

## بررسی برش و لنگر پایه مقاطع کامپوزیت در حالت غیر ارتجاعی

امیر پرویز خسروی امیری

مدرس و کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، رودهن، ایران  
acamir.slap@yahoo.com

کلید واژه‌ها: ستون‌های کامپوزیت، برش پایه، لنگر پایه، حالت غیر ارتجاعی.

### چکیده

هدف اصلی از طرح و اجرای سازه‌های مرکب دستیابی به مزایای عملکرد سازه‌ای مشترک بصورت همزمان است. از مباحث مهم در مورد رفتار سازه‌های کامپوزیت رفتار لرزه‌ای آنها و مهمتر از آن نحوه طراحی لرزه‌ای آنهاست. هدف اصلی این تحقیق بررسی رفتار لرزه‌ای انواع ستون‌های کامپوزیت در قاب در حالت غیر ارتجاعی تحت بار دینامیکی می‌باشد لذا عملکرد خمشی در مدل ۸ طبقه مورد بررسی قرار گرفته است تحلیل مدل‌ها با روش آنالیز دینامیکی غیر خطی توسط نرم افزار سازه‌مواستراکت (seismostruct) انجام شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که قاب‌های طراحی شده با ستون‌های کامپوزیت تیپ ۱، مقاطع فولادی IPB مدفون در بتن؛ و تیپ ۳، مقاطع IPB نیمه مدفون در بتن، در عملکرد خمشی، رفتار سازه‌ای مشابهی دارند و عملکرد مناسب لرزه‌ای از ویژگی‌های این دو مقطع می‌باشد.

### مقدمه

سازه‌ای که برش پایه و لنگر پایه زیادی داشته باشد در مقایسه با سازه‌هایی که در شرایط مشابه مقادیر برش و لنگر پایه کمتری دارند سخت تر است و از انعطاف پذیری و شکل پذیری کمتری برخوردار می‌باشد لذا نمی‌تواند تغییر مکان زیادی داشته باشد تا نیروی‌های جانبی مثل زلزله را به خوبی دفع کند بنابراین مقادیر برش پایه و لنگر پایه نشانگر ویژگی‌های سیستم دفع یا جذب نیروی زلزله می‌باشد و هر چقدر نیروی بیشتری جذب کند نیازمند مقاطع قویتر جهت مقاومت در برابر برش و لنگر قویتر خواهد بود. در این تحقیق به بررسی حداکثر برش پایه و لنگر پایه در مدل ۸ طبقه می‌پردازیم. طبق تحقیقات بگوم در سال ۲۰۱۳ از جمله مشکلات فراروی طراحان سازه‌ها چگونگی اجتناب از کماتش موضعی در ستون‌های فولادی در کنار حفظ توجیه‌های اقتصادی در طراحی مقاطع می‌باشد. این مشکل از جمله مواردی است که در سازه‌های مرکب و با کمک گرفتن از بتن منتفع گردیده است. آئین نامه‌های معتبر طراحی در مورد سازه‌های کامپوزیت بیشتر بواسطه نو بودنشان و فقدان داده‌های عملی در مورد رفتار واقعی آنها دارای جهت گیری‌های متفاوت و گاه محافظه کارانه اند. لذا تحقیق در مورد مصادیق رفتار واقعی چنین سازه‌هایی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در تحقیق حاضر به بررسی عملکرد تیپ‌های مختلف کامپوزیت پرداخته شد تا مناسب ترین تیپ به لحاظ عملکرد انتخاب گردد همچنین با مقطع فولادی مقایسه گردید تا مزایای این مقاطع مشخص گردد.

