



کد مقاله: ۱-۱۴۹

## بررسی تاثیر بار خارج از مرکز روی میزان محصورشدگی ستونهای بتن مسلح مستطیلی

### مقاوم‌سازی شده با FRP

حبيب اکبرزاده بنگر<sup>۱</sup>، محسن سلیمانی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه مازندران، [h.akbarzadeh@umz.ac.ir](mailto:h.akbarzadeh@umz.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه مازندران

#### چکیده

امروزه یکی از متداولترین روش‌های تقویت ستون‌های بتن مسلح پلها، محصور نمودن خارجی ستون توسط پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) می‌باشد. از مهمترین امتیازات FRP در مقایسه با سایر مصالح رایج مهندسی می‌توان به قابلیت محصور کنندگی بسیار بالا در قالب دورپیچ، سختی و مقاومت مشخصه بالا، عمر مفید زیاد، مقاومت در برابر خوردگی و خصوصیات حرارتی قابل کنترل اشاره نمود. محصور کردن ستون بتن مسلح باعث افزایش مقاومت و شکل پذیری ستون میگردد. مدل‌های تنش- کرنش تئوری مختلفی برای ستون محصور شده با FRP ارائه شده است که همه آنها بر اساس ستون تحت بار محوری بدست آمده اند. نتایج تحقیقات محدود نشان میدهد که خروج از مرکزیت بار اعمالی باعث کاهش اثر محصورشدگی روی مقاومت بتن میگردد. لذا در این مقاله روشی برای اصلاح مدل تنش-کرنش ارائه شده گذشته پیشنهاد شده است. براساس مدل تنش-کرنش اصلاح شده، ضرایب بلوک تنش در حالت نهایی محاسبه شده است. جهت ارزیابی مدل اصلاح شده تنش-کرنش فشاری بتن محصور شده، ظرفیت نهایی آزمایشگاهی ستونهای بتن مسلح مستطیلی محصور شده تحت بار خارج محور با ظرفیت تئوری بدست آمده بر اساس مدل اصلاح شده مقایسه شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت آزمایشگاهی و تئوری ستونها با دقت خوبی به هم نزدیک هستند، لذا مدل اصلاح شده با دقت خوبی تاثیر خروج از محوریت را روی محصورشدگی در نظر میگیرد. همچنین نتایج تئوری نشان می‌دهد که تاثیر خروج از محوریت بارهای فشاری روی محصورشدگی در ستونهای با برون محوری متوازن بیشتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: ستون بتن مسلح، دورپیچ FRP، محصورشدگی، نمودار اندرکنش، خروج از مرکزیت

#### ۱- مقدمه

بر اساس شرایطی از قبیل بار اعضای مجاور و شاغولی نبودن ستون، بیشتر ستونها مقداری بار خارج از مرکز تحمل می‌کنند. رفتار ستونهای دورپیچ شده با FRP تحت بارهای خارج از مرکز در مقایسه با بارگذاری محوری کمتر شناخته شده است. نتایج تحلیلیها نشان می‌دهد محصور کردن ستونها با ورقهای FRP منجر به مقاومت، شکلپذیری و جذب انرژی بالاتری می‌شود. مدل‌های مختلفی

برای پیش بینی نمودار تنش - کرنش بتن محصور شده ارائه گردید اما تمام این مدلها برای ستون های تحت بار محوری خالص بودند درحالی که مطابق گفته بالا هیچ ستونی وجود ندارد که تنها تحت بار محوری باشد.

تحقیقات زیادی به منظور تعیین منحنی تنش-کرنش و تدوین یک مدل ریاضی به جهت تبیین و پیش بینی رفتار بتن محصور انجام گرفته است. محققینی همچون سامان و همکاران در سال ۱۹۹۸ [۱]، و صافی و همکاران در سال ۱۹۹۹ [۲] آزمایشاتی بر روی لوله های FRP پر شده از بتن انجام دادند. همچنین زیانو و وو در سال ۲۰۰۰ مدل هایی مبتنی بر نتایج آزمایش بر روی استوانه های بتنی محصور در FRP چسبیده به بتن، ارائه نمودند [۳]. لام و تنگ با ارزیابی مدل ها و تحقیقات ارائه شده تا آن زمان، مدلی ریاضی با در نظرگیری نوع الیاف به کار رفته در ساخت کامپوزیت، ولی بدون در نظرگیری پاره گی زودهنگام کامپوزیت چسبیده به ستون، ارائه نمودند [۴] فام و همکاران با بررسی لوله های FRP پر شده با بتن تحت بارهای مختلف از جمله ترکیب بار محوری و خمشی به این نتیجه رسیدند که برای حالت خمش خالص اثر محصورشدگی بتن ناچیز است با این حال شکل پذیری و کرنش بتن به میزان قابل توجهی افزایش می یابد و باید اثر خروج از مرکزیت در محاسبات در نظر گرفته شود [۵]. مداوی با بررسی ستونهای مربعی محصورشده با FRP تحت خروج از مرکزیتهاى مختلف به این نتیجه رسید که با افزایش خروج از مرکزیت بار از ظرفیت نمونه کاسته می شود [۶].

