

# The Effect of FRP Wrapping on Seismic Behavior of Concrete Frame Elements

Hamed Makhdoumi<sup>1</sup>, Asiye Aryanezhad<sup>2</sup>, Reza Rahgozar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Saravan Branch, Islamic Azad University, Saravan, Iran & Young Researchers and Elite Club, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

<sup>2</sup> Civil Engineering Students, Saravan Branch, Islamic Azad University & Young Researchers and Elite Club, Saravan Branch, Islamic Azad University, Saravan, Iran.

<sup>3</sup> Ph. D., Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

## Abstract

In recent years, huge budgets were spent on reconstruction and repair of concrete structures. Retrofitting concrete elements with FRP composite materials is a relatively new technique. Considering the existing problems, some measures and studies were conducted in recent years on retrofitting beams, columns and joints in reinforced concrete structures with FRP composites. However, there is no study on concrete frames composed of framing members (beams, columns and joints), fixing weaknesses leading to failure modes and improving them. In the present study, due to the advantages of composite wrapping, the behavior of reinforced concrete frames wrapped by FRP fibers was examined. FRP wrapping leads to concrete confinement as well as increased flexibility and load-bearing of concrete frames. The columns externally wrapped with FRP sheets or strips is the most common form of retrofitting RC frames with FRP materials.

Keywords: FRP Composites, strengthening , flexibility, FRP wrapping , reinforced concrete frame, load-bearing .

## ارزیابی تأثیر دورپیچ FRP در رفتار لرزه ای اعضای قابهای بتنی

حامد مخدومی<sup>۱</sup>، آسیه آریانژاد<sup>۲</sup>، رضا رهگذر<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سراوان، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

۲- دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد سراوان، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد سراوان

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

### چکیده

درسالهای اخیر بودجه های هنگفتی صرف بازسازی و تعمیر سازه های بتنی شده است. مقاوم سازی اعضای بتنی با مصالح کامپوزیتی FRP روش نسبتاً جدیدی به شمار می رود. با توجه به مشکلات موجود، اقدامات، تحقیقات و مطالعاتی در خصوص مقاوم سازی تیر، ستون ها و اتصالات سازه های بتن آرمه توسط کامپوزیت های FRP در چندسال اخیر انجام گرفته است، ولی با این وجود، تا کنون مطالعات و بررسی های لازم جهت قاب های بتنی متشکل از اعضای قابی ( تیر، ستون و اتصالات) انجام نشده و رفع ضعف های منجر به مدهای گسیختگی و بهسازی آنها صورت نگرفته است. در این مقاله با توجه به مزایای دورپیچ توسط کامپوزیت ها، به بررسی رفتار قاب های بتن آرمه دورپیچ شده توسط الیاف FRP پرداخته شده است. دورپیچ FRP محصورشدگی بتن و در نتیجه افزایش انعطاف پذیری و باربری قاب های بتنی را به دنبال دارد. مرسوم ترین شکل مقاوم سازی قاب های بتن آرمه با مصالح FRP شامل دورپیچ کردن بیرونی ستون با استفاده از ورق ها یا نوارهای FRP است.

**کلمات کلیدی:** کامپوزیت های FRP، مقاوم سازی، انعطاف پذیری، دورپیچ FRP، قاب بتن آرمه، ظرفیت باربری.

## ۱. مقدمه

سازه های بتن آرمه، بخشی از سازه های قابی را تشکیل می دهند که در کشور ما جزو ساختمان های بسیار متداول می باشند، اکثر ساختمانهای بتن آرمه موجود جزء سازه های نیمه مقاوم و با غیر مقاوم طبقه بندی می شوند؛ پس با توجه به این که قابهای بتن آرمه شالوده و چارچوب اصلی سازه های بتن آرمه را تشکیل می دهند، لذا بهسازی و مقاوم سازی آنها نقش مهم و موثری در عملکرد مناسب سازه های مذکور در برابر زلزله ایفاء می کند.