### هدف و روش تحقیق

هدف اصلی این تحقیق مقایسه و بررسی انواع مختلف ستون‌های کامپوزیت در قاب در حالت غیر ارتجاعی تحت بار دینامیکی می‌باشد که شامل مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب‌های ۸ طبقه طراحی شده با انواع تیپ‌های مختلف ستون‌های کامپوزیت (تیپ ۱- مقاطع فولادی مدفون در بتن، تیپ ۲- مقاطع فولادی جدار نازک پر شده از بتن، تیپ ۳- مقاطع فولادی نیمه مدفون در بتن) و قاب‌های ساختمانی فولادی می‌باشد. برای این منظور لنگر پایه و برش پایه و رفتار لرزه‌ای سازه‌های طراحی شده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. تحلیل رفتار سازه مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ انجام شده است در این پژوهش از ۴ نوع مدل سازه‌ای طراحی شده به روش پلاستیک استفاده نموده ایم. مدل‌های ۸ طبقه طراحی شده عبارتند از مدل ۱-۸: قاب ۸ طبقه ای است که با ستون‌های فولادی IPB طراحی شده است، مدل ۲-۸: قاب ۸ طبقه ای است که با ستون‌های کامپوزیت تیپ ۱ طراحی شده است، مدل ۳-۸: قاب ۸ طبقه ای است که با ستون‌های کامپوزیت تیپ ۲ طراحی شده و مدل ۴-۸: قاب ۸ طبقه



ای است که با ستون های کمپوزیت تیپ ۳ طراحی شده است. برای تهیه ی مدل های غیر خطی، باید نرم افزاری انتخاب شود، که بتواند هندسه ی مناسبی برای مقاطع مرکب و مدل مناسبی برای رفتار سازه انتخاب کند که بتواند مقاطع مرکب را بدون استفاده از ممان اینرسی معادل مدل کند باید توانایی انجام تحلیل های دینامیکی غیر خطی و قابلیت مدلسازی سه بعدی برای قابهای ساختمانی با اعضای کمپوزیت و طبقات متعدد را دارا باشد و همچنین اثرات غیر خطی مصالح را در تحلیل در نظر بگیرد. در این تحقیق از نسخه ۷5.2.1 ساینمو استراکت استفاده شده است. ذکر این نکته ضروری است که برای ساده سازی مدلسازی و حصول نتایج قابل اتکا، تعدادی ساده سازی ها و فرضیات صورت گرفته است. مدل نیرو - تغییر مکان برای مدل غیر خطی بخش های فولادی سازه، مدل دوخطی می باشد مدل نیرو - تغییر مکان برای مدل غیر خطی بخش های بتنی، بصورت منحنی تنش کرنش بتن می باشد. المان های تیر و ستون و مقطع مرکب بصورت سه بعدی مدل شده است و از مقطع تبدیل یافته استفاده نشده است و در نرم افزار مورد استفاده ساینمو استراکت برای مدلسازی مصالح فولاد و بتن از مواد با اصل مشخصات فولاد و بتن استفاده شده است. با توجه به مشخصات زلزله ی طرح مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ در این تحقیق از سه شتاب نگاشت زلزله های Tabas، Northridge و ChiChi استفاده شده است که مشخصات عمومی هر یک در جدول ۱ آورده شده است. محتوای فرکانسی زلزله را می توان با استفاده از تبدیل فوریه زلزله بررسی کرد. تبدیل فوریه شتاب نگاشت ها  $\ddot{X}_g(t)$  مطابق معادله (۱) می باشد. طیف های فوریه شتاب نگاشت های مورد بررسی که توسط برنامه ساینمو سینگنال بدست آمده اند

$$X(\ddot{S}) = \frac{1}{2f} \int \ddot{x}_g(t) e^{-iSt} dt \quad (1)$$

جدول ۱: مشخصات شتاب نگاشتهای انتخابی

Record	PGA (g)	PGV (cm/s)	Duration (s)	Time step(s)
Tabas	0.406	26.5	25	0.02
Northridge	0.358	27.5	40	0.02
Chi Chi	0.364	55.4	150	0.004

## مدلسازی تحلیلی

برای طراحی ستون های فولادی اعضای که تحت اثر مشترک بار های محوری و لنگر خمشی قرار گیرند، باید روابط اندرکنش زیر را برآورده کنند:

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{\left(1 - \frac{P}{P_e}\right) M_m} \leq 1 \quad (2)$$

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{1.18 M_p} \leq 1 \quad (3)$$

