



## تعیین ظرفیت ستون های مقاوم سازی شده با CFRP تحت بار محوری

ناصر شابختی، منصور قلعه نوعی، مهدی شهرکی

۱- استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

### چکیده

به علت خواص بسیار مناسب پلیمرهای الیاف مصنوعی (FRP) استفاده از این کامپوزیت ها روز به روز گسترش می یابد. غالب کاربرد FRP ها در تقویت و مقاوم سازی ستونها می باشد که در سازه های فراوانی از جمله پل ها کاربرد دارد. در این تحقیق تعداد ۵۰ ستون در سه تیپ مختلف با مقاطع دایره ای، مسطیلی و مربعی که با تعداد لایه های مختلفی از CFRP مقاوم سازی شده اند، مورد مقایسه قرار گرفتند. ستون ها توسط نرم افزار ANSYS مدل گردیده اند و اثر سطح مقطع و تعداد لایه های کامپوزیتی آن ها در ظرفیت ستون مورد بررسی قرار گرفته است به علاوه جهت کالیبره کردن نرم افزار ، در مواردی نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت آن ها مورد تأیید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: ستون های بتن مسلح، CFRP، ANSYS، ظرفیت نهایی ستون

## تعیین ظرفیت ستون های مقاوم سازی شده با CFRP تحت بار محوری

ناصر شابختی<sup>۱</sup>، منصور قلعه نوعی<sup>۲</sup>، مهدی شهرکی<sup>۳</sup>

1- استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

2- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

3- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

### خلاصه

به علت خواص بسیار مناسب پلیمرهای الیاف مصنوعی (FRP) استفاده از این کامپوزیت ها روز به روز گسترش می یابد. غالب کاربرد FRP ها در تقویت و مقاوم سازی ستونها می باشد که در سازه های فراوانی از جمله پل ها کاربرد دارد. در این تحقیق تعداد 50 ستون در سه تیپ مختلف با مقاطع دایره ای، مسطیلی و مربعی که با تعداد لایه های مختلفی از CFRP مقاوم سازی شده اند، مورد مقایسه قرار گرفتند. ستون ها توسط نرم افزار ANSYS مدل گردیده اند و اثر سطح مقطع و تعداد لایه های کامپوزیتی آن ها در ظرفیت ستون مورد بررسی قرار گرفته است به علاوه جهت کالیبره کردن نرم افزار، در مواردی نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت آن ها مورد تأیید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: ستون های بتن مسلح، CFRP، ANSYS، ظرفیت نهایی ستون

### 1. مقدمه:

پلیمرهای الیاف مصنوعی CFRP غالباً به دو صورت ژاکت های دورپیچ و مسلح کننده اصلی برای مقاوم سازی و تسلیح بتنی به کار می روند. اگر چه در آغاز این پلیمرها فقط جهت مقاوم سازی و به صورت دورپیچ به کار می رفتند اما زمانی که برتری های خود را بر ژاکت های فولادی نشان دادند ذهنیت استفاده از آن ها به عنوان مسلح کننده اصلی بتن شکل گرفت. اگر چه استفاده از پلیمر به عنوان مسلح کننده اصلی بتن هنوز کاملاً جایگاه اصلی خود را پیدا نکرده است ولی خواص فوق العاده مسلح کننده های پلیمری مانند مقاومت کششی بسیار بالا (حدود 3 برابر فولاد) اشتیاق مهندسان را جهت استفاده روز افزون از آنها بیشتر نموده است. [1] البته شایان ذکر است که میلگردهای FRP دارای رفتار خطی تا لحظه شکست می باشد که این مسئله باعث ترد شکنی ستون می شود. [2] پلیمرهای الیاف مصنوعی چه به صورت ژاکت به کار روند و چه به صورت میلگرد، شامل سه نوع CFRP (پلیمر الیاف کربن)، GFRP (پلیمر الیاف شیشه) و AFRP (پلیمر الیاف آرامید) می باشد. پلیمرها چه به عنوان مسلح کننده اصلی به کار روند و چه به عنوان ترمیم کننده یا مقاوم ساز، دارای خواصی مانند وزن کم، مقاومت بالا، نسبت مقاومت به وزن بالا، سرعت عملیات اجرایی، عدم نیاز به ماشین آلات و تجهیزات خاص، مقاوم بودن در برابر شرایط جوی و خوردگی، اقتصادی بودن مجموع عملیات و ساده بودن اجرای عملیات می باشند. [3]

