفاده گردید که نتایج تحلیل در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴: نمودارهای تاثیر مقاومت مشخصه بتن در رفتار دیوار برشی

با توجه به شکل ۴ با افزایش مقاومت بتن، مقاومت نهایی دیوار برشی ($0.8P_u$) به ترتیب ۸۹۹، ۹۳۰، ۹۵۵ و ۹۷۹ کیلونیوتن (برای بتن C28 الی C45) بدست آمده است. شکل پذیری نمونه دیوار با افزایش مقاومت بتن نیز افزایش یافته است که با توجه به مقاومت بتن مقدار شکل پذیری بترتیب ۱/۶۰۶، ۱/۶۹۷، ۱/۷۶۷ و ۱/۸۴۰ بدست آمده است. نتایج عددی در جدول ۲ ارائه شده است

جدول ۲- مقادیر شکل پذیری در دیوار برشی با عرض ۱۵۰۰ میلی متر (تغییر مکان بر حسب mm و بار بر حسب kN)

جنس میلگرد	قطر میلگرد (mm)	نوع بتن (Mpa)	P_u (kN)	Δ_{max} (mm)	$0.8P_u$ (kN)	Δ_u (mm)	P_e (kN)	Δ_e (mm)	مقدار شکل پذیری
GFRP	m16	C28	۱۱۲۳	۱۰۳/۶۹۵	۸۹۹	۵۴/۰۶۸	۴۴۹	۳۳/۶۶۵	۱/۶۰۶
GFRP	m16	C35	۱۱۶۲	۱۱۰/۹۱۶	۹۳۰	۵۵/۷۲۵	۵۴۱	۳۲/۸۴۶	۱/۶۹۷
GFRP	m16	C40	۱۱۹۴	۱۱۴/۵۶۱	۹۵۵	۵۶/۹۵۰	۶۱۲	۳۲/۲۳۸	۱/۷۶۷
GFRP	m16	C45	۱۲۲۴	۱۱۹/۶۴۶	۹۷۹	۵۸/۲۵۰	۶۹۵	۳۱/۶۶۴	۱/۸۴۰