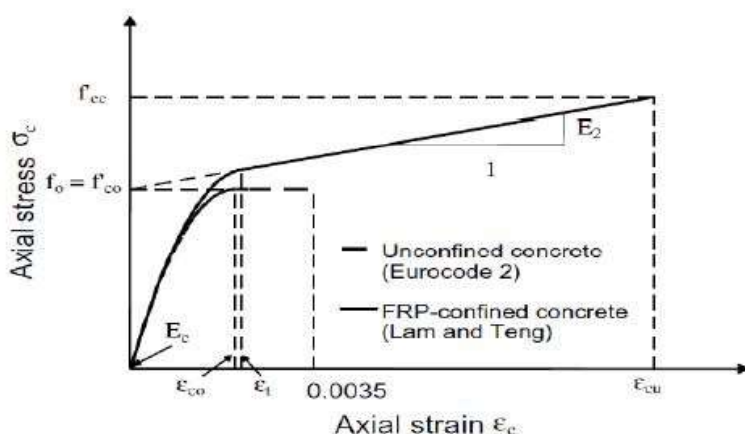
در این مقاله روشی برای اصلاح مدل تنش-کرنش ارائه شده گذشته پیشنهاد شده است. براساس مدل تنش-کرنش اصلاح شده، ضرایب بلوک تنش در حالت نهایی محاسبه شده است. جهت ارزیابی مدل اصلاح شده تنش-کرنش فشاری بتن محصور شده، ظرفیت نهایی آزمایشگاهی ستونهای بتن مسلح مستطیلی محصور شده تحت بار خارج محور با ظرفیت ثوری بدست آمده بر اساس مدل اصلاح شده مقایسه شده است.

## ۲- نمودار تنش-کرنش بتن محصورشده با FRP

### ۲-۱ ارزیابی مدل لام و تنگ [۴]

لام و تنگ با بررسی تعداد زیادی داده آزمایشگاهی و با استفاده از فرضیات زیر یک مدل طراحی برای منحنی تنش - کرنش بتن محصور شده مطابق شکل ۱ ارائه دادند.

- ۱) منحنی تنش - کرنش از یک قسمت سهمی و یک قسمت خطی مطابق شکل ۱ تشکیل شده است.
- ۲) شیب ابتدای منحنی سهمی شکل همان مدول الاستیسیته بتن محصور نشده می باشد.
- ۳) قسمت سهمی به صورت نرم به بخش خطی اتصال پیدا می کند (شیب سهمی و خط در نقطه برخورد یکی است)
- ۴) بخش دوم (خطی) در نقطه ای که بتن به حد نهایی مقاومت برسد، پایان می یابد.
- ۵) کرنش محوری نهایی در حد نهایی مقاومت اتفاق می افتد.
- ۶) در نسبت های محصورشدگی مؤثر کمتر از ۰,۰۷، نباید افزایش مقاومت فشاری قابل ملاحظه ای را انتظار داشت. مطابق شکل پایین محصور شدگی بالاتر از این میزان افزایش یکنواخت منحنی تنش - کرنش (بدون شاخه کاهشی) را تضمین می کند.
- ۷) برای سادگی کار نقطه تقاطع بخش خطی منحنی با محور تنش ها برابر با مقاومت فشاری بتن محصور نشده در نظر گرفته می شود.



شکل ۱: مدل لام و تنگ برای منحنی تنش - کرنش بتن محصور شده

لام و تنگ روابط تنش-کرنش بتن محصور شده با FRP را به صورت زیر ارائه کردند:

$$\sigma_c = \begin{cases} E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_{co}} \varepsilon_c^2 & 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_t \\ f'_{co} + E_2 \varepsilon_c & \varepsilon_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_{co}}{\varepsilon_{cu}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_t = \frac{2f'_{co}}{E_c - E_2} \quad (3)$$

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1 + 3.3k_{s1} \frac{f_l}{f'_{co}} \quad (4)$$

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + 12k_{s2} \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right) \left( \frac{\varepsilon_{h,nup}}{\varepsilon_{co}} \right)^{0.45} \quad (5)$$