محاسبه لنگر پلاستیک ستون های کمپوزیت نیز روابط (۴) و (۵) و (۶) باید محاسبه شوند. در جدول ۲ بر اساس آیین نامه AISC فولاد آمریکا نتایج ظرفیت باربری ستون کامپوزیت تیپ ۱ با مقاطع مختلف محاسبه شده است.

$$N_p = r_b \dagger_{br} F_b + \sum r_a \dagger_F F_a \quad (4)$$

$r_b$ : ضریب کاهشده ی بتن

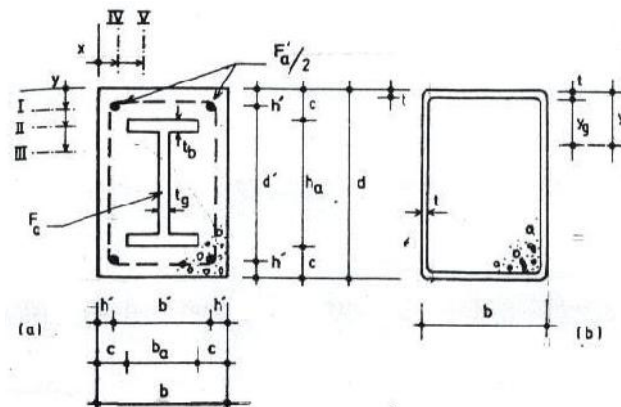
$F_a$ : مساحت فولاد

$r_a$ : ضریب کاهشده ی فولاد

$r_{br}$ : مقاومت فشاری بتن



$F_b$ : مساحت بتن  
 $F$ : تنش جاری فولاد



شکل ۱: ستون کامپوزیت تیپ ۱

طبق رابطه زیر:

$$\alpha_b \sigma_{br} bc \langle \alpha_a \sigma_F F_a \langle \alpha_b \sigma_{br} [bc + t_b (b - b_a)] + 2 \alpha_a \sigma_F t_b b_a$$

$$y = \frac{r_a t_F (F_a + 2 b_a c)}{r_b t_{br} b + 2 r_a t_F b_a} \quad (5)$$

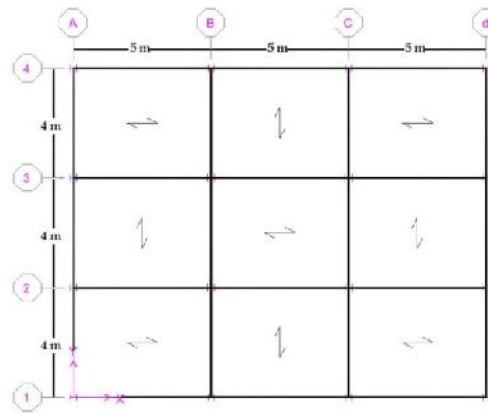
$$M_P = r_a t_F [F_a \frac{d-y}{2} - b_a c (y-c)] + r_a' t_F' F_a' \frac{d'}{2} \quad (6)$$

جدول ۲: نتایج ظرفیت باربری ستون های کامپوزیت تیپ ۱ (CC1).

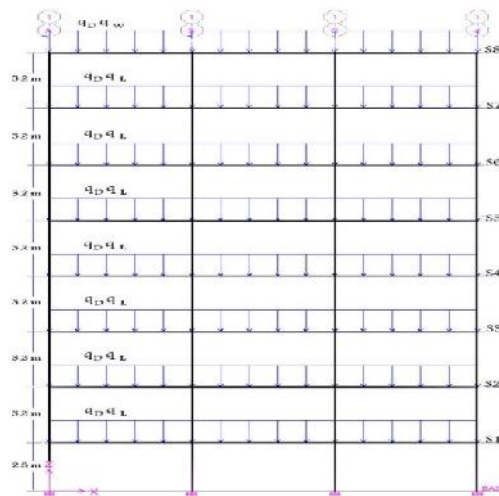
Np (t)	Mp (t.m)	پروفیل داخلی	ابعاد (cm)	مقطع
۱۹۰	۵	IPB12	۲۲×۲۲	CC1-IPB12
۲۳۰	۸.۵	IPB14	۲۴×۲۴	CC1-IPB14
۲۷۵	۱۲	IPB16	۲۶×۲۶	CC1-IPB16
۳۲۰	۱۵.۵	IPB18	۲۸×۲۸	CC1-IPB18
۳۷۵	۲۰	IPB20	۳۰×۳۰	CC1-IPB20
۴۳۰	۲۵	IPB22	۳۲×۳۲	CC1-IPB22
۴۹۰	۳۱.۵	IPB24	۳۴×۳۴	CC1-IPB24
۵۴۵	۳۷.۵	IPB26	۳۶×۳۶	CC1-IPB26
۶۰۰	۴۴.۷	IPB28	۳۸×۳۸	CC1-IPB28
۶۵۶	۵۱.۸	IPB30	۴۰×۴۰	CC1-IPB30

