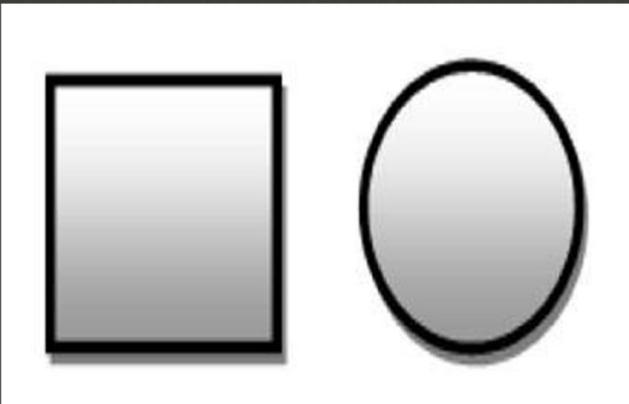


مطالعه ستون های لوله ای کوتاه (CFT) پر شده با بتن



موسسه آموزش مهندسی ۸۰۸
آموزش تخصصی عمران و معماری
www.civil808.com



چکیده:

ستون لوله ای پر شده با بتن یا ستون CFT از یک لوله فولادی تو خالی تشکیل شده که با بتن پر شده است. ستون فولادی پر شده با بتن به دلیل شکل پذیری خوب و مقاومت محوری بالا، برای به کارگیری در سازه های مقاوم در برابر زلزله، متداول شده است. مشاهده شده است که ستون های فولادی پر شده با بتن در یک سازه، در طی زلزله های شدید به خوبی عمل می نمایند. آین نامه های گوناگونی از جمله AISC-LRFD, BS-5400-part-5, Eurocode-4 و همچنین مؤسسه معماري ژاپن^۱ ملاحظاتی ویژه در رابطه با ستون های فولادی پر شده با بتن را در بر می گيرند. در اين مقاله، روابط رياضي گوناگونی که در اين آين نامه ها عنوان شده، با جزئيات تشریح شده است. پس از آن ظرفیت تحمل بار اين ستون ها به صورت تحلیلی با استفاده از روابط آين نامه اي گفته شده، تعیین شده است. در نهايیت نتایج تحلیلی با داده های تجربی موجود، مقایسه شده است. اشكال مختلفی از ستون ها برای گل میخ در نظر گرفته شده است.

كلمات کلیدی: ستون مرکب، آين نامه های طراحی، AIJ, EC-4, AISC-LRFD, BS-5400

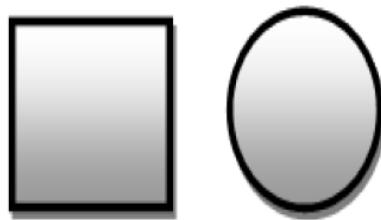
مقدمه:

^۱ Architectural Institute of Japan

اعضای سازه ای عموماً از فولاد، بتن و یا ترکیبی از فولاد و بتن تشکیل شده اند. اعضای فولادی مقاومت کششی و شکل پذیری بالایی از خود نشان می دهند. از طرف دیگر از جمله مزایای اعضای بتنی، مقاومت فشاری و سختی بالای آن ها می باشد. چنان چه اعضای فولادی بتنی به گونه ای طراحی شوند که از مشخصه های سازه ای هر دوی این مصالح به نحو کارآمدی استفاده شود، اعضای کامپوزیت فولادی-بتنی خصوصیات سودمند هر دوی این مصالح را در بر خواهند گرفت. از جمله این مشخصه های سودمند در اعضای کامپوزیت می توان به مقاومت، شکل پذیری، سختی و ظرفیت جذب انرژی مناسب آن ها اشاره کرد. با تولید بتن هایی با مقاومت بالا، مقاومت فولاد و بتن برای ساخت سازه ها نیز رو به افزایش است. با استفاده از بتن با مقاومت بالا، مقطع عرضی عضو کوچکتر شده و در نتیجه ستون لاغرتر می شود.