برای مقاوم سازی و بهسازی قابهای بتن آرمه و اعضای مربوطه روشهای متفاوتی مرسوم می باشد، که از مهمترین این روش ها می توان به بهره گیری از ورقه های الباف پلیمری مرکب (FRP) و دورپیچ کردن اعضای قابی با آنها اشاره نمود.

با توجه به کارایی بالای سیستم Jacketing یا Wrapping (دورپیچ) و به علت جلوگیری از شکست های ترد برشی و مودهای مخرب FRP همچون Delamination, Debonding در انتهای تیر و ستون ها (اعضای قابی) از بهترین شیوه های مقاوم سازی، دورپیچ این اعضا با کامپوزیت های FRP می باشند. قابل ذکر است جهت تیرها با توجه به موارد اجرایی دورپیچ بصورت U شکل می باشد و نه بصورت پوشش کامل.

اکثر پژوهش های به عمل آمده در زمینه مقاوم سازی و ترمیم با FRP بر روی تیر، ستون ها متمرکز بوده اند و در این میان بسیار کمتر به قابهای بتن آرمه، که چارچوب اصلی و باربر سازه های بتن آرمه در مقابل بارهای جانبی و زلزله را تشکیل می دهند و متشکل از تیرها و ستون ها و اتصالات می باشند، پرداخته شده است. لذا مطالعات محدود بر روی قابهای بتن آرمه بهسازی شده با کامپوزیت های FRP باعث شد که در این تحقیق رفتار قابهای بتن آرمه دورپیچ شده با این کامپوزیت ها در حالتیهای مختلف تقویت ارزیابی و مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲. کامپوزیت های FRP

FRP ماده کامپوزیتی با مقاومت کششی بالاست که با رزین آغشته شده است که به دلیل مقاومت کششی بالا، وزن پایین، و دوام مناسب (در مقابل خوردگی) دارای کاربرد گسترده در مقاوم سازی سازه های بتنی در مقابل نیروی زلزله است.

کامپوزیت ها موادی هستند که از ۲ قسمت تشکیل یافته اند. قسمت اول از ماده کامپوزیت که قسمت باربر آن نیز محسوب می شود، الیاف هستند. قسمت دوم که بیشتر نقش نگهداری الیاف را در کنار یکدیگر بر عهده دارد، چسب یا رزین نامیده می شود. (شکل ۱) [1]



شکل ۱- اجزای تشکیل دهنده FRP [2]

## ۳. کاربرد مواد کامپوزیت

مواد کامپوزیت بر حسب نوع الیاف و رزین انتخابی و نحوه ترکیب آنها با یکدیگر، کاربردهای بسیار متنوعی را دارا می باشند.

در جدول زیر به برخی از کاربردهای مواد FRP در انواع المانهای سازه ای اشاره گردیده است.

جدول ۱- موارد کاربرد کامپوزیتها در انواع المانهای سازه ای [3]

المان	کاربرد	
	GFRP	CFRP
ستون	یک جهته	یک جهته
	شکلک	مستطیل
	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆
تیر	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆
دیوار	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆
دال	☆ ☆	☆ ☆
	☆ ☆	☆ ☆

☆ این توان استفاده کرد  
 ☆ ☆ (استفاده از آن توصیه می شود)  
 ✕ (کاربرد ندارد)

از ورقه های FRP برای تقویت خمشی، برشی، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای باربر سازه ای چون تیرها، ستون ها، اتصالات، دیوارها و دال های بتن آرمه و حتی عناصر غیر باربر استفاده می شود.

#### ۴. گسیختگی و شکست کلی قابهای بتنی

**الف) شکست برشی ستون ها:** این حالت شکست به علت برش زیاد پایه ستون ها در نتیجه نیروهای جانبی اعمالی به قاب، در پایین ستون ها رخ می دهد. همچنین نیروهای برشی انتقالی به ستون ها ناشی از نیروهای محوری تیرها و نیروهای جانبی اعمالی که سبب شکست قاب در بالای ستون ها می شود، نیز از دیگر عوامل شکست برشی ستون ها می باشد. پس بطور کلی این نوع شکست قاب در نتیجه شکست ستون های آن در بالا و پایین آنها می باشد.