## مشخصات شبیه سازی

کاربری سازه ها از نوع مسکونی (با ضریب اهمیت ۱) و سیستم مقاوم جانبی سازه، قاب خمشی متوسط (با توجه به جدول ۶ ایین نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است)، نوع خاک محل با توجه به طبقه بندی آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ از نوع II و منطقه- I مورد از نظر لرزه خیزی شهر تهران می باشد (با پهنه خطر نسبی خیلی زیاد). (جدول ۳). در این پژوهش جهت مقایسه رفتار انواع مختلف ستون های کامپوزیت از تیپ قاب ساختمانی با پلان مشخص و تعداد طبقات ۸ استفاده شده است که شکل ۱ پلان قاب مدل شده و شکل ۲ ابعاد و بار گذاری قاب ۸ طبقه را نشان می دهد. در طراحی الاستیک یا روش تنش های مجاز با استفاده از آیین نامه های موجود و فرضیات انجام شده اقدام به بار گذاری، مدلسازی و طراحی سازه می نمایم. بار های ثقیلی وارده به سازه ها بر اساس آیین نامه بارگذاری ایران میحت ششم، بار مرده  $600 \text{ kg/m}^2$  و بار زنده ی طبقات  $200 \text{ kg/m}^2$  و بار زنده ی بام  $150 \text{ kg/m}^2$  می باشد.



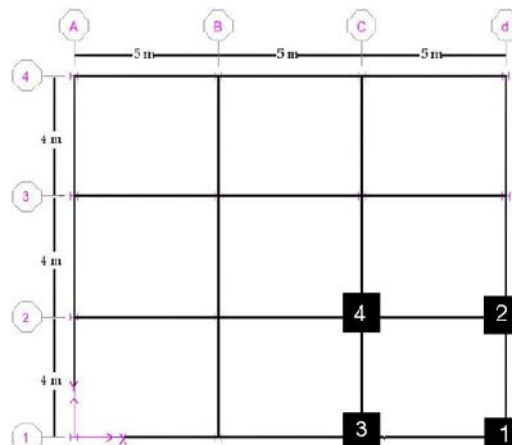
شکل ۲: پلان قاب های مدل شده ۸ طبقه



شکل ۳: ابعاد و بار گذاری قاب ۸ طبقه

## نتایج و بحث

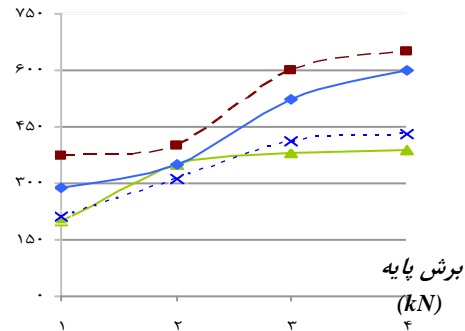
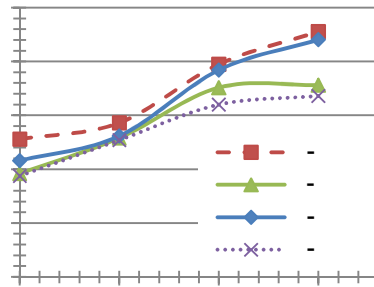
در این قسمت از تحقیق، نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این مهم که قابهای طراحی شده در پلان و بارگذاری صورت متقارن بوده اند و نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که این تقارن در نیرو و لنگر پایه‌ی حاصله نیز حاکم می‌باشد بنابراین مطابق شکل ۳ در مقایسه مدل‌ها به نتایج ۴ تکیه‌گاه از تکیه‌گاه‌های قابها اکتفا می‌کنیم در این بخش از تحقیق، ابتدا مقایسه حداکثر برش پایه و لنگر پایه در مدل ۸ طبقه انجام شده است. در نمودار ۱ لنگر طبقات ترسیم گردید. با نگاهی به آن مشاهده می‌شود که مقادیر حداکثر برش پایه و لنگر پایه مربوط به زلزله ChiChi است و کمترین مقادیر مربوط به زلزله Tabas می‌باشد.