تحقیقات انجام شده در تسلیح سازه های بتنی با FRP عمری کمتر از یک دهه دارند. شیخ و یائو در سال 2002 نتایج آزمایش بر روی ستون های بتن آرمه تحت بار محوری ثابت و بار جانبی لرزه ای به منظور شبیه سازی نیروهای حاصل از یک زلزله را بیان نمودند. [4] از این

1- استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

2- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

3- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

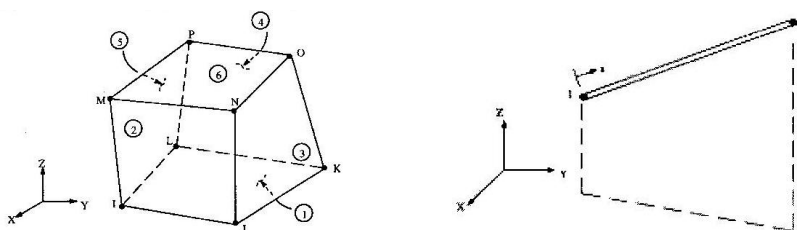
آزمایشات استنتاج شد که رفتار ستون های تقویت شده تحت بارگذاری لرزه ای شبیه سازی شده با عملکرد ستون هایی که بر اساس توصیه های لرزه ای آیین نامه ASI (99-318) طراحی شده اند، برابری نموده و یا برتر از آن می باشد. Harajli نیز روی ستون های مسلح مقاوم سازی شده با FRP تحقیقاتی را انجام داد. [5] وی ستون هایی که تحت وزن خودشان طراحی شده بودند را با ورق های FRP مقاوم سازی نمود و رفتار آن ها را مورد بررسی قرار داد.

در این مقاله ظرفیت ستون های بتنی مسلح شده با فولاد با پوشش CFRP تحت بار محوری و همچنین حداکثر تغییر مکان جانبی مورد بررسی قرار گرفته است.

## 2. مدل سازی با نرم افزار ANSYS

نرم افزار ANSYS یک نرم افزار مناسب جهت تحلیل غیر خطی می باشد. مراحل طراحی به کمک نرم افزار ANSYS شامل سه قسمت پیش پردازنده (Preprocessor)، پردازنده (Solution) و پس پردازنده (Post processor) می باشد. [6]

در این تحقیق از نرم افزار ANSYS 5.4 استفاده گردیده است. در نرم افزار ANSYS بیش از 100 نوع المان جهت مدل سازی وجود دارد. در این تحقیق جهت مدل سازی بتن از المان 65 concrete که یک المان سه بعدی هشت گرهی می باشد و سه درجه آزادی در هر گره دارد استفاده شده است. همچنین جهت مدل سازی میلگردها از المان 8 Link که یک المان دو گرهی و با سه درجه آزادی در هر گره می باشد استفاده شده است. [7]