تعریف:

ستون کامپوزیت یک عضو فشاری است که از بتن و فولاد به شکلی غیر از آرماتور های تقویتی، تشکیل شده است. ستون کامپوزیت می تواند به دو دسته تقسیم شود: (۱) ستون های لوله ای پر شده با بتن و (۲) ستون های محصور شده. ستون های لوله ای پر شده با بتن را نیز می توان به دو دسته تقسیم کرد: (۱) بر اساس شکل ستون: (الف) مربع، (ب) مستطیل، (ج) دایره و (۲) بر اساس عمق بتن پر کننده: (الف) ستون فولادی نیمه پر شده با بتن، (ب) ستون فولادی کاملاً پر شده با بتن.



شکل ۱- مقطع ستون های فولادی پر شده با بتن

مزایای ستون فولادی پر شده با بتن:

سیستم ستون فولادی پر شده با بتن مزایای بسیاری در مقایسه با سیستم های فولادی یا بتنی مسلح مرسوم دارد. مهم ترین این مزایا عبارت اند از:

(۱) اندرکنش میان لوله فولادی و بتن: کمانش موضعی لوله فولادی به تأخیر می افتد و زوال مقاومت پس از کمانش موضعی تعدیل می گردد. هر دوی این ها به دلیل اثر گیر داری بتن اتفاق می افتد. از سوی دیگر به دلیل اثر محصور شدگی ایجاد شده به وسیله لوله فولادی، مقاومت بتن افزایش یافته و از آن جایی که از پکیدن بتن به وسیله لوله فولادی جلوگیری شده، تحلیل مقاومت شدید نمی باشد. انقباض ناشی از خشک شدگی و خرز نیز در این نوع بتن نسبت به بتن مسلح معمولی بسیار کمتر است.

(۲) خصوصیات مقطع عرضی: درصد فولاد در مقطع عرضی CFT نسبت به مقاطع بتنی مسلح و فولادی محصور شده با بتن، بسیار بیشتر است. فولاد مقطع CFT به دلیل آن که خارج از مقطع قرار گرفته، در برابر خمس شکل پذیری خوبی دارد.

(۳) بهره وری ساخت و ساز: نیروی کار برای قالب ها و آرماتور های تقویتی حذف می شود و قالب گیری بتن از طریق قیف و لوله یا روش پمپ کردن انجام می شود. این بهره وری منجر می شود تا محل کار تمیزتر باشد، نیروی ساخت و ساز کاهش یابد و نهایتاً هزینه ساخت کمتر و مدت زمان پروژه کوتاه تر شود.

(۴) مقاومت در برابر آتش: بتن مقاومت در برابر آتش را افزایش می دهد، لذا استفاده از مصالح ضد آتش کاهش می یابد و یا حذف می گردد.

(۵) عملکرد هزینه: به دلیل مزایای فوق الذکر، با جایگزینی یک سازه فولادی با یک سازه CFT، عملکرد هزینه ای بهتری حاصل می شود.

(۶) اکولوژی: حذف قالب بندی و یا استفاده مجدد از لوله های فولادی و استفاده از بتن با کیفیت بالا با سنگدانه های بازیافتی، می تواند اثرات زیست محیطی را کاهش دهد.

بررسی آیین نامه های طراحی:

در محاسبه ظرفیت ستون کامپوزیت، داشتن مقدار مقاومت مقطع عرضی که معمولاً بر حسب بار لهیدگی و لنگر نهایی مقاومت بیان می شود، ضروری است. هیچ گونه بندی در آیین نامه هندی^۲ برای ستون فولادی پر شده با بتن وجود ندارد. تعدادی روش طراحی برای ستون های لوله ای پر شده با بتن در کشورهای مختلفی توسعه یافته و در بعضی دیگر در حال توسعه است. در این مقاله روش ها یا توصیه های طراحی در رابطه با ستون های پر شده با بتن در آیین نامه های UK (Bridge Code-BS-5400-5), آیین نامه طراحی ضریب بار و مقاومت (EC4) Euro code، (LRFD) مؤسسه معماری ژاپن (AIJ) آورده شده است.