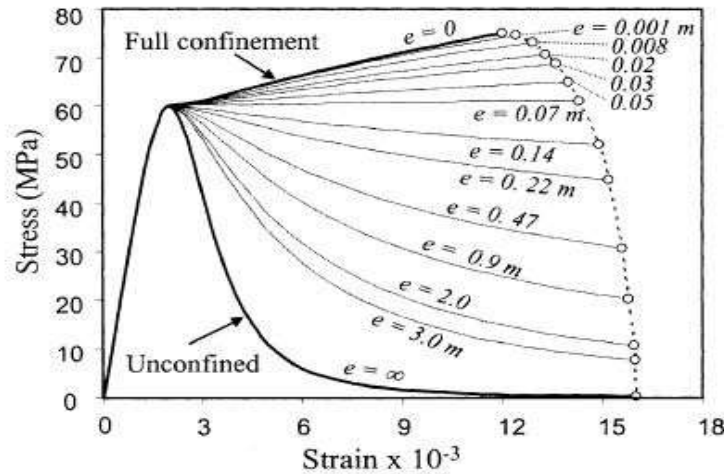
$$k_{s1} = \left( \frac{B}{D} \right)^2 \frac{A_e}{A_c} \quad (6)$$

$$k_{s2} = \left( \frac{D}{B} \right)^{0.5} \frac{A_e}{A_c} \quad (7)$$

در روابط فوق،  $f'_{cc}$  مقاومت فشاری نهایی بتن محصورشده با FRP،  $f'_c$  حداکثر مقاومت فشاری بتن محصورنشده،  $k_{s1}$  و  $k_{s2}$  ضریب اصلاح شکل،  $f_l$  اثر فشار محصورکننده جانبی به وسیله FRP،  $\varepsilon_{cu}$  کرنش نهایی بتن محصورشده با FRP،  $\varepsilon_{co}$  کرنش بتن متناظر با  $f'_c$ ،  $\varepsilon_{h,nup}$  کرنش مؤثر FRP در شکست

## ۲-۲ ارزیابی مدل فام و همکاران [۵]

آنها مطالعه ای بر روی لوله های FRP که با بتن پر شده بود انجام دادند. این نمونه ها تحت بارهای مختلف از جمله ترکیب بار محوری و خمشی قرار گرفتند. تا قبل از آنها کسی اثر خروج از مرکزیت را در فرمولهای تنش- کرنش وارد نکرده بود. آنها با مطالعه پارامتری به بررسی اثر نسبت قطر به ضخامت و ساختار ورقه ورقه لوله از جمله نسبتهای متفاوت فایبر در جهت محوری و جهت حلقه پرداختند. آنها با ارائه نمودار تنش-کرنش مطابق شکل ۲ به این نتیجه رسیدند که با افزایش خروج از مرکزیت تنش فشاری نهایی کاهش ولی کرنش نهایی افزایش می یابد و اثر خروج از مرکزیت باید در محاسبات لحاظ گردد.



شکل ۲: مدل فام و همکاران با در نظر گرفتن اثر خروج از مرکزیت بار محوری

$$\bar{f}_{cc} = (f'_{cc} - f_{cco}) \left[ \frac{D_0}{D_0 + e} \right] + f_{cco} \quad (8)$$

$$\bar{\varepsilon}_{cc} = (\varepsilon_{cco} - \varepsilon'_{cc}) \sqrt{1 - \left( \frac{\bar{f}_{cc} - f_{cco}}{f'_{cc} - f_{cco}} \right)^2} + \varepsilon'_{cc} \quad (9)$$

$\bar{f}_{cc}$  مقاومت فشاری بتن محصورشده با FRP تحت بار خارج از محور،  $\bar{\varepsilon}_{cc}$  حداکثر کرنش بتن محصورشده با FRP تحت بار خارج از محور

## ۳-۲ ارزیابی مدل ACI440.2-08 [۶]

انجمن بتن آمریکا با استفاده از مدل تنش-کرنش لام و تنگ شکل ۱، روابط زیر را برای تنش و کرنش ارائه کردند:

$$f'_{cc} = f'_c + 3.3k_a f_l \quad (10)$$

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left( 1.50 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right) \quad (11)$$

$$\varepsilon_{fe} = k_e \varepsilon_{fu} \quad (12)$$

$$f_l = \frac{2E_{fnp} t \varepsilon_{fe}}{\sqrt{D^2 + B^2}} \quad (13)$$

در روابط فوق،  $f_{cc}'$  مقاومت فشاری نهایی بتن محصورشده با FRP،  $f_c'$  حداکثر مقاومت فشاری بتن محصورنشده،  $k_a$  و  $k_b$  ضریب اصلاح شکل،  $f_l$  اثر فشار محصورکننده جانبی به وسیله FRP،  $\varepsilon_{ccu}$  کرنش نهایی بتن محصورشده با FRP،  $\varepsilon_c'$  کرنش بتن متناظر با  $f_c'$ ،  $\varepsilon_{fe}$  کرنش مؤثر FRP در شکست،  $k_e$  ضریب مؤثر کرنش FRP،  $E_{fnp}$  مدول الاستیسیته FRP،  $t$  ضخامت FRP

### ۳- مدل تنش-کرنش ارائه شده برای ستون مستطیلی محصورشده با FRP تحت بار خارج از مرکز

همانطور که مطالعات فام و همکاران [۵] نشان می دهد برون محوری روی رفتار محورشدگی ستون توسط FRP تأثیر دارد فام و همکاران روی لوله های FRP دایره ای پر شده با بتن مطالعه نمودند. لذا برای در نظر گرفتن تأثیر برون محوری روی ستونهای مستطیلی شکل محصورشده با FRP منحنی تنش-کرنش ارائه شده توسط ACI440.2-08، به صورت زیر اصلاح گردیده است.