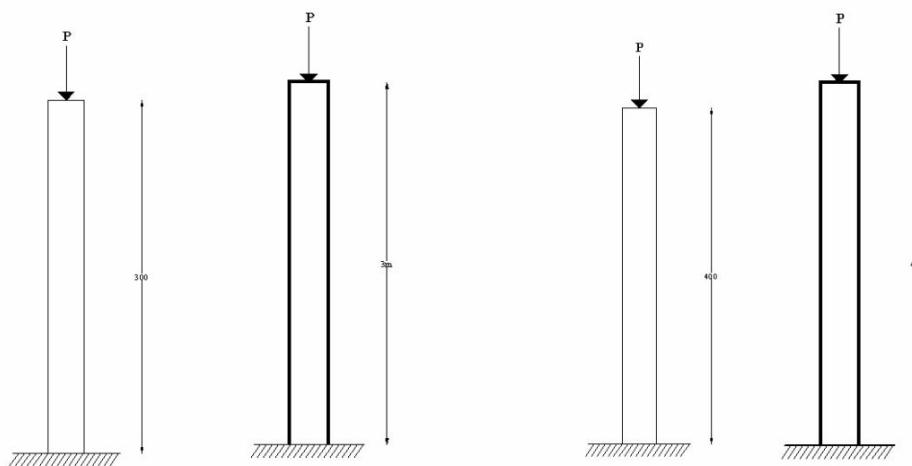
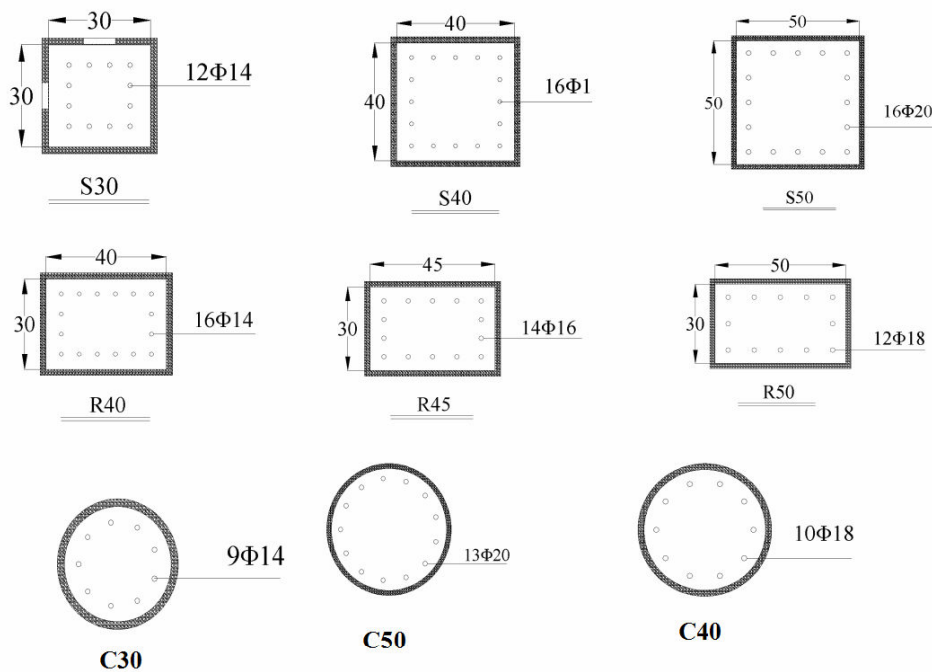


شکل 1- المان های link 8 و concrete 65

## 3. نمونه های مدل سازی شده

در این تحقیق کلیه نمونه های مورد استفاده در سه تیپ مورد بررسی قرار گرفته است. ستون های تیپ اول عبارتند از S40, S30 و S50 به ارتفاع 3 متر که حرف اول نمونه ها از کلمه square گرفته شده و عدد بعد از آن نشان دهنده ابعاد مقطع ستونها می باشد. ستون های تیپ دوم عبارتند از R40, R45, R50، که ارتفاع آنها 3 متر بوده و حرف اول نمونه ها بیانگر Rectangular و عدد بعد از آن نشان دهنده ابعاد مقطع ستونها می باشد. ستون های تیپ سوم عبارتند از C30, C40, C50، که ارتفاع آنها 3 متر بوده که حرف اول نمونه ها بیانگر Circle و عدد بعد از آن نشان دهنده قطر ستونها می باشد. در تمامی نمونه ها میلگردها فولادی می باشد و درصد آرماتورهای طولی مورد استفاده 2٪ و خاموت مورد استفاده در این نمونه ها 2٪ در نظر گرفته شده است. مشخصات میلگردهای فولادی مورد استفاده با تنش تسلیم  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  و مدول الاستیسیته  $E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  می باشد. مشخصات بتن مورد استفاده با در نظر گرفتن مقاومت فشاری 28 روزه بتن با  $F_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  و مدول الاستیسیته بتن  $E_c = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  برای همه نمونه ها می باشد، اتصال ستون در کف گیردار فرض شده است. کلیه نمونه ها در سه تیپ ذکر شده را با پوشش CFRP دورپیچ نموده با یک لایه و دو لایه CFRP که به عنوان نمونه در ستون S30C1 حرف C نشان دهنده Cover از جنس CFRP و عدد بعد از آن تعداد لایه پوششی را نشان می دهد. مدول الاستیسیته روکش CFRP برابر  $67850 \text{ kg/cm}^2$  می باشد.

اما جهت اثر تغییر مکان جانبی در ستون های مورد نظر به نمایندگی ستون های تیپ سوم، با مقطع دایره ای با ارتفاع 3 متر که عبارتند از C50، C40، C30 را با یک و دو لایه CFRP دورپیچ شده است از طرفی مشخصات میلگردهای فولادی و بتن و همچنین CFRP مانند سایر نمونه ها در نظر گرفته شده است.