: آیین نامه Bridge Code-BS-5400 (2005)

الف. ضخامت دیواره فولاد

ضخامت دیواره اعضا فولادی نباید کمتر از مقادیر زیر باشد:

$$b \sqrt{f_y / 3E_s}$$

برای مقطع تو خالی مستطیلی

$$De \sqrt{f_y / 8E_s}$$

برای مقطع تو خالی دایره ای

که در آن:

b : عرض مقطع مستطیلی،

De : قطر خارجی مقطع تو خالی فولادی،

f_y : مقاومت تسلیم فولاد و

E_s : مدول الاستیسیته فولاد می باشد.

ب. لاغری

laguerre (λ) از رابطه زیر به دست می آید:

$$\lambda = I_e / I_E$$

$$I_E = \pi [(E_c I_c + E_s I_s) / N_u]^{0.5}$$

که در آن:

I_e : طول مؤثر ستون واقعی در صفحه خمث،

E_s : مدول الاستیسیته مقطع فولادی تو خالی،

I_c و I_s : به ترتیب ممان اینرسی بتن و فولاد حول محور مناسب،

E_c : مدول الاستیسیته بتن $f_{cu} = 450$ که در آن مقاومت مشخصه نمونه مکعبی می باشد و

N_u : بار لهیدگی می باشد.

ج. ستون کوتاه بار گذاری شده به صورت محوری

هنگامی که نسبت های طول مؤثر به بعد جانبی برای محور ها، I_x/h و I_y/b از 12 تجاوز نکند (b به ترتیب بزرگ ترین و کوچک ترین بعد جانبی ستون کامپوزیت می باشند)، ستون به عنوان ستون کوتاه درنظر گرفته می شود.

بار لهیدگی N_u به صورت بار های محوری نهایی کوتاه مدت برای یک ستون کوتاه تعریف شده و از رابطه زیر به دست می آید:

$$N_u = A_s F_y' / \gamma_{ms} + 0.67 A_c f_{cc} / \gamma_{mc}$$

Euro Code 4 (EC-4-1994)

Euro Code 4 مقاطع فولادی محصور شده با بتن، مقاطع نیمه محصور شده و مقاطع پر شده با بتن با و بدون آرماتور های تقویتی را پوشش می دهد. تنها مقاطع پر شده با بتن (دایره ای، مربعی و مستطیلی) در این فصل پوشش داده شده اند. EC4 به منظور بیان دو مفهوم قابلیت بهره برداری و اینمنی از مفاهیم حالت حدی استفاده می کند. به این گونه که دو دسته ضرایب اینمنی یکی به کنشها (بار ها) و دیگری به خواص مصالح اعمال می گردد. کنش ها شامل مقادیر مشخصه بار، بار های زنده و بار باد و همچنین تغییر شکل ایجاد شده توسط دما، انقباض و نشست می باشند.

الف. مقاومت در برابر کمانش موضعی (c.n.-4.8.2.4)

مقاومت در برابر کمانش موضعی در صورتی حاصل می گردد که:

$h/t < 52\epsilon$ برای مقاطع فولادی تو خالی مستطیلی

$d/t < 52\epsilon^2$ برای مقاطع فولادی تو خالی دایره ای

که در آن:

$$\epsilon = (235/0.91 f_y)^{1/2}$$

f_y : مقاومت تسلیم فولاد بر حسب MPa

t : ضخامت مقطع عرضی فولادی بر حسب mm

d : قطر ستون فولادی بر حسب mm و

h : ارتفاع ستون فولادی بر حسب mm می باشد.