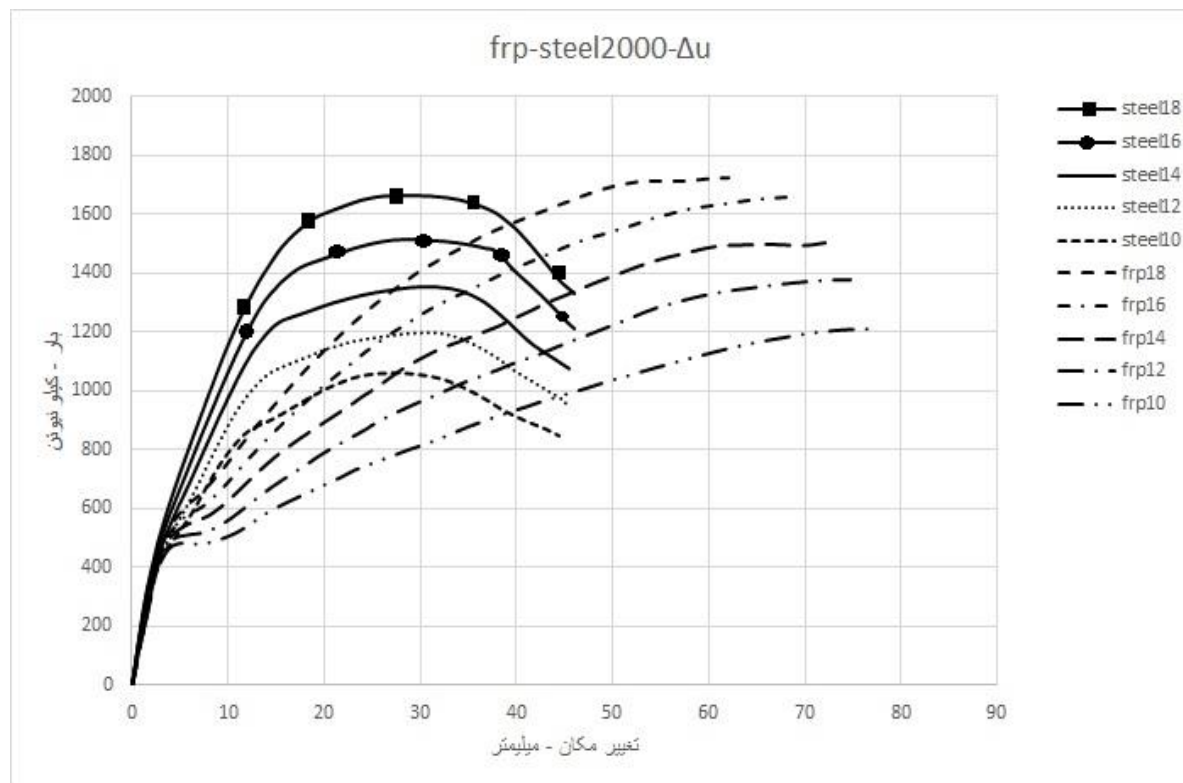
۴- بررسی مدل های اجزای محدود دیوار برشی

مدل های مورد بررسی جهت محاسبه مقادیر مقاومت دیوارها و شکل پذیری آنها به قرار زیر انتخاب شده است.

- ۱- مدل دیوار برشی با ابعاد $2000 \times 2000 \times 3500$ mm مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP با قطر ۱۰-۱۸-۱۶-۱۴-۱۲ میلیمتر
- ۲- مدل دیوار برشی با ابعاد $2000 \times 1750 \times 3500$ mm مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP با قطر ۱۰-۱۸-۱۶-۱۴-۱۲ میلیمتر
- ۳- مدل دیوار برشی با ابعاد $2000 \times 1500 \times 3500$ mm مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP با قطر ۱۰-۱۸-۱۶-۱۴-۱۲ میلیمتر