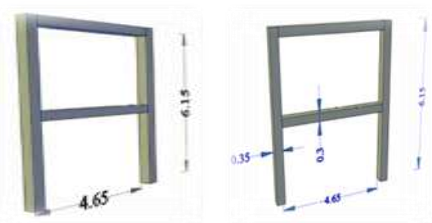
**ب) شکست برشی تیرها:** این حالت شکست قاب با توجه به برش زیاد دو انتهای تیرهای قاب که سبب شکست تیرهای آن می گردد رخ می دهد.

**ج) شکست خمشی تیرها:** این حالت شکست قاب با توجه به نیروهای خمشی زیاد وسط دهانه تیرهای قاب رخ می دهد.

**د) شکست و خردشدگی موضعی:** با توجه به این که بارهای جانبی وارده غالباً در اتصالات قاب های بتن آرمه وارد می گردد و اتصالات نقش انتقال بار از تیرها به ستون ها را دارند پس در جذب بارهای اعمالی نقش مهمی ایفا می کنند. پس خردشدگی موضعی در اثر بارهای سیکلی، تمرکز تنش و ازدحام آرماتور در ناحیه اتصال و به دنبال آن گسیختگی کل قاب رخ می دهد.

#### ۵. مشخصات نمونه های قاب بتنی مورد بررسی

در این تحقیق قاب های بتن آرمه یک دهانه و دو طبقه که ابعاد ستون های قاب مذکور  $35 \times 35$  cm، ابعاد تیرهای آن  $30 \times 35$  cm، فاصله محور تا محور ستون ها ۵ متر و فاصله محور تا محور تیرها ۳ متر می باشد، مدل سازی می گردد و تحت تغییر مکان جانبی مجاز قرار می گیرد. تغییر مکان وارده به عنوان بار و همچنین بار جانبی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ محاسبه می گردد.



شکل ۲- نما و ابعاد قاب بتن آرمه

در ستون های قاب مذکور از  $8\phi 22$  و در تیرها  $6\phi 22$  به صورت سرتاسری استفاده شده است، در اتصالات نیز میلگردهای طولی قرار داده شده است.

مقاومت فشاری مشخصه بتن  $F_c = 28.7 \text{ MPa}$  و تنش تسلیم فولاد  $F_y = 300 \text{ Mpa}$  می باشد.

در این تحقیق، نرم افزار اجزا محدود ABAQUS به منظور مدل سازی و بررسی رفتار قاب های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. قاب های مورد نظر با استفاده از المان های S4R, T3D2, C3D8R در این نرم افزار مدل سازی می شوند.

محاسبه حداکثر تغییر مکان جانبی مجاز

$$C_d = 4.5 \Rightarrow \text{قاب خمشی بتنی متوسط}$$

$$T = 0.05H^{3/4} = 0.05 \times 6.15^{3/4} = 0.2 \quad [4] \quad (1)$$

$$\begin{cases} T < 0.7 \Rightarrow \Delta_M < 0.025h \\ T > 0.7 \Rightarrow \Delta_M \leq 0.02h \end{cases}$$

$\Delta_a = 0.025h$  در ساختمان های تا ۵ طبقه

$\Delta_a = 0.020h$  در سایر ساختمان ها

$$\left. \begin{matrix} \Delta_M = C_d \Delta_{cu} \\ T < 0.7 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Delta_M = C_d \Delta_{cu} < \Delta_a = 0.025h \Rightarrow \text{drift} = \Delta_{cu} < \frac{0.025h}{C_d} \quad [4] \quad (2)$$

$$\text{drift} = \Delta_{cu} < \frac{0.025}{4.5} \times 6.15 \Rightarrow \Delta_{cu} \leq 0.03$$