ب. ستون کوتاه

برای ستون کوتاه که ستونی است با نسبت لاغری $0.2 \leq \lambda$. ظرفیت ستون از رابطه زیر به دست می آید:

$$N_{plrd} = \frac{A_s F_y}{Y_{ms}} + \frac{A_s f_{cu}}{Y_{mc}}$$

AISC-LRFD آینه های آمریکایی: روش های

بخش ۱ از مؤسسه آمریکایی ساخت و ساز های فولادی^۳ - در روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD) برای ساختمان های فولادی سازه ای (۱۹۹۳) الزاماتی در رابطه با سطوح عرضی مقطع، ضخامت جدار لوله فولادی، مقاومت بتن و فولاد بیان شده است.

معادلات طراحی هم برای اشکال فولادی محصور شده با بتن و هم برای لوله های فولادی پر شده با بتن (CFT) با محاسبات مختلفی توسعه یافته اند. در این بخش به خلاصه ای از الزامات طراحی و محاسبات برای ستون های CFT می پردازیم.

محدودیت های الزامات عمومی برای CFT به صورت زیر می باشد:

$$A_s \geq 0.04 A_g$$

۱. سطح مقطع عرضی کلی مقطع فولادی نباید کمتر از ۴ درصد سطح خالص ستون باشد.

۲. مقاومت فشاری مشخصه بتن نرمال باید حداقل 21 MPa بوده و بیشتر از 55 MPa نیز نباشد. یعنی در صورت به کارگیری بتن نرمال، باید این معادله برقرار باشد: $21 \text{ MPa} \leq f_c \leq 55 \text{ MPa}$. در صورتی که از بتن با سنگدانه های سبک استفاده شود، مقدار گفته شده نباید کمتر از 28 MPa باشد.

۳. تنش تسلیم مقطع فولاد و آرماتور های تقویتی به کار رفته نباید بیشتر از 380 MPa شود، یعنی $F_y \leq 380 \text{ MPa}$

۴. حداقل ضخامت جداره لوله های فولادی و مقاطع لوله ای پر شده با بتن به صورت زیر می باشد:

$$t \geq b \sqrt{\frac{f_y}{3E_s}}$$

برای مقاطع مستطیلی

$$t \geq De \sqrt{\frac{f_y}{3E_s}}$$

برای مقاطع دایره ای

که در آن،

³ American Institute of Steel Constructors

b: عرض لوله فولادی،

De: قطر خارجی مقطع فولادی،

E: مدول الاستیسیته فولاد،

t: ضخامت جدار لوله فولادی و

f_y : تنش تسلیم فولاد می باشد.

ظرفیت ستون نیز از این رابطه به دست می آید.

$$N_d = \emptyset P_n = 0.85 f_{cr} A_s$$

مؤسسه معماری ژاپن:

ضوابط مؤسسه معماری ژاپن، روش طراحی ستون های فولادی پر شده با بتن بر اساس حالت حدی نهایی که در این بخش توضیح داده شده است را ارائه می کند. تنش تسلیم مشخصه لوله های فولادی در محدوده 235 MPa (یا 215 در صورتی که ضخامت صفحه (t) بیشتر از 40 mm باشد) تا 355 MPa (یا 335 در صورتی که ضخامت صفحه (t) بیشتر از 40 mm باشد) مناسب با درجات گوناگون فولاد از جمله فولاد با مقاومت بالا، تغییر می کند. مقادیر حدی نسبت عرض به ضخامت برای یک لوله مستطیلی و نسبت قطر به ضخامت برای یک لوله دایره ای به صورت زیر می باشد:

B: عرض بال لوله مستطیلی،

D: عمق یا قطر لوله دایره ای،

t: ضخامت جدار لوله فولادی و

F: مقاومت استاندارد برای تعیین تنش های مجاز فولاد، کوچکترین مقدار بین تنش تسلیم و 0.7 برابر مقاومت کششی (MPa) می باشد.

این مقادیر بر اساس اثر گیر داری بتن پر کننده بر روی کمانش موضعی لوله های فولادی، به I_e برابر مقادیر متناظر با فولاد تنها تقریب زده می شوند. تنش چسبندگی مجاز بلند مدت میان بتن پر کننده و درون لوله فولادی برابر 0.15 MPa برای یک لوله دایره ای و 0.1 MPa برای یک لوله مستطیلی می باشد. تنش چسبندگی به مقاومت بتن بستگی ندارد. مقادیر متناظر با شرایط تنش کوتاه مدت، I_e برابر مقادیر مربوط به شرایط بلند مدت می باشد.