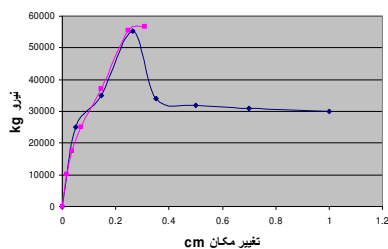


شکل 2

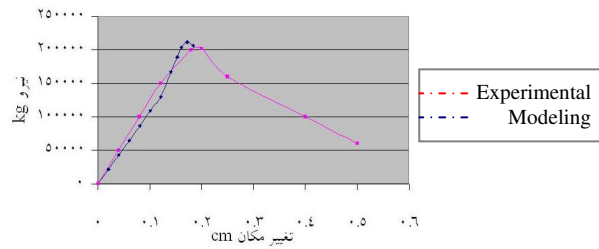
#### 4. کالیبراسیون نرم افزار

پیش از این که ستون های اصلی مورد مطالعه مدل گردند، جهت تعیین صحت عملکرد نرم افزار، یک نمونه ستون بتنی مستطیلی که در سال 2002 توسط M.Maalej و همکارانش آزمایش شده است. این ستون در آزمایش توسط دو لایه FRP که هر لایه  $1/08 \text{ mm}$

ضخامت دارد پوشانده شده و سپس تحت نیروی قائم ناشی از جک هیدرولیکی شکسته شده است. شکل 3 مقایسه نتایج مدل سازی با نرم افزار ANSYS و نتیجه آزمایشگاهی را نشان می دهد. [8] نمونه دوم یک ستون بتنی دایره ای شکل است که در سال 2005 توسط M.N.S.HADI آزمایش شده است که نمونه ساده و بدون FRP تحت بار قائم به کمک جک هیدرولیکی وارد گشته، شکسته شده است. شکل 4 مقایسه نتایج مدل سازی با ANSYS و نتایج آزمایشگاهی را نشان می دهد. [9]



شکل 3

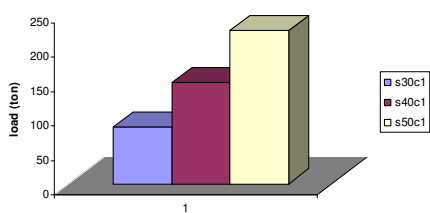


شکل 4

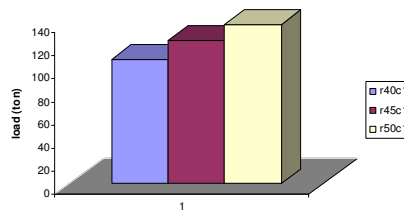
ملاحظه می شود که نرم افزار به خصوص در حصول مقاومت نهایی ستون دقیق عمل نموده است و تطبیق قابل قبولی بین آزمایش و نرم افزار وجود دارد.

## 5. مقایسه رفتار ستون ها:

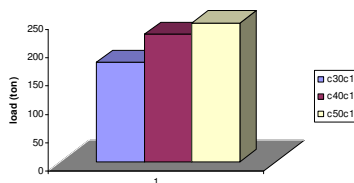
جهت بررسی ظرفیت ستون ها تحت بار قائم افزودن یک لایه CFRP تأثیر زیادی در ظرفیت نهایی ستون داشته ولی افزودن لایه دوم تأثیر چندانی ندارد بنابراین در کلیه نمونه های زیر اثر یک لایه بررسی شده است. شکل 5 ستون های مربعی با سطح مقطع متفاوت و یک لایه پوشش CFRP را نشان می دهد. برای بررسی نمونه های مستطیلی که تحت بار قائم با یک لایه پوشش CFRP بوده و مقایسه اثر سطح مقطع آنها در شکل 6 مشخص شده است. همچنین شکل 7 ستون های دایره ای که تحت بار قائم با سطح مقطع متفاوت بوده را با یک لایه پوشش CFRP نشان می دهد.



شکل 5



شکل 6



شکل 7

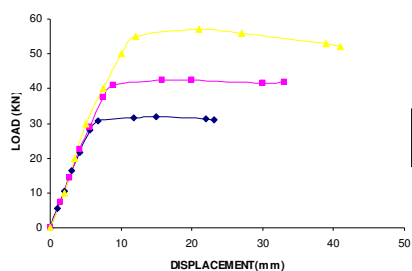


جدول 1 نتایج مقاومت نهایی و درصد افزایش ظرفیت ستونها تحت بار محوری را نشان می دهد.