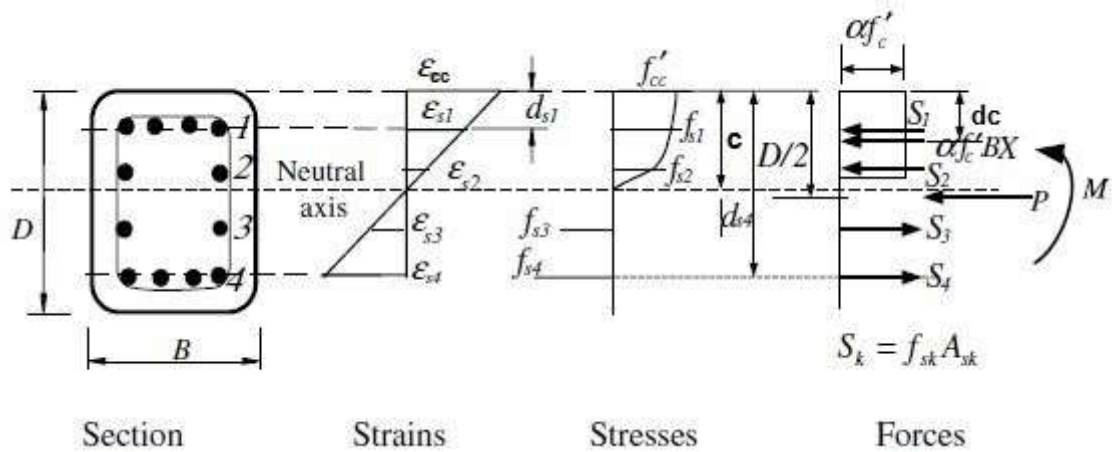
$$f_{cc}' = f_c' + (3.3k_a f_l) \left( \frac{1}{1 + \frac{e}{D}} \right) \quad (14)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cu} + \left( \varepsilon_c' \left( 1.50 + 12k_b \frac{f_l}{f_c'} \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c'} \right)^{0.45} \right) - \varepsilon_{cu} \right) \left( \frac{2}{2 + \frac{e}{D}} \right) \quad (15)$$

$e$  برون محوری بار محوری،  $D$  ارتفاع مقطع

### ۳-۱ روابط ارائه شده برای ضرایب بلوک تنش در حالت نهایی

با توجه به پخش خطی کرنش مقطع بتنی واضح است که پخش تنش واقعی در منطقه فشاری شبیه نمودار تنش-کرنش در آزمایش فشاری تک محوره می باشد. اما نمودار تنش-کرنش تحت تأثیر متغیرهای مختلفی می باشد. بنابراین، پیشنهاد نمودار تنش-کرنش واقعی برای بتن امری ساده نمی باشد. شاید مساحت پخش تنش و مرکز ثقل آن مهمتر و قابل کاربردتر از خود پخش تنش برای معادلات تعادل در طراحی بتن مسلح باشد. با توجه به مدل ارائه شده برای نمودار تنش-کرنش (۱۴) و (۱۵)، نیروی فشاری بتن ( $C_c$ ) براساس پارامتر  $\alpha$  همانند رابطه زیر و شکل ۴ بدست می آید.



شکل ۳: تعادل مقطع ستون بتن مسلح

$$C_c = \alpha f'_c b c \quad (16)$$

پارامتر  $\alpha$  (فاکتور تنش متوسط) برای تبدیل تنش واقعی بتن به یک بلوک تنش مستطیلی معادل استفاده می شود. با هم ارزشی مساحت زیر نمودار تنش-کرنش با یک مساحت مستطیل معادل نیروی فشاری بتن محاسبه می گردد.

$$A_{con} = \int_0^{\varepsilon_t} \sigma_{c1} d\varepsilon_c + \int_{\varepsilon_t}^{\varepsilon_{cc}} \sigma_{c2} d\varepsilon_c = \alpha f'_c \varepsilon_{cc} \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{A_{con}}{f'_c \varepsilon_{cc}} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_{cc} \left[ f'_c + \frac{E_2 \varepsilon_{cc}}{2} \right] + \frac{4f_c'^2 \left( \frac{E_2}{6} + \frac{E_c}{3} \right)}{(E_2 - E_c)^2} + \frac{2f_c' \left( f'_c - \frac{E_2 f_c'}{E_2 - E_c} \right)}{E_2 - E_c}}{\varepsilon_{cc} f'_c} \quad (19)$$