- ۴- مدل دیوار برشی با ابعاد $2000 \times 1250 \times 3500$ mm مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP با قطر ۱۰-۱۸-۱۶-۱۴-۱۲ میلیمتر

۴-۱- مدل های دیوار برشی با ضخامت ۲۰۰۰ میلیمتر (GFRP&steel2000-m(10-12-14-16-18)

نتایج تحلیل اجرای محدود دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد های کامپوزیت پلیمری و فولاد در شکل ۵ و جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۵: نمودار های دیوار برشی با عرض ۲۰۰۰ میلی‌متر تسلیح شده با میلگرد های فولادی و GFRP

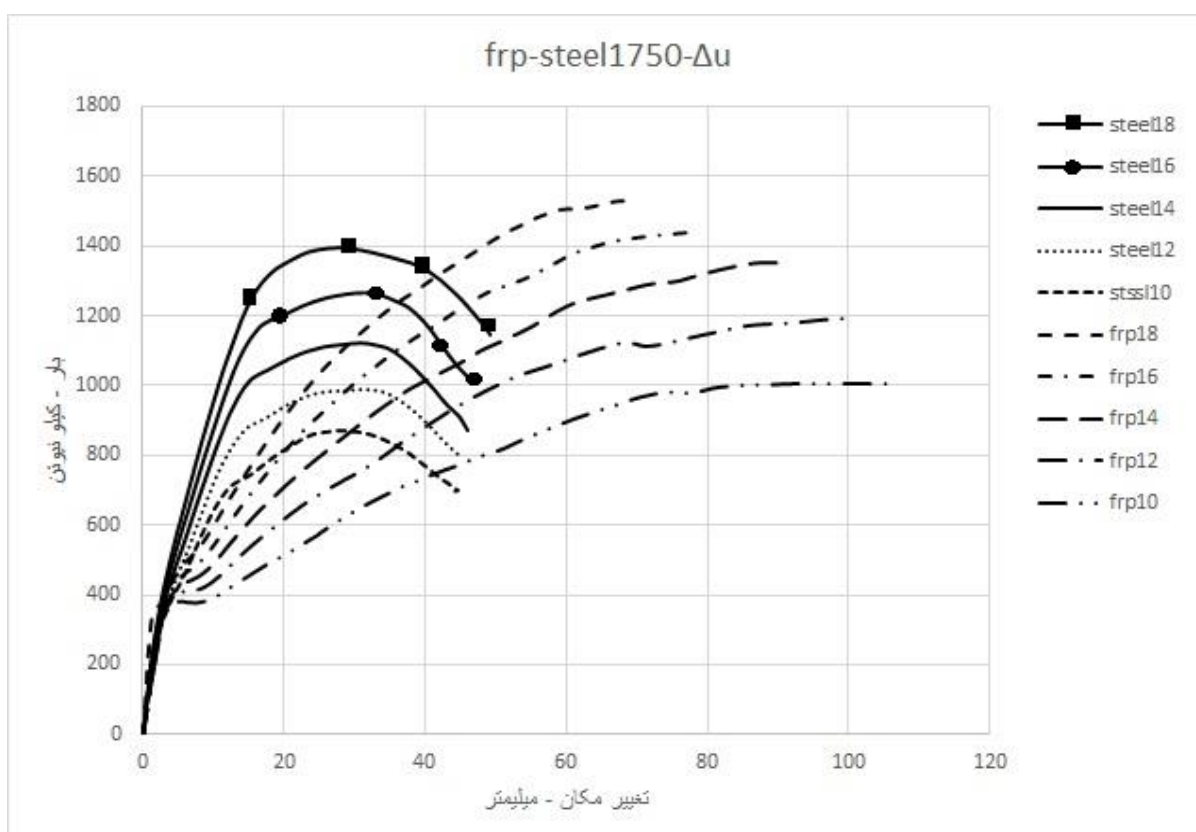
جدول ۳- محاسبه شکل پذیری در دیوار برشی به عرض ۲۰۰۰ میلی‌متر (تغییر مکان بر حسب mm و بار بر حسب kN)