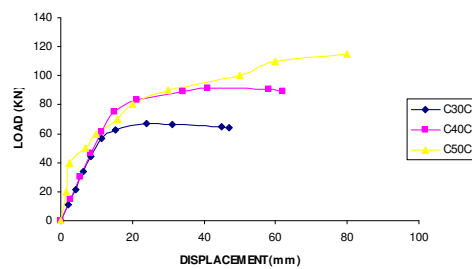
جدول 1

عنوان	شکل مقطع	تعداد لایه CFRP	نیروی نهایی (ton)	درصد افزایش ظرفیت
S30	square	-	47.55	-
S30C1	square	1	82.38	73.24
S30C2	square	2	83.1	74.76
S40	square	-	84.51	-
S40C1	square	1	146.94	73.87
S40C2	square	2	147.35	74.35
S50	square	-	147.81	-
S50C1	square	1	221.85	50
S50C2	square	2	230.040	55.63
R40	rectangular	-	63.39	-
R40C1	rectangular	1	107.73	69.94
R40C2	rectangular	2	107.815	70.08
R45	rectangular	-	71.310	-
R45C1	rectangular	1	124.29	74.29
R45C2	rectangular	2	124.403	74.45
R50	rectangular	-	79.23	-
R50C1	rectangular	1	138.09	74.29
R50C2	rectangular	2	138.12	74.32
C30	circle	-	112.350	-
C30C1	circle	1	175.421	56.13
C30C2	circle	2	175.512	56.21
C40	circle	-	172.875	-
C40C1	circle	1	225.439	30.40
C40C2	circle	2	227.891	31.82
C50	circle	-	205.41	-
C50C1	circle	1	245.136	19.33
C50C2	circle	2	249.201	21.31

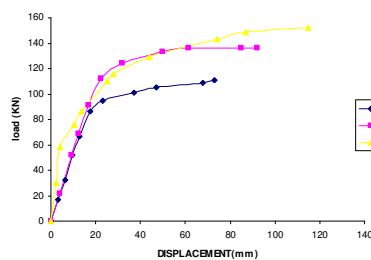
جهت بررسی ظرفیت ستون های دایره ای ذکر شده با سطح مقطع متفاوت تحت حداکثر تغییر مکان جانبی شکل های 8 و 9 و 10 در زیر ارائه شده است که رفتار این ستون ها را نشان می دهد که با یک لایه و دو لایه CFRP دورپیچ شده اند.



شکل 8



شکل 9



شکل 10

جدول 2 مشخصات دقیقتری از رفتار ستون های دایره ای با حداکثر تغییر مکان جانبی را نشان می دهد.

جدول 2

عنوان	شکل مقطع	تعداد لایه CFRP	ماکزیمم نیروی قابل تحمل (kN)	تغییر شکل بیشینه قبل از شکست (mm)	شکل پذیری $\mu = \Delta U / \Delta Y$	درصد افزایش نیروی قابل تحمل
C30	circle	-	31.1	23.1	4.12	-
C30C1	circle	1	64	47	5.29	105.78
C30C2	circle	2	111	73	5.68	256.91
C40	circle	-	42	33	4.40	-
C40C1	circle	1	89.4	62	5.48	112.85
C40C2	circle	2	136	92.24	5.52	223.80
C50	circle	-	52	41	3.46	-
C50C1	circle	1	115	80	4	121.15
C50C2	circle	2	152	115	4.6	192.3

## 6. بحث و تحلیل نتایج:

الف) در تمامی ستونهای مربعی (تیپ اول) دور پیچ کردن ستون با یک لایه CFRP تأثیر فراوانی بر ظرفیت نهایی ستون خواهد داشت، اما افزودن لایه دوم تأثیر چندانی بر افزایش ظرفیت باربری قائم ستون نخواهد داشت. در این ستون ها افزودن یک لایه CFRP در مقایسه نیروی نهایی تقریباً معادل افزودن 10cm بر بعد ستون می باشد و هر چه بعد ستون بیشتر شود اثر افزودن لایه دور پیچ کننده CFRP بر ظرفیت نهایی ستون کمتر می گردد.