موقعیت نیروی فشاری بتن ( $C_c$ ) از آخرین تار فشاری براساس پارامتر  $\gamma$  اندازه گیری و همانند رابطه زیر محاسبه می شود.

$$d_c = \gamma \times c \quad (20)$$

$d_c$  فاصله تار فشاری انتهایی تا خط مرکز فشار نیروی بتن می باشد.

ممان اول سطح زیر نمودار تنش-کرنش واقعی بتن با رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = \int_0^{\varepsilon_t} \sigma_{c1} \varepsilon_c d\varepsilon_c + \int_{\varepsilon_t}^{\varepsilon_{cc}} \sigma_{c2} \varepsilon_c d\varepsilon_c = \bar{\varepsilon}_c A_{con} \quad (21)$$

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_t} \sigma_{c1} \varepsilon_c d\varepsilon_c + \int_{\varepsilon_t}^{\varepsilon_{cc}} \sigma_{c2} \varepsilon_c d\varepsilon_c}{\int_0^{\varepsilon_t} \sigma_{c1} d\varepsilon_c + \int_{\varepsilon_t}^{\varepsilon_{cc}} \sigma_{c2} d\varepsilon_c} \quad (22)$$

$$\gamma = \frac{\frac{f_c'^3 \left( E_2 + \frac{5E_c}{3} \right)}{(E_2 - E_c)^3} - \varepsilon_{cc}^2 \left( \frac{f_c'}{2} + \frac{E_2 \varepsilon_{cc}}{3} \right) + \frac{4f_c'^2 \left( \frac{f_c'}{2} - \frac{2E_2 f_c'}{3(E_2 - E_c)} \right)}{(E_2 - E_c)^2}}{\varepsilon_{cc} \left( \varepsilon_{cc} \left( f_c' + \frac{E_2 \varepsilon_{cc}}{2} \right) + \frac{4f_c'^2 \left( \frac{E_2}{6} + \frac{E_c}{3} \right)}{(E_2 - E_c)^2} + \frac{2f_c' \left( f_c' - \frac{E_2 f_c'}{E_2 - E_c} \right)}{E_2 - E_c} \right)} + 1 \quad (23)$$

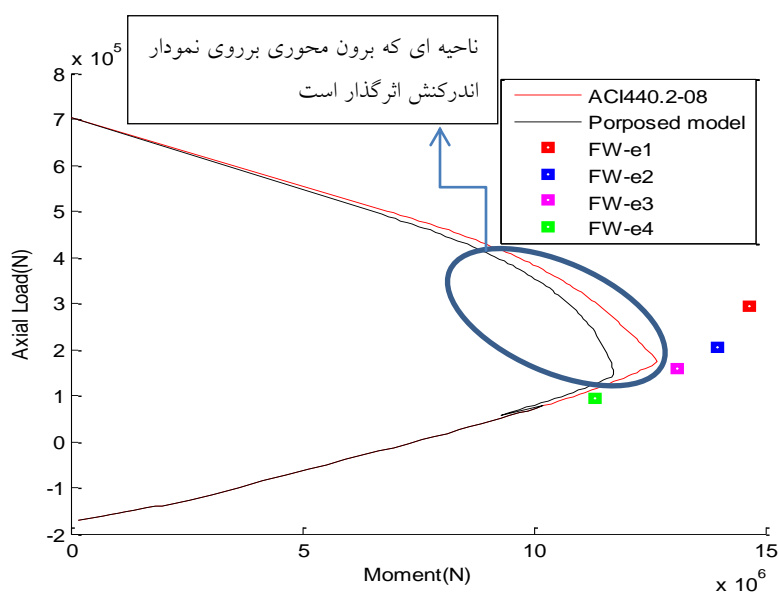
برای ارزیابی روابط تئوری ارائه شده، داده های آزمایشگاهی موجود در تحقیقات گذشته که در جدول ۱ آورده شده، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات آزمایشگاهی نمونه های مورد استفاده در ارزیابی روابط پیشنهاد شده