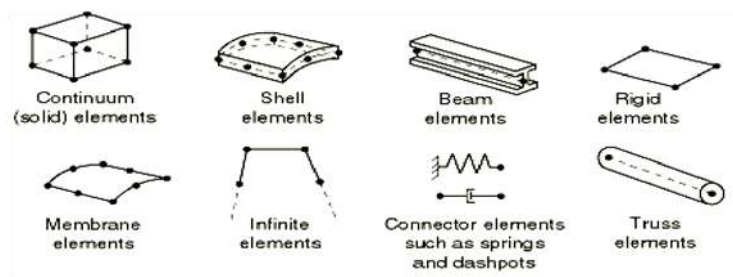
پس حداکثر تغییر مکان کلی در این سازه در تراز طبقه دوم 3cm می باشد. پس تمام مدل های قاب مورد مطالعه تحت تغییر مکان 6cm در تراز سقف طبقه دوم مدل سازی و مورد مطالعه قرار می گیرند.

۶. مدل سازی

### ۶-۱- مدل سازی بتن در ABAQUS

نرم افزار ABAQUS با دارا بودن کتابخانه وسیعی از المان ها ابزاری قدرتمند برای حل مسائل مختلف می باشد.

به طور کلی المان های موجود در کتابخانه ABAQUS که به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرند در شکل زیر نشان داده شده است. [5]



شکل ۳- المانهایی که بطور معمول مورد استفاده قرار می گیرند [5]

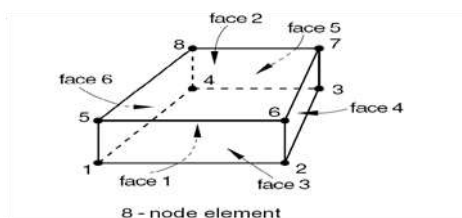
پنج خاصیت از المان ها که رفتار آنها را مشخص می سازد عبارتند از:

- گروهی که به آن تعلق دارند (شکل ۳)
- تعداد درجات آزادی ( که به طور مستقیم به گروه آنها بستگی دارد)
- تعداد گره ها
- فرمولاسیون (تئوری ریاضی که برای رفتار المان مورد استفاده قرار می گیرد)
- انتگرال گیری (نرم افزار ABAQUS از تکنیک های عددی برای انتگرال گیری پارامترهای مختلف در یک المان استفاده می کند)[5]

برای مدل سازی بتن با توجه به سه بعدی بودن مدلسازی قاب و اعضای قابی (تیر و ستون ها) در این پروژه از المان سه بعدی هشت گره ای C3D8R<sup>۳</sup> استفاده شده است. قابل ذکر است که المان های ۶ وجهی در مقایسه با المان های ۴ وجهی دارای مزایای به شرح زیر می باشند:

- جواب های دقیق تر می دهند.
- جواب ها زود تر همگرا می شوند.
- بنابراین می توان با مش بندی درشت تر در زمان کمتر، جواب های دقیق تری گرفت.
- سختی آنها به سختی آزمایشگاهی نزدیکتر است (این درحالیست که المان های ۴ وجهی سختی بیشتری نسبت به نتایج آزمایشگاهی دارند)

اما تنها مزیت المان های ۴ وجهی این است که می توان هر شکل دلخواهی را با آنها مش بندی نمود. نمونه ای از این المان در شکل زیر مشاهده می شود.[5]



شکل ۴- ترتیب گره ها و شماره صفحه ها در المان C3D8R [5]

<sup>3</sup>.Node Linear Brick

المان C3D8R دارای سه درجه آزادی ( $U_x, U_y, U_z$ ) بوده و با توجه به شرایط تکیه گاهی در هر یک از این جهات می توان آن را مقید ساخت.