جنس میلگرد	قطر میلگرد (mm)	P_u (kN)	Δ_{max} (mm)	$0.8P_u$ (kN)	Δ_u (mm)	P_e, P_y (kN)	Δ_e, Δ_y (mm)	مقدار شکل پذیری
GFRP	۱۸	۱۷۲۴	۶۲/۱۳	۱۳۷۹	۲۸/۶۴۷	۱۰۸۱	۱۸/۱۴۳	۱/۵۷۹
	۱۶	۱۶۶۱	۶۸/۸	۱۳۲۹	۳۴/۰۸۶	۱۰۱۱	۱۹/۶۲۸	۱/۷۳۷
	۱۴	۱۵۰۱	۸۶/۵۳	۱۲۰۱	۳۸/۳۸۲	۹۰۸	۲۰/۶۹۲	۱/۸۵۵
	۱۲	۱۳۷۸	۷۴/۸	۱۱۰۲	۴۱/۱۵۵	۸۰۵	۲۰/۸۸۲	۱/۹۷۱
	۱۰	۱۲۱۴	۷۷/۶۳	۹۷۱	۴۳/۱۷۱	۶۹۹	۲۱/۱۸۳	۲/۰۳۸
STEEL	۱۸	۱۶۶۲	۱۹/۶۶	۱۳۳۰	۴۶/۰۱۸	۱۱۶۴	۱۰/۳۰۰	۴/۴۶۸
	۱۶	۱۵۱۴	۲۲	۱۲۱۱	۴۵/۹۴۵	۱۰۲۵	۹/۳۲۰	۴/۹۳۰
	۱۴	۱۳۵۱	۳۰/۴۶	۱۰۸۱	۴۵/۴۹۱	۸۹۷	۸/۹۱۳	۵/۱۰۴
	۱۲	۱۱۹۹	۳۰/۳۸	۹۵۹	۴۵/۰۳۰	۷۷۵	۸/۱۲۰	۵/۵۴۶
	۱۰	۱۰۶۰	۲۷/۵۰	۸۴۸	۴۴/۴۳۸	۶۷۸	۷/۶۸۴	۵/۷۸۳

با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۵ و جدول ۳، حد اکثر باربری P_u دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP از دیوار تسلیح شده با میلگرد فولادی با همان مشخصات حدود $1/108$ برابر بیشتر بوده است. همچنین تغییر مکان حداکثر ایجاد شده در دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد GFRP حدود $2/883$ برابر بیشتر از دیوار برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی می باشد. ولی با توجه به انتخاب معیارهای بیان شده برای شکل پذیری، شکل پذیری دیواربرشی های تسلیح شده با فولاد در بطور متوسط حدود $2/814$ برابر بیشتر از دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP می باشد.