مرجع	اسم نمونه	نوع فایبر	b (mm)	h (mm)	H (mm)	Rc (mm)	$\rho_s$ (%)	$\rho_g$	$f_c'$ (Mpa)	$f_y$ (Mpa)	$f_{fr}$ (Mpa)	$t_{fe}$ (mm)	$P_{max}$ (KN)	$M_{max}$ (KN-m)
Maaddawy 2009 [۷]	FW-e1	CFRP	۱۲۵	125	1200	10	2	0.584	28.5	550	894	0.762	295	14.66
	FW-e2	CFRP	125	125	1200	10	2	0.584	28.5	550	894	0.762	205	13.98
	FW-e3	CFRP	125	125	1200	10	2	0.584	28.5	550	894	0.762	157	13.08
	FW-e4	CFRP	125	125	1200	10	2	0.584	28.5	550	894	0.762	95	11.31
Cao at all 2006 [۸]	Z2	CFRP	250	250	1350	20	1.28	0.724	24.4	403.7	3399	0.16	1400	52.16
	Z3	CFRP	250	250	1350	20	1.28	0.724	24.4	403.7	3399	0.16	1175	69.36
	Z4	CFRP	250	250	1350	20	1.28	0.724	24.4	403.7	3399	0.16	1000	80.58
	Z5	CFRP	250	250	1350	20	1.28	0.724	24.4	403.7	3399	0.16	650	80.87
Maaddawy 2010 [۹]	R1F-e0	CFRP	120	160	1700	10	1.63	0.65	20	550	894	0.381	558.7	0
	R1F-e1	CFRP	120	160	1700	10	1.63	0.65	20	550	894	0.381	177.1	15.79
	R1F-e2	CFRP	120	160	1700	10	1.63	0.65	20	550	894	0.381	142.6	16.14
	R2F-e0	CFRP	110	150	1700	10	1.9	0.65	20	550	894	0.381	516.6	0
	R2F-e1	CFRP	110	150	1700	10	1.9	0.65	20	550	894	0.381	190.2	15.61
	R2F-e2	CFRP	110	150	1700	10	1.9	0.65	20	550	894	0.381	130.4	13.71
	SF-e0	CFRP	135	135	1700	10	1.72	0.65	20	550	894	0.381	594.8	0
	SF-e1	CFRP	135	135	1700	10	1.72	0.65	20	550	894	0.381	186.2	14.69
SF-e2	CFRP	135	135	1700	10	1.72	0.65	20	550	894	0.381	134.8	13.53	

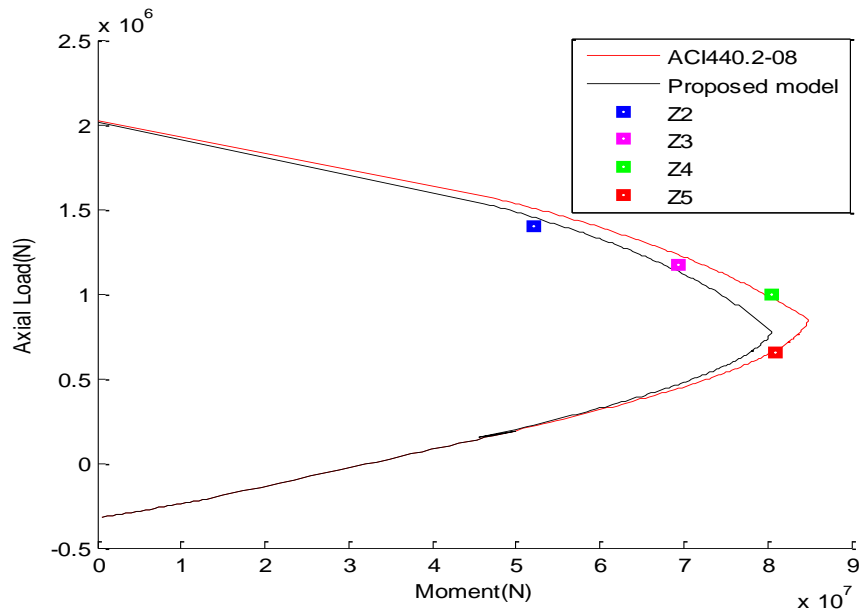
برای مقایسه نتایج نیاز به رسم نمودار اندرکنش ظرفیت نیروی محوری و لنگر خمشی می باشد. برای این منظور با استفاده از مشخصات مقطع نمونه های آزمایشگاهی که در جدول ۱ آورده شده، مفاهیم شکل ۴ و نمودار تنش - کرنش ارائه شده در فرمول (۱۴) و (۱۵) و  $\alpha$  و  $\gamma$  مربوط به آنها، نمودار اندرکنش ظرفیت نیروی محوری لنگر خمشی نمونه آزمایشگاهی ترسیم گردیده است. همچنین برای بررسی و فهم تأثیر برون محوری روی محصورشدگی، نمودار اندرکنش نمونه های آزمایشگاهی با استفاده از