## ۲-۶- مدل سازی آرماتور در ABAQUS

### خصوصیات المان معرفی شده برای رفتار آرماتورها

برای معرفی آرماتورهای طولی و خاموت ها از المان های خربایی<sup>۴</sup> استفاده می شود. المان های خربایی المان های باریک و بلندی هستند که تنها نیروی محوری را منتقل می کنند و انتقال دهنده ممان نمی باشند. به طور کلی المان های خربایی به صورت دو و سه بعدی برای مدلسازی اعضای باریک و خطی که در راستای محورها و یا محور مرکزی المان باربری دارند به کار می روند و هیچ گونه ممان و یا نیرویی عمود بر محور مرکزی المان تحمل نمی شود. [5]

در اینجا برای مدلسازی آرماتورهای طولی و عرضی از المان خربایی T3D2 که یک المان سه بعدی دو گرهی با تغییر شکل های خطی است استفاده می شود که این المان ها در المان های بتن خوابانده<sup>۵</sup> شده و رفتاری هماهنگ با آنها خواهند داشت. پس بمنظور جایگذاری آرماتورها در بتن از دستور Embedded استفاده می گردد. [5]



شکل ۵- تعریف بردار نرمال المان خربایی دو و سه گرہ ای [5]

شکل ۵ بردار نرمال المان خربا را نشان می دهد. آرماتورها به صورت یک جا با المان های بتن تعریف شده و المان های خربایی در بتن جاسازی می شوند. رفتار المان SOLID بتن بسته به میزان آرماتوری که در آن قرار می گیرد، تغییر کرده و المان معادلی بین رفتار بتن و آرماتور ایجاد می شود. [5]



شکل ۶- بردار نرمال برای المان های خربایی سه بعدی [5]

به طور کلی نقاط المان خربایی را می توان در سه درجه آزادی که شامل ( $U_x, U_y, U_z$ ) می باشد مقید نمود که با این قابلیت می توان شرایط تکیه گاهی به نمونه ها اعمال نمود.

<sup>4</sup>. Truss Element  
<sup>5</sup>. Embedded

## ۳-۶ مدل‌سازی ورق‌های FRP در ABAQUS

### خصوصیات المان معرفی شده برای ورق‌های FRP

در این تحقیق جهت بررسی بیشتر و مقایسه المان‌های مورد نظر پوسته برای مدل کردن FRP از المان‌های S4R که از خانواده المان‌های SHELL و از نوع همه‌منظور می‌باشد، استفاده شده است.

### المان S4R

این المان که از المان‌های همه‌منظوره Shell می‌باشد. این نوع المان توسط بسیاری از محققین استفاده شده و نتایج مناسبی از آن گرفته شده است. المان پوسته چهارگره‌ای چند منظوره قابلیت کاهش دادن نقاط انتگرال‌گیری برای به حداقل رساندن محاسبات و در نتیجه کاهش زمان آنالیز را دارا می‌باشد. از آنجایی که اثر برش عرضی در این المان لحاظ شده است، می‌توان برای مدل‌های با ساختار باریک و ضخیم از آن استفاده نمود. [5]

### ۷. مدهای مختلف تقویت قاب‌های بتن آرمه مورد مطالعه

#### ۱. قاب بدون FRP

۲. قاب با دور پیچ FRP در ۱/۳ بالا و پایین ستون‌ها و ۱/۳ ابتدا و انتهای تیرهای طبقات  
Partial 1 [Column(Bot &Top) – Beam(Left & Right)]

۳. قاب با دور پیچ FRP در ۱/۳ پایین ستون‌ها (برش در پایین ستون‌ها به مراتب بیش از بالای آنهاست) و ۱/۳ ابتدا و انتهای تیرهای طبقات [Partial 2 [Column(Bot) – Beam(Left & Right)]]  
در این حالت تقویت قاب، با توجه به برش زیاد پایین ستون‌ها و جلوگیری از مدهای گسیختگی برشی تیر و مخرب FRP چون Delamination و Debonding در تیرها، ۱/۳ پایین ستون‌های طبقات و ۱/۳ ابتدا و انتهای تیرهای با FRP به طور کامل تقویت می‌شوند.