۲-۴- مدل دیوار دیواربرشی (10-12-14-16-18) GFRP-steel1750-m

نتایج ناشی از تحلیل در نمونه های دیواربرشی با ضخامت ۱۷۵۰ میلی متر در شکل ۶ و جدول ۴ ارائه شده است



شکل ۶: نمودار های دیوار برشی با عرض 1750 میلیمتر تسلیح شده با میلگرد های فولادی و GFRP

جدول ۴: محاسبه شکل پذیری در دیواربرشی به عرض 1750 (تغییر مکان بر حسب mm و بار بر حسب kN)

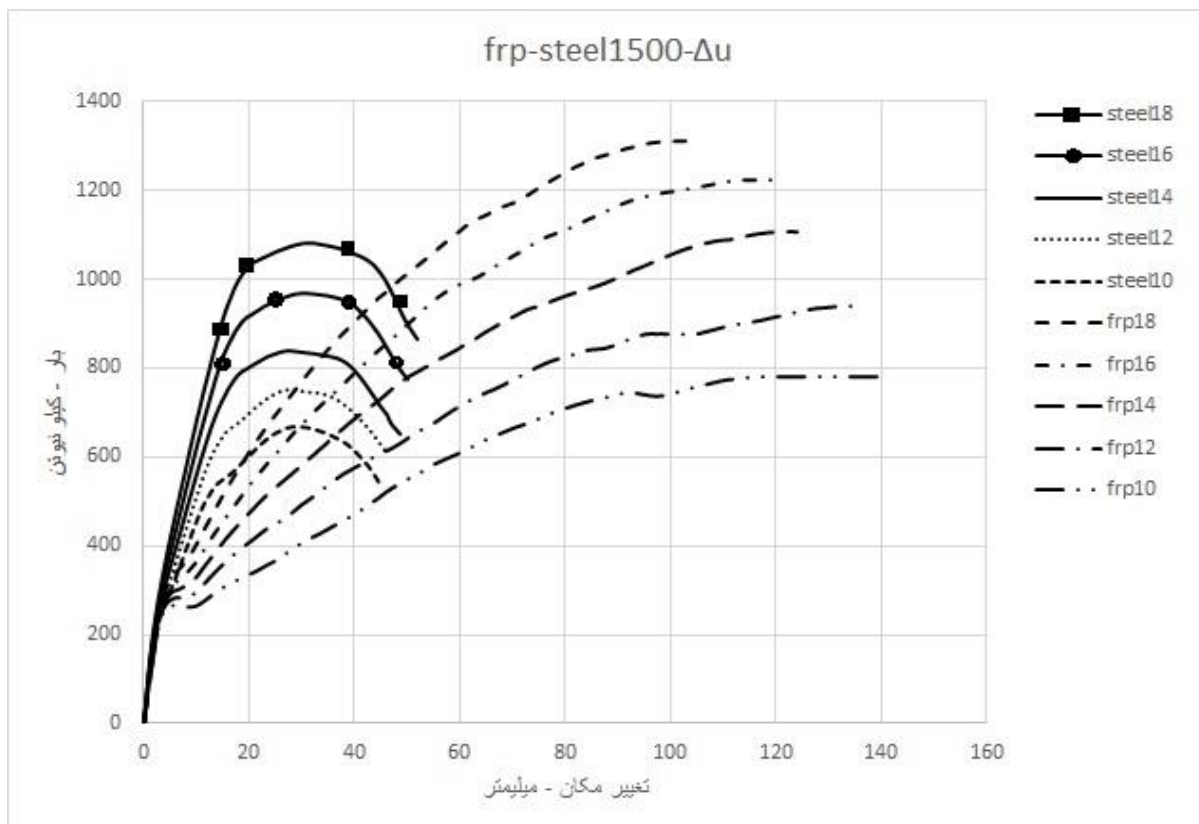
جنس میلگرد	قطر میلگرد (mm)	P_u (kN)	Δ_{max} (mm)	$0.8P_u$ (kN)	Δ_u (mm)	P_e, P_y (kN)	Δ_e, Δ_y (mm)	مقدار شکل پذیری
GFRP	۱۸	۱۵۲۷	۶۸/۱۸۷۸	۱۲۲۲	۳۵/۵۹۸	۹۶۷	۲۲/۲۱۵	۱/۶۰۲
	۱۶	۱۴۴۰	۷۸/۰۵۵۵	۱۱۵۲	۳۹/۶۲۸	۸۷۲	۲۲/۷۰۱	۱/۷۴۶
	۱۴	۱۳۵۱	۹۱/۱۹۳۶	۱۰۸۱	۴۶/۱۳۸	۷۷۵	۲۳/۷۰۴	۱/۹۴۶
	۱۲	۱۱۹۰	۱۰۲/۷۴۳	۹۵۲	۴۵/۷۲۰	۶۵۸	۲۲/۷۲۸	۲/۰۱۲
	۱۰	۱۰۰۵	۱۰۳/۱۲۱	۸۰۴	۴۸/۷۹۰	۵۵۲	۲۳/۱۵۱	۲/۱۰۷
STEEL	۱۸	۱۳۹۳	۲۶/۳۵	۱۱۱۴	۴۹/۲۲۰	۹۸۴	۱۰/۶۲۰	۴/۶۳۵
	۱۶	۱۲۶۸	۳۲/۰۴	۱۰۱۴	۴۷/۴۸۲	۸۳۲	۹/۳۶۲	۵/۰۷۲
	۱۴	۱۱۲۲	۳۰/۰۶	۸۹۸	۴۶/۰۵۰	۷۲۸	۸/۷۸۱	۵/۲۴۴
	۱۲	۹۹۰	۳۱/۱۳	۷۹۲	۴۵/۱۰۸	۵۹۴	۷/۵۰۲	۶/۰۱۳
	۱۰	۸۷۳	۲۷/۸۸	۶۹۸	۴۴/۳۷۵	۵۲۸	۷/۲۶۰	۶/۱۱۲

