۱۳۲۸ /۲/ ۲۰

بسم ا . . . الرحمن الرحیم

بررسی مقاومت خمشی و برشی لوله‌های پرشده از بتن

بوسیلهٔ

داود نجـــار نوبـــری

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی راه و ساختمان (سازه)

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

امضاء اعضا کمیته پایان نامه:

دکتر رضا رازانی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان (رئیس کمیته) .....

دکتر حمید سیدیان، استادیار بخش مهندسی راه و ساختمان .....

دکتر محمدرضا بنان، استادیار بخش مهندسی راه و ساختمان .....

تیرماه ۱۳۷۷

۲۵۰۹۱

2130/2

تقدیم

به خانواده ارجمند و گرامی‌ام که در تمام مراحل تحصیل مشوق ویاور من بوده‌اند.

به خواهر عزیزم که پایه‌گذار تحصیلاتم بوده است.

به پدر ایثارگرم ، و افسوس که اتمام این پایان‌نامه با پایان زندگانیش همراه بود. روحش شاد.

و مادر بزرگوارم که . . .

۲۵۰۹۱

سپاسگزاری

حمد و سپاس تنها شایسته پروردگار عالمیان است.

اینک که به یاری خداوند متعال و لطف حضرت صاحب‌الزمان مشکلات علمی برطرف گشت لازم می‌دانم از آقای دکتر رضا رازانی استاد مشاور و رئیس کمیته پایان‌نامه و همچنین آقایان دکتر حمید سیدیان و دکتر محمد رضا بنان به خاطر تمام زحماتی که در امر راهنمائی، بررسی و تکمیل این اثر متحمل شده‌اند سپاسگزاری کنم.

از فرصت بدست آمده از همکاری ارزشمند تکنسینهای آزمایشگاهی بخش راه و ساختمان، آقایان بروسان و فرشچیان و همچنین از تلاشهای بی‌دریغ آقای زرین کلاه که در امر تهیه و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی این حقیر را یاری نموده‌اند قدردانی می‌شود.

و در انتها از مسئولان مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن علی‌الخصوص آقای دکتر مزروعی رئیس آزمایشگاه سازه که در انجام آزمایشات این پایان‌نامه نهایت همکاری را داشته‌اند سپاسگزاری می‌شود.

چـــــکیده

بررسی مقاومت خمشی و برشی لوله‌های پرشده از بتن

بـوسیله

داود نجار نوبـری

در این پایان‌نامه به بررسی رفتار و مقاومت تیر و ستونهای کوتاه مرکـب سـاخته شده از بتن محصور شده در لوله‌های فولادی مبادرت گردیده اسـت. در ایـن نـوع اعضـاء سازه‌ای وجود لوله فولادی نه‌تنها در مناطق کششی مشابه آرماتور فولادی در بتن مسـلح عمل می‌کند و ضعف کششی و برشی بتن را جبران می‌نماید بلکه در مناطق فشـاری نـیز اگر بتن به شکلی مطلوب و موثر محصور شود، مقاومت فشاری آن نیز بهبـود یافتـه و در نتیجه ظرفیت باربری فشاری مقطع افزایش می‌یابد یعنـی در ایـن صـورت سـطح مقطـع مورد نیاز عضو کاهش یافته و طرح مورد نظر اقتصادی‌تر می‌شود.

دراعضاء متشکل از لولـه‌های پرشـده از بتـن عـلاوه بـر افزایـش مـیزان بـاربری، شکل‌پذیری عضو نیز بهبود یافته و در نتیجه قدرت جذب انـرژی نـیز بطـور چشـمگیری افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان از این عناصر جهـت مقـاوم سـازی سـاختمانها در برابـر بارهای جانبی دینامیکی نظیر باد و زلزله استفاده کرد.

هدف این پایان‌نامه انجام آزمایشات مختلف خمشی، برشی و فشاری روی لوله‌های فولادی پرشده با بتن جهت تعین رفتار و خصوصیـات مکـانیکی آن می‌باشـد. بـرای ایـن منظور جمعاً ۱۰ نمونه ستون کوتاه بطول ۳۰ سانتیمتر و۴ نمونه تیرهـای خمشـی بطـول ۱۲۰ سانتیمتر و ۳ نمونه تیرهای برشی بطول ۸۰ سانتیمتر مـورد آزمـایش قـرار گرفتنـد. این‌نمونه‌ها از لوله‌های فولادی باقطر داخلی ۱۵۲ میلیمتر و ضخامت۴ میلیمتر که از بتن با مقاومت ۲۸ روزه ۲۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع پر شده بود ساخته شدند. نتـایج ایـن آزمایشها مفصلا عرضه گردیده‌