#### ۴. قاب با دور پیچ کامل سازه (Complete Retrofitting)

با توجه به بار وارده به قاب، مقاومت فشاری بتن و تعداد لایه‌های FRP تقویتی و نحوه تقویت، مدل‌ها به صورت RC F Lj(Partial k) نام‌گذاری می‌شوند که به ترتیب هر کدام از پارامترها و زیر اندیس‌ها به شرح ذیل توصیف می‌شوند.

RC F: مخفف Reinforced Concrete Frame همان قاب بتن آرمه می‌باشد.

Lj: تعداد لایه‌های تقویتی FRP اشاره دارد.

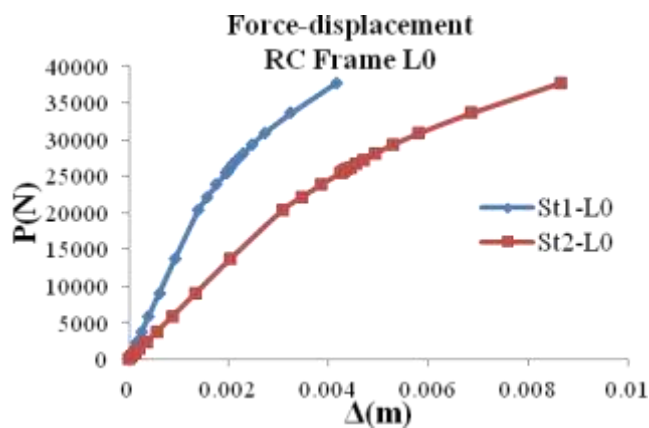
Partial k: نحوه تقویت سازه قابی را با توجه به مقاوم‌سازی جزئی یا کلی قاب در هر یک از اعضا بیان می‌کند.



۸. شرح مدل ها و نتایج حاصل از آنالیز قاب ها

۸-۱- شرح مدل و نتایج حاصل از آنالیز قاب بدون تقویت

حل غیر خطی جهت مدل RC F L0 در مرحله اول نتایج زیر را به دنبال داشت.



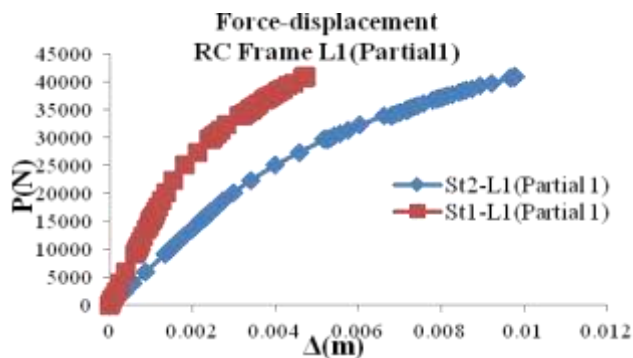
شکل ۷- نمودار بار- تغییر مکان قاب بتن آرمه تقویت نشده تحت تغییر مکان ۶ cm

۸-۲- شرح مدل و نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده مد اول

Partial 1[Column(Bot & Top)-Beam(Left & Right)]



شکل ۸ - قاب با تقویت FRP در بالا- پائین ستون ها و ابتدا- انتها تیرها (Partial 1)



شکل ۹ - نمودار بار- تغییر مکان قاب مدل RC F L1(Partial 1)

۳-۸- شرح مدل و نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده مد دوم

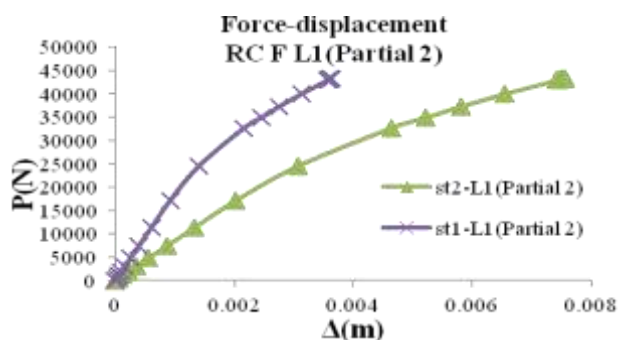
Partial 2[Column(Bot)-Beam(Left & Right)]