منحنی تنش - کرنش ACI440.2-08 ترسیم گردیده است. نمودار اندرکنش تمام نمونه های آزمایشگاهی که ترسیم گردیده است در شکل های ۴ تا ۸ آورده شده است. همانطوریکه در شکل ۴ مشخص شده است تأثیر برون محوری روی محصورشدگی در محدوده کنترل فشار نزدیک به بالانس بیشترین تأثیر را دارا می باشد. این نتیجه با توجه به اینکه محصورشدگی در ناحیه کنترل کشش روی مقاومت ستون تأثیر گذار نمی باشد منطقی به نظر می رسد همچنین در منطقه کنترل فشار نزدیک به نیروی فشاری خالص چون برون محوری ناچیز می باشد لذا تأثیر برون محوری روی محصورشدگی ناچیز می باشد، در نتیجه آن نمودار در این ناحیه هم منطقی به نظر می رسد. با بررسی شکل های ۴ تا ۸ به این نتیجه می رسیم که نمودار اندرکنشی که بر اساس نمودار تنش - کرنش ارائه شده بدست آمده است محافظه کارانه می باشد درحالیکه در اکثر نمونه های آزمایشگاهی، اندرکنش ظرفیت نیروی محوری و لنگر خمشی توسط نمودار ACI440.2-08 غیر محافظه کارانه است.