با توجه به نتایج بدست آمده ظرفیت تحمل حداکثر باربری P_u دیواربرشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP از دیوار تسلیح شده توسط میلگرد فولادی همسان ۱/۱۵۸ برابر بیشتر بوده است. در این نمونه نیز تغییر مکان حداکثر ایجاد شده در دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد GFRP بطور متوسط ۳/۰۱۱ بیشتر از دیوار برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی می باشد. ولی با توجه به انتخاب

معیارهای بیان شده برای شکل پذیری، شکل پذیری دیواربرشی‌های تسلیح شده با فولاد از دیواربرشی تسلیح شده با GFRP با $2/876$ برابر بیشتر می‌باشد.

۳-۴- مدل دیوار برشی (GFRP-steel1500-m(10-12-14-16-18))

نتایج این تحلیل در شکل ۸ و جدول ۵ بصورت عددی ارائه شده است



شکل ۷: نمودارهای دیواربرشی با عرض 1500 مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP

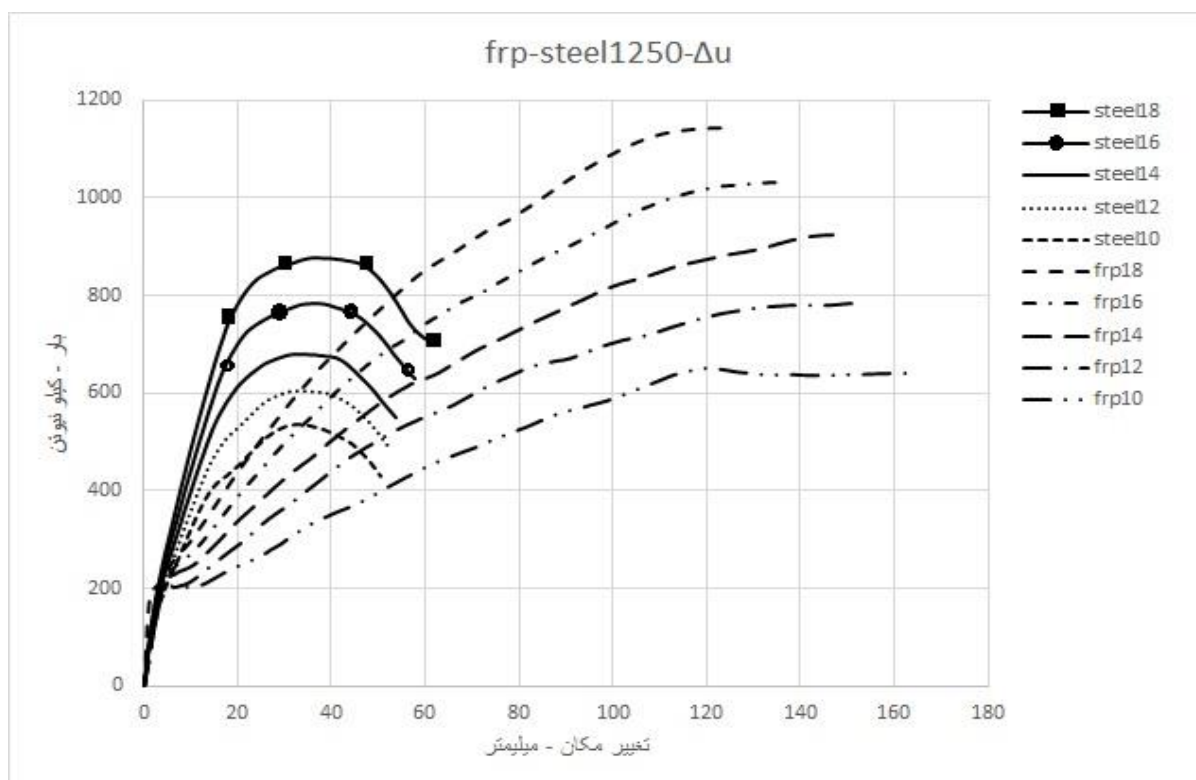
جدول ۵- محاسبه شکل پذیری در دیواربرشی به عرض 1500 (تغییر مکان بر حسب mm و بار بر حسب kN)

جنس میلگرد	قطر میلگرد (mm)	Pu (kN)	Δ_{max} (mm)	0.8Pu (kN)	Δ_u (mm)	Pe,Py (kN)	$\Delta e, \Delta y$ (mm)	مقدار شکل پذیری
GFRP	۱۸	۱۳۱۰	۱۰۳/۱۵	۱۰۴۸	۵۳/۹۶۳	۷۹۲	۳۱/۴۹۳	۱/۷۱۴
	۱۶	۱۲۲۴	۱۱۴/۳۷	۹۷۹	۵۸/۲۵۴	۶۹۵	۳۱/۶۶۴	۱/۸۴۰
	۱۴	۱۱۰۷	۱۲۳/۵	۸۸۶	۶۵/۴۶۰	۶۰۵	۳۲/۱۶۳	۲/۰۳۵
	۱۲	۹۴۱	۱۳۳/۶۵	۷۵۳	۶۶/۳۶۰	۵۱۰	۳۱/۹۶۹	۲/۰۷۶
	۱۰	۷۸۱	۱۳۸	۶۲۵	۶۲/۷۸۷	۳۹۷	۲۸/۶۰۷	۲/۱۹۵
STEEL	۱۸	۱۰۸۱	۳۰/۸۶	۸۶۵	۵۲/۱۱۳	۶۹۶	۱۰/۲۴۰	۵/۰۸۹
	۱۶	۹۷۰	۳۰/۹۹	۷۷۶	۵۰/۲۵۰	۵۹۰	۹/۳۹۰	۵/۳۵۱
	۱۴	۸۴۰	۲۷/۶۳	۶۷۲	۴۸/۶۰۵	۵۱۶	۸/۸۷۰	۵/۴۸۰
	۱۲	۷۵۰	۲۷/۷۴	۶۰۰	۴۶/۳۲۰	۴۲۴	۷/۵۵۰	۶/۱۳۵
	۱۰	۶۶۹	۲۸/۷۸	۵۳۵	۴۵/۰۱۲	۳۸۲	۷/۰۴۰	۶/۳۹۴