در این مرحله آنالیز با تغییر مکان های جانبی اعمالی ۶cm بر روی قاب تقویتی با دورپیچ FRP در ۱/۳ پایین ستون ها و ۱/۳ ابتدا و انتهای تیرهای طبقات (Partial 1) انجام می گیرد. (شکل ۱۱)



شکل ۱۰ - قاب با تقویت FRP در ۱/۳ پایین ستون ها و ۱/۳ ابتدا و انتهای تیرهای طبقات (Partial 2)

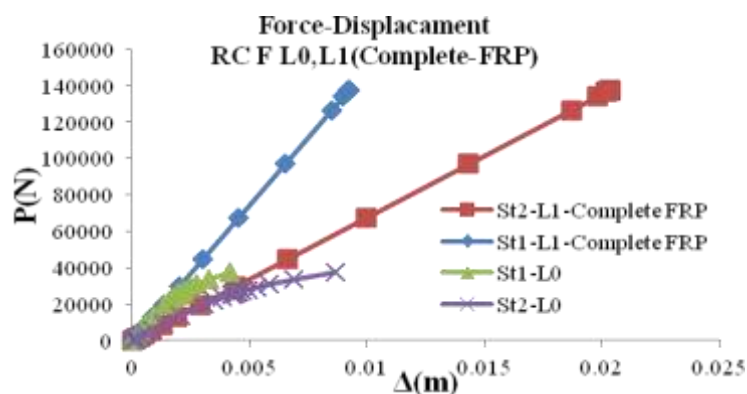
استفاده از مش چهار وجهی نامنظم Quadratic (Tet) در مدل قاب مذکور (RC F L1(Partial2)) و آنالیز غیر خطی مدل نتایج زیر را به دنبال داشت.



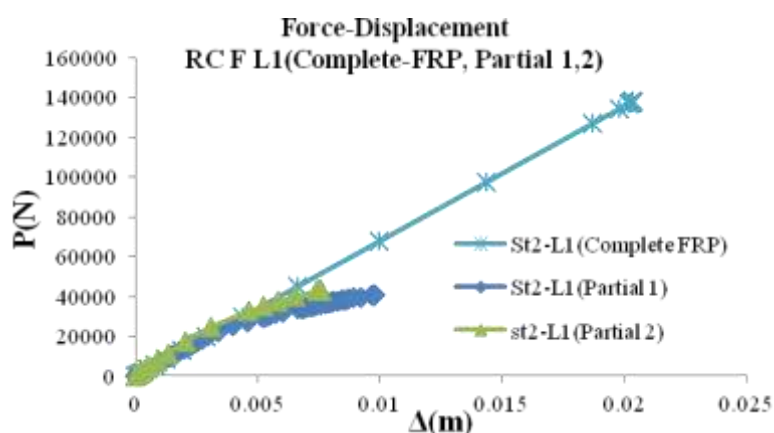
شکل ۱۱- نمودار بار- تغییر مکان قاب مدل RC F L1(Partial 2)

۴-۸- شرح مدل و نتایج حاصل از آنالیز قاب مد سوم تقویت (Complete Retrofitting)

آخرین مدل تقویت قاب با دورپیچ کامل FRP می باشد. آنالیز مدل های فوق الذکر نتایج را به دنبال داشت که جهت مقایسه با مدل های قبلی در نمودار بار-تغییر مکان طبقه دوم و جدول زیر ذکر شده است.