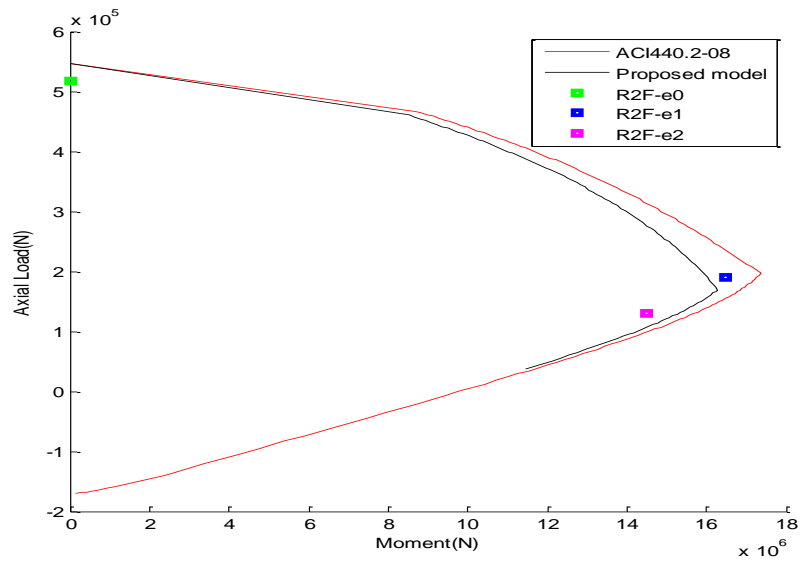


شکل ۴ : مقایسه نتایج ACI440.2-08 و Maaddawy 2009

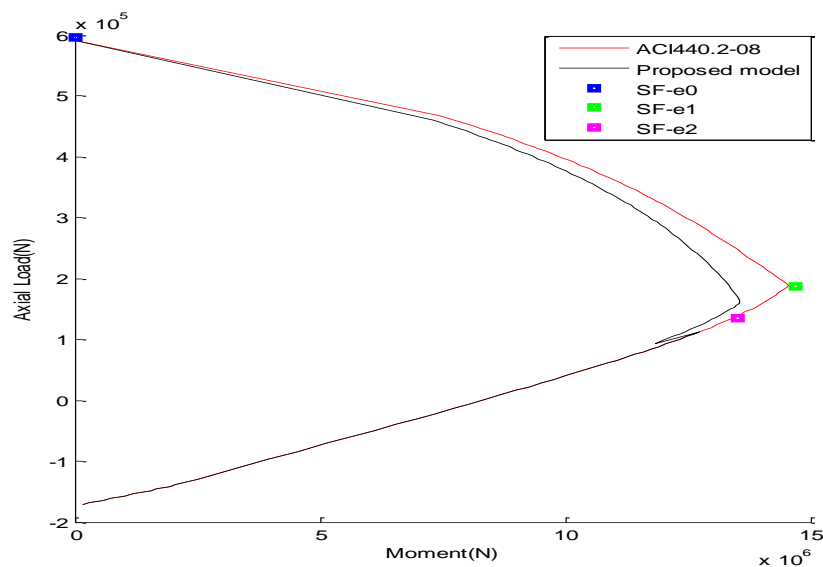




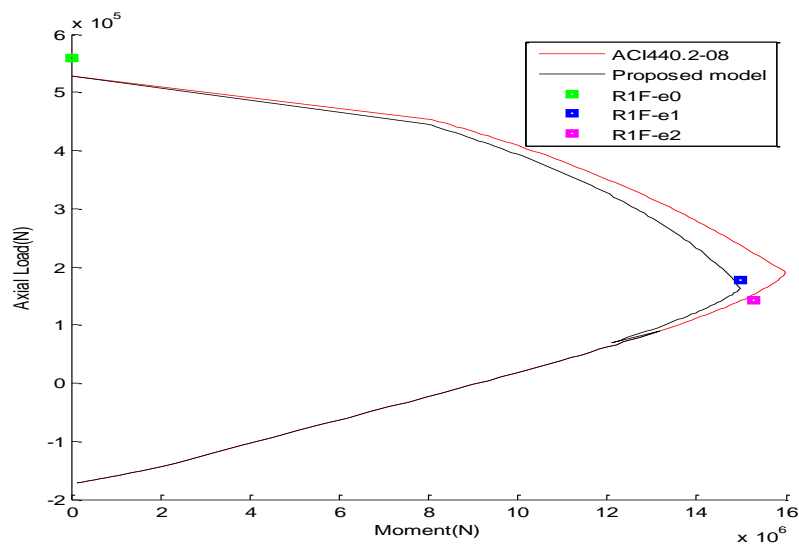
شکل ۵: مقایسه نتایج Cao at all 2006 و ACI440.2-08



شکل ۶: مقایسه نتایج Maaddawy 2010 و ACI440.2-08



شکل ۷: مقایسه نتایج ACI440.2-08 و Maaddawy 2010



شکل ۸: مقایسه نتایج ACI440.2-08 و Maaddawy 2010

#### ۴- نتیجه گیری

از آنجاییکه مطالعات گذشته نشان داده است که برون محوری بر روی محصورشدگی ستونهای دایره ای محصورشده با FRP تأثیر کاهنده دارد در این مقاله جهت در نظر گرفتن اثرات برون محوری روی محصورشدگی ستونهای مستطیلی دورپیچ شده با FRP، منحنی تنش- کرنش بتن محصورشده با FRP پیشنهادی آیین نامه ACI440.2-08 اصلاح گردیده است. نمودار اندرکنش ظرفیت نیروی محوری و لنگر خمشی ستونهای دورپیچ شده با FRP که به صورت آزمایشگاهی آزمایش شدند با استفاده از منحنی تنش- کرنش پیشنهادی و منحنی پیشنهادی ACI440.2-08 ترسیم گردیده است، که نتایج نشان می دهد تأثیر برون محوری روی منحنی تنش- کرنش بتن محصورشده ستونهایی که دارای برون محوری

نزدیک به برون محوری متوازن در ناحیه کنترل فشار قرار دارند بیشتر است. همچنین نتایج نشان می دهد ظرفیت همچنین ستونهایی که توسط منحنی تنش - کرنش ACI440.2-08 بدست آمده اند غیر محافظه کارانه است در حالیکه ظرفیت براساس منحنی تنش - کرنش پیشنهادی بدست آمده است محافظه کارانه می باشد.

## مراجع

- [1]Samaan, M., Mirmiran, A., and Shahawy, M.; "Model of Concrete Confined by Fiber Composites"; *Journal of Structural Engineering*, 124, No. 9, (1998) 1025-1031
- [2]Saafi, M., Toutanji, H. A., and Li, Z; "Behavior of Concrete Columns Confined with Fiber Reinforced Polymer Tubes"; *ACI Materials Journal*, July-August, (1999) 500-509.
- [3]Xiao, Y., and Wu, H; "Compressive Behavior of Concrete Confined by Carbon Fiber Composites Jackets"; *Journal of Materials in Civil Engineering*, 12, No.,( 2000) 139-146 .
- [4]Lam, L., and Teng, J. G; "Stress-Strain Models for FRP-confined Concrete"; Hong Kong Polytechnic University, (2002)
- [5] Pessiki, S., Harries, K. A., Kestner, J. T., Suse, R., and Ricles, J. M.; "Axial Behavior of Reinforced Concrete Columns Confined with FRP Jackets"; *Journal of Composites for Construction*, 5, No. (2001), November, pp. 237- 245
- [6] *ACI*; "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" *American Concrete Institute, ACI 440.2R-08, Farmington Hills, Michigan, (2008)*
- [7]Tamer El Maaddawy Strengthening of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Columns with Fiber-Reinforced Polymer Wrapping System: Experimental Investigation and Analytical Modeling ,*JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION*© ASCE / JANUARY/FEBRUARY (2009)
- [8] Cao S, Jing DH, Sun N.;Behavior of concrete columns strengthened by CFRP sheets under eccentric compression'; *China Civil Eng J*;39(8):26-32. In Chinese. (2006)
- [9]Tamer El Maaddawy, Mohamed El Sayed, Beckry Abdel-Magid ;The effects of cross-sectional shape and loading condition on performance of reinforced concrete members confined with Carbon Fiber-Reinforced Polymers'; 0261-3069/\$ - see front matter \_ Elsevier Ltd. All rights reserved. (2009)