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۵ و شکل ۷ ظرفیت تحمل حداکثر باربری P_u دیواربرشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP از دیوار تسلیح شده توسط میلگرد فولادی همسان ۱/۲۴۲ برابر بیشتر بوده است. در این نمونه نیز تغییر مکان حداکثر ایجاد شده در دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد GFRP بطور متوسط ۴/۲۲۳ بیشتر از دیوار برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی می باشد. ولی با توجه به انتخاب معیارهای بیان شده برای شکل پذیری، شکل پذیری دیواربرشی‌های تسلیح شده با فولاد از دیواربرشی تسلیح شده با GFRP ۲/۸۸۷ برابر بیشتر می باشد.

۴-۴- مدل های دیوار برشی (10-12-14-16-18) GFRP-steel1250-m

نتایج در شکل ۸ و جدول ۶ ارائه شده است.



شکل ۸: نمودارهای دیواربرشی با عرض 1250 مسلح شده با میلگردهای فولادی و GFRP

جدول ۶- محاسبه شکل پذیری در دیواربرشی به عرض 1250 میلی متر (تغییر مکان بر حسب mm و بار بر حسب kN)

جنس میلگرد	قطر میلگرد (mm)	P _u (kN)	Δmax (mm)	0.8P _u (kN)	Δ _u (mm)	P _e , P _y (kN)	Δ _e , Δ _y (mm)	مقدار شکل پذیری
GFRP	۱۸	۱۱۴۲	۱۲۳/۱۶۳	۹۱۴	۷۰/۱۷۳	۶۵۳	۳۷/۸۴۱	۱/۸۵۴
	۱۶	۱۰۳۰	۱۳۶/۷۶۳	۸۲۴	۷۵/۴۷۸	۵۸۸	۳۹/۴۵۷	۱/۹۱۳
	۱۴	۹۲۶	۱۴۶/۷۹۹	۷۴۱	۸۲/۰۴۶	۴۹۴	۳۸/۷۲۴	۲/۱۱۹
	۱۲	۷۸۲	۱۵۲/۰۳۱	۶۲۶	۷۶/۰۲۳	۳۹۵	۳۴/۱۹۴	۲/۲۲۳
	۱۰	۶۴۰	۱۶۵/۵۹۳	۵۱۲	۷۷/۰۰۸	۳۰۶	۳۱/۵۷۴	۲/۴۳۹
STEEL	۱۸	۸۷۶	۳۷/۲۹	۷۰۱	۶۱/۷۱۰	۵۴۲	۱۱/۰۷۰	۵/۵۷۵
	۱۶	۷۸۲	۲۵/۷۴	۶۲۶	۵۸/۷۸۰	۴۵۸	۱۰/۳۷۰	۵/۶۶۸
	۱۴	۶۷۸	۳۲/۰۶	۵۴۲	۵۳/۸۸۰	۳۷۹	۹/۱۹۰	۵/۸۶۳
	۱۲	۶۰۲	۴۴/۲۳	۴۸۲	۵۲/۶۳۰	۳۱۷	۸/۳۲۰	۶/۳۲۶
	۱۰	۵۳۶	۳۶/۲۴	۴۲۹	۵۰/۵۵۰	۲۵۸	۷/۰۸۰	۷/۱۴۰

با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۸ و جدول ۶ ظرفیت تحمل حداکثر باربری P_u دیواربرشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP از دیوار تسلیح شده توسط میلگرد فولادی همسان ۱/۲۹۶ برابر بیشتر بوده است. در این نمونه نیز تغییر مکان حداکثر ایجاد شده در دیوار برشی تسلیح شده با میلگرد GFRP بطور متوسط ۴/۲۵۶ بیشتر از دیوار برشی تسلیح شده با میلگردهای فولادی می باشد. ولی با توجه به انتخاب معیارهای بیان شده برای شکل پذیری، شکل پذیری دیواربرشی های تسلیح شده با فولاد از دیواربرشی تسلیح شده با GFRP ۲/۹۰۱ برابر بیشتر می باشد.