شکل ۱۲- مقایسه نمودارهای بار- تغییر مکان قاب مدل RC F L0 ,RC F L1(Complete-FRP)



شکل ۱۳- مقایسه نمودارهای بار- تغییر مکان حالت‌های ۱،۲ تقویت قاب (Partial 1,2) و مقاوم سازی کلی سازه تحت جابجایی ۶cm

جدول ۲- نتایج حالت‌های مختلف قاب بتنی (تقویت شده و بدون تقویت) تحت جابجایی ۶cm

Type of Retrofitting	Model Name	Load: Dis6cm		تغییر شکل مدل نسبت به مدل اولیه ( $\Delta_y/\Delta_0$ )	ظرفیت باربری (نیروی قابل تحمل) نسبت به مدل اولیه ( $P_{ult}/P_{ult0}$ )
		$\Delta$ (cm)	$P_{ul}$ (N)		
Without CFRP	R C F L0	0.86	37779	1	1
Complete wrapping	R C F L1(Complete-CFRP)	2	137624	2.33	3.64
Partial Retrofitting- CFRP	Partial 1 R C F 28.7 L1(Partial1)	0.97	40833	1.13	1.09
	Partial 2 R C F 28.7 L1(Partial2)	0.75	43289	0.87	1.15

## ۹- نتایج

پس از بررسی و مقایسه رفتار قاب بدون تقویت و قاب با الگوها مختلف دورپیچ FRP تحت بارهای اعمالی متفاوت نتایج زیر بدست آمد:

۱. مدل‌های قاب با دورپیچ پایین ستونها ((حالت ۱ و ۲ تقویت)) ظرفیت باربری بیشتر و مناسبی نسبت به الگوهای دیگر تقویت ((با توجه به اینکه دورپیچ پایین ستونها، برش پایه زیاد این محل ها را جذب می کند، سبب افزایش شکل پذیری و ظرفیت باربری نهایی بیشتر می گردد)) از خود نشان می دهند.

۲. از گراف های فوق افزایش انعطاف پذیری ۱۰۰٪ قاب با پوشش کلی FRP تحت تغییر مکان ۶cm RC L1(Complete-FRP) نسبت به قاب بدون FRP به چشم می خورد. به علاوه ظرفیت باربری بالاتر «حدود ۳/۵ برابر» قاب مقاوم سازی شده کلی نسبت به مدل بدون FRP نیز از نتایج بر می آید.

۳. انعطاف پذیری و بار نهایی بیشتر مدل با دورپیچ کامل RC F L1(Complete-FRP) نسبت به مدل های دیگر تقویت از نمودارها حاصل می شود.

۴. بدون توجه به میزان مصرف FRP بهترین روش برای افزایش مقاومت و شکل پذیری استفاده از FRP به صورت دورپیچ کامل است؛ لیکن این الگوهای تقویت جهت قابها با توجه به هزینه های زیاد کامپوزیتها FRP قابل توجیه اقتصادی نمی باشد؛ لیکن در صورتی که محدودیت مصرف FRP به دلیل عدم افزایش قیمت مدنظر باشد بهترین حالت استفاده از الیاف FRP در پایه ستون ها ( محل برش ) و محل اتصالات به صورت دورپیچ کامل است.

## ۹. مراجع

1. Mostofinejad, D., "An Overview on FRP Reinforced Concrete as Corrosion Resistant Element in Offshore Structures", 4<sup>th</sup> International Conference on Ports&Marine, Nov 2000.
2. Saadatmanesh , H. and Ehsani, M .R ., "Fiber Composites in Infrastructures", Proceeding of 2<sup>th</sup> International Conference on Composites in Infrastructures, Vol.1&2, Tucson Arizona, USA .1998.
۳. اسکندری، آرلن، "معرفی و بررسی مشخصات و کاربرد و نحوه عملکرد مصالح کامپوزیت و نوین در مقاوم سازی لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح و مصالح بنایی موجود"، اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، کد مقاله ۶۰۶.
۴. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰-۹۳، ویرایش ۴
5. Analysis, [Abaqus Analysis User's Manual Version 6.9.1](#).