شکل ۴: شماره تکیه‌گاهها در پلان برای مقایسه برش و لنگر پایه در مدل

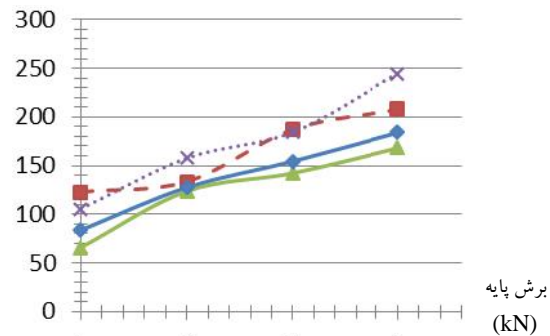
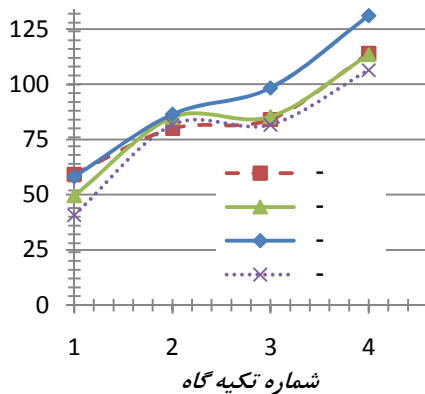


لنگر پایه  
(kN.m)



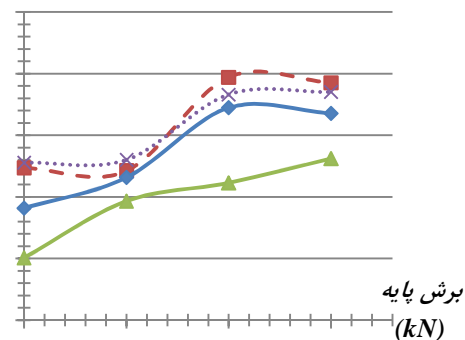
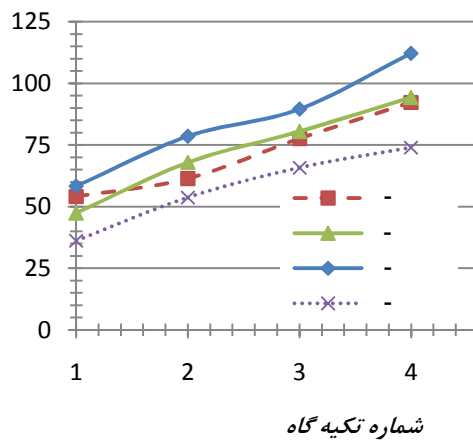
ChiChi

لنگر پایه  
(kN.m)



Northridge

لنگر پایه  
(kN.m)