طول مؤثر حداکثر I_e برای یک عضو CFT به صورت زیر محدود می شود:

$I_e/D \leq 50$ برای یک عضو فشاری

$I_e/D \leq 30$ برای یک تیر ستون

I_e : طول کمانش مؤثر یک عضو و

D: عمق حداقل یک مقطع عرضی می باشد.

ظرفیت ستون از رابطه زیر به دست می آید:

$$N_{cul} = cN_{cu} + (1 + \eta) sN_{cu}$$

مثال های عددی بر اساس آیین نامه ها:

ستون های فولادی پر شده با بتون دارای مقاطع عرضی دایره ای و مربعی، به صورت تحلیلی مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج تحلیلی با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده است. داده های آزمایشگاهی از [Gupta P.K. (2010) و Almadini (2011)]، اخذ شده اند.

جدول ۱- مقایسه نتایج به دست آمده بر اساس آیین نامه ها برای ستون CFT کوتاه با داده های آزمایشگاهی به دست آمده توسط Almadini (2011)

Sr No	Shape	Section properties		Material properties (N/mm ²)		Squash load Experimental (kN)	Squash load (analytical) (kN)			
		D/t ratio	L _e /D	f _c	f _y		BS-5	EC-4	AISC/LRFD	AIJ
1	Circular	39.75	2.51	71.25	360	1800	1380	1488	1508	1785
2	Circular	39.75	2.51	45.42	360	1400	1039	1129	1178	1227
3	Square	35.25	2.83	71.25	360	1750	1023	1241	1327	1531
4	Square	37.5	3.33	71.25	360	1945	1195	1722	1740	1803

جدول ۲- مقایسه نتایج به دست آمده بر اساس آیین نامه ها برای ستون CFT کوتاه با داده های آزمایشگاهی به دست آمده توسط P.K. Gupta (2010)

Sr No	Shape	Section properties		Material properties (N/mm ²)		Squash load Experimental (kN)	Squash load (analytical) (kN)			
		D/t ratio	L _e /D	f _c	f _y		BS-5	EC-4	AISC/LRFD	AIJ
1	Circular	32.59	3.80	30	360	612	430	413	419.5	481.8
2	Circular	32.59	3.80	40	360	665	446	458	471	494
3	Circular	38.94	3.02	30	360	730	522	549	581	603
4	Circular	38.94	3.02	40	360	822	623	612	661	709

بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج به دست آمده به این نتیجه گیری می‌انجامد که با افزایش مقاومت مشخصه بتن، ظرفیت حمل بار ستون CFT افزایش می‌یابد. مشاهده دیگر آن است که با کاهش نسبت L_e/D و افزایش نسبت D/t ، ظرفیت حمل بار افزایش می‌یابد. نتایج تحلیلی به دست آمده با استفاده از چهار آیین نامه نشان می‌دهد که بار لهیدگی در مورد BS-5 کمتر و در مورد AIJ حداکثر است. تمامی مقادیر تحلیلی بسیار کمتر از مقادیر آزمایشگاهی متناظر می‌باشند که نشان دهنده مقاوت ذخیره در ستون‌های طراحی شده با روابط مطرح شده در آیین نامه می‌باشد. آیین نامه‌های BS-5 و EC-4 در مقایسه با AISC/LRFD و AIJ، نتایج محافظه کارانه‌تری به دست می‌دهند. می‌توان نتیجه گرفت که ستون‌های فولادی پر شده با بتون می‌توانند به صورت مؤثری به عنوان اعضای سازه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، جهت تعیین مناسب بودن ستون‌های CFT در یک سازه خاص، بررسی و کار آزمایشگاهی با جزئیات بیشتری لازم است.