ب) در تمامی ستونهای مستطیلی (تیپ دوم) دور پیچ کردن ستون با یک لایه CFRP تأثیر فراوانی بر ظرفیت نهایی ستون خواهد داشت، اما افزودن لایه دوم تأثیر چندانی بر افزایش ظرفیت باربری قائم ستونها نخواهد داشت. در این ستون ها هر چه نسبت طول به عرض ستون افزایش یابد اثر افزودن لایه دور پیچ کننده CFRP بر ظرفیت نهایی ستون بیشتر می گردد.

ج) در تمامی ستونهای دایره ای (تیپ سوم) دور پیچ کردن ستون با یک لایه CFRP تأثیر فراوانی بر ظرفیت نهایی ستون خواهد داشت اما افزودن لایه دوم تأثیر چندانی بر افزایش ظرفیت باربری قائم ستون نخواهد داشت. در این ستون ها افزودن یک لایه CFRP در مقایسه نیروی نهایی تقریباً معادل افزودن 10 cm به قطر ستون می باشد و از طرفی هر چه قطر ستون افزایش می یابد اثر افزودن لایه دور پیچ کننده CFRP بر ظرفیت نهایی ستون کمتر می گردد.

د) ستونهای دایروی (تیپ سوم) در مجموع عملکرد بهتری نسبت به ستونهای مربعی (تیپ اول) تحت بار قائم دارند ( این مشخصه در جدول 1 نمایان است) این برتری با افزودن لایه CFRP بیشتر می گردد.

ه) در ستونهای دایره ای که تحت حداکثر تغییر مکان جانبی قرار دارند افزودن لایه های CFRP در ظرفیت نهایی ستون اثر زیادی دارد و بر خلاف ستون هایی که تحت نیروی محوری قرار دارند حضور لایه دوم CFRP در این ستونها بسیار موثر است.

و) در تمامی ستونهای دایره ای که تحت حداکثر تغییر مکان جانبی قرار دارند درصد افزایش نیروی قابل تحمل با افزایش تعداد لایه CFRP کاهش می یابد و هر چه قطر ستون بیشتر باشد درصد افزایش نیروی قابل تحمل افزایش می یابد.

ز) در تمامی ستونهای دایره ای که تحت حداکثر تغییر مکان جانبی بوده افزایش لایه CFRP در شکل پذیری ستونهای تأثیر چندانی ندارد و همچنین افزودن حتی یک لایه CFRP به ستون با قطر 30 cm عملکرد بهتری نسبت به ستون با قطر 40 cm داشته است.

## 7. مراجع:

1) حسینی، عبدالله و فدایی، سعید "بررسی معادلات تنش- کرنش بتن محصور شده توسط FRP" اولین همایش کاربرد

کامپوزیتهای FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، اردیبهشت 1383.

2) M.A.Rashid; M.A.Mansur & P.Paramasivam " Behavior of Aramid Fiber-Reinforced Polymer Reinforced High Strength Concrete Beams Under Bending" journal of Composites for construction, March / April 2005.

3) وطنی اسکویی، اصغر "تأثیر FRP بر روی ترمیم و بهسازی اتصالات بتنی آسیب دیده از زمین لرزه" اولین همایش کاربرد

کامپوزیتهای FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، اردیبهشت 1383

4) Seikh. Shamim. A., and you. Grace " Seismic Behaviour of Concrete Clumns Confined with Steel and Fiber – Reinforced Polymers" ACI Structural Journal, Vol. qq. No. 1. January – Februry. 2002. pp. 72 – 80.

5) Harajli. M. H, "Behavior of Gravity load – Designed Rectangular Concrete Columns confined with Fiber Reinforced Polymer Sheets" Journal of Composites for Construction. January 2005.





6) جمشیدی، نیما. و جوانبخت، بهاره " آموزش طراحی اجزا و مقاومت مصالح به کمک نرم افزار ANSYS " انتشارات سیمین دخت، 1384

7) گرجی نژاد، سعید. و زارعی نژاد، محمد " تحلیل به روش اجزاء محدود همراه با خودآموز کامل نرم افزار ANSYS " انتشارات ارس رایانه

- 8) M. Maalej, S. Tanwongsva, P. Parama Sivam. "Modelling of rectangular RC Columns Strengthened with FRP" cement & concrete composites 25 (2003) 263 – 276.
- 9) M. N. S. Hadi. "Behaviour of FRP Strengthened Concrete Columns Under eccentric compression loading" Journal of composite structures 77(2007) 92–96