Tabas

#### نمودار حداکثر برش پایه و لنگر پایه در مدل های ۸ طبقه

بنا به توصیه‌ی آیین نامه زلزله ایران اگر از سه شتاب‌نگاشت برای آنالیز استفاده شده باشد ماگزیمم پاسخ برای تحلیل طراحی انتخاب خواهد شد لذا برای بررسی و مقایسه مدل به لحاظ برش و لنگر پایه براساس تحریک زلزله ChiChi پرداخته شده است. بررسی دقیقتر نتایج مقایسات براساس تحریک زلزله ChiChi در لنگر پایه برای مدل های هشت طبقه نشان می‌دهد که بیشترین لنگر پایه در تمامی تکیه گاه ها مربوط به مدل ۱-۸ فولادی است که نشان می‌دهد سازه سخت بوده و لنگر پایه بیشتری جذب نموده است و در میان مدل های کمپوزیت کمترین میزان لنگر پایه در تکیه گاه ها مربوط به مدل کمپوزیت تیپ ۳ با مقدار می‌باشد. مدل های ۴-۸ و ۲-۸ در تکیه گاه های ۱ و ۲ و ۴ تقریباً لنگر پایه یکسانی دارند و در تکیه گاه ۳ مدل ۲-۸ به لنگر پایه بیشتری دارد که نشان می‌دهد سازه های طراحی شده با استفاده از مقاطع کمپوزیت تیپ ۱ و ۳ رفتار نزدیک بهم دارند و در ساختمان های با طبقات زیاد سیستم جذب انرژی بهتری ارائه می‌دهند این در حالی است که مدل ۳-۸ در تکیه گاه های ۱ تا ۴ لنگر پایه بیشتری جذب نموده است که ناشی از ابعاد بزرگ مقاطع ستون ها و وزن زیاد سازه و به تبع آن باعث کاهش انعطاف پذیری و افزایش سختی سازه می‌گردد. مقایسه نتایج برش پایه در قابهای ۸ طبقه نیز کمابیش نتایج مشابه لنگر پایه را دارد بیشترین مقادیر مربوط به مدل ۱-۸ فولادی و کمترین مقادیر مربوط به مدل های ۴-۸ و ۲-۸ می‌باشد و مقادیر مدل ۳-۸ در تکیه گاه های ۱ تا ۴ به ترتیب بیشتر می‌باشد.



هدف اصلی در تحقیق انجام شده بررسی رفتار لرزه ای انواع ستون های کمپوزیت در قاب در حالت غیر ارتجاعی تحت بار دینامیکی در ساختمان های بلند مرتبه بود. در مدل های ۸ طبقه دیده می شود مدل فولادی و مدل کمپوزیت تیپ ۲ بیشترین برش پایه و لنگر پایه را دارد که نشان می دهد این مدل ها در مقایسه با مدل های ۲-۸ و ۴-۸ سخت تر بوده و سیستم عملکرد نامناسبی در مقابل بارهای جانبی ارائه می دهند و نمی توانند نیروی زلزله را به خوبی دفع کنند ولی مدل های ۴-۸ و ۲-۸ با ستون های کمپوزیت تیپ ۳ و ۱ کمترین مقادیر برش و لنگر پایه را دارند و شکل پذیری، نرمی و عملکرد سازه ای مناسب برای دفع نیروی جانبی از ویژگی های ایندو سیستم می باشد. در کل تیپ ۱ و ۳ به لحاظ مقادیر برش پایه و لنگر پایه به ترتیب ۱۸٪ و ۲۱٪ مقدار کمتری نسبت به مدل فولادی دارند و بیشترین مقدار مربوط به مدل فولادی می باشد.

## فهرست مراجع

- Begum M. (2013), Behaviour of partially encased composite columns with high strength concrete, *Engineering Structures*, 56, 1718–1727.
- Cho C.G. (2011), Nonlinear failure prediction of concrete composite columns by a mixed finite element formulation, *Engineering Failure Analysis*, 18(7), 1723–1734.
- Ellobody E. (2011) , Numerical simulation of concrete encased steel composite columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 67(2), 211–222
- Gramblicka S. (2012), Analysis of Composite Steel-concrete Columns, *Procedia Engineering*, Volume 40, Pages 247–252
- Hajjar J.F. (2002), Composite steel and concrete structural systems for seismic engineering, *Journal of Constructional Steel Research*, 58, (5–8), 703–723.
- Hoang Van Long(2011), Field of application of high strength steel circular tubes for steel and composite columns from an economic point of view, *Journal of Constructional Steel Research*, 67(6), 1001–1021.
- Wei Li (2012), Parameter study on composite frames consisting of steel beams and reinforced concrete columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 77, 145–162
- Xiushu Qu (2013), Experimental study of rectangular CFST columns subjected to eccentric loading, *Thin-Walled Structures*, 64, 83–93