۵- نتیجه گیری

- ۱- در دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد GFRP با افزایش مقاومت فشاری بتن از C28 به C45 مقاومت نهایی مدل ۱/۰۹ درصد و شکل پذیری آن ۱/۸۴ درصد افزایش پیدا می کند.
- ۲- در دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP با کاهش قطر میلگرد از ۱۸ به ۱۰ mm مقاومت دیوار حدود ۳۰ درصد کاهش پیدا می کند. ولی در دیواربرشی تسلیح شده با میلگرد فولادی این رقم در حدود ۷ درصد می باشد.
- ۳- دیوار تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP زمانی که قطر میلگرد مساوی دیواربرشی با میلگرد فولادی می باشد مقاومت آن حدود یک و نیم برابر افزایش (که مقدار آن با کاهش ضخامت دیوار تغییر می کند و کاهش می یابد) ولی شکل پذیری دیواربرشی تقویت با GFRP ۳۵٪ تسلیح با فولاد می باشد که تغییرات ضخامت بر شکل پذیری دیوار ناچیز می باشد.
- ۴- مقاومت بتن نسبت به پارامترهای هندسی بر عملکرد دیوار تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری GFRP تاثیر گذار است.
- ۵- سختی ترک خورده دیوارهای تسلیح شده با میلگردهای فولادی بیشتر از سختی دیوارهای ترک خورده تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری هستند و دلیل این کم بودن ضریب الاستیسته میلگردهای کامپوزیت پلیمری GFRP می باشد.

مراجع

- [1] Bazli, M., Ashrafi, H., Vatani Oskouei, A. (2017) "Experiments and probabilistic models of bond strength between GFRP bar and different types of concrete under aggressive environments" *Journal of Construction and Building Materials*, 134.
- [2] Mohamed, N., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., and Neale, K. W. (2014). "Flexure and Shear Deformation of GFRP-Reinforced Shear Walls." *Journal of Composites for Construction*, Vol. 18, Issue 2.
- [3] Mohamed, N., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., and Neale, K. W. (2014). "Experimental Investigation of Concrete Shear Walls Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Bars under Lateral Cyclic Loading" *Journal of Composites for Construction*, Vol. 18, Issue 3.

- [4] Mohamed, N., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., (2015) "Aspects of Deformability of Concrete Shear Walls Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Bars" *Journal of Composites for Construction*, Vol. 19, Issue 5.
- [5] Mohamed, N., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., and Neale, K. W. (2014). Numerical simulation of mid-rise concrete shear walls reinforced with GFRP bars subjected to lateral displacement reversals" *Journal of Engineering Structures*, 73.
- [6] Mohamed, N., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., and Neale, K. W. (2014) "Drift Capacity Design of Shear Walls Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars" *ACI Structural Journal*, V. 111, No. 6.
- [7] Toutanji, H. and Deng, Y. (2003) "Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods" *Construction and Building Materials*, Vol. 17, 69-74.
- [8] Toutanji H, Saafi M. (2000) Flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber reinforced polymer (FRP) bars. *ASCE Struct J*; 97(5): 712-9.
- [9] Soric, Z., Kisicek, T. and Galic, J. (2010) "Deflections of concrete beams reinforced with FRP bars", *Materials and Structures*, 43: 73-90.
- [9] Ashrafi, H., Bazli, M. and Vatani Oskouei, A. (2017) "Enhancement of bond characteristics of ribbed-surface GFRP bars with concrete by using carbon fiber mat anchorage" *Journal of Construction and Building Materials* 134.
- [10] Massone, L. M., and Wallace, J. W. 2004. Load - deformation responses of slender reinforced concrete walls. *ACI Structural journal*, 101(1): 103-113.
- [11] Nuclear Power Engineering Corporation of Japan (1996), Comparison report. Seismic shear wall ISP. NUPEC's seismic ultimate dynamic response test. Report No. NU-SSWISP-D014, Organization for economic co-operation and development, Paris; p. 407.
- [12] Priestley, M. J. N., and Kowalsky, M. J. (1998). "Aspects of drift and ductility capacity of rectangular structural walls." *Bull. N. Z. Nat. Soc. Earthquake Eng.*, 31.
- [13] Vatani Oskouei, A. (2017) "Concrete Structure, reinforced with FRP rebar", Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, 390 (In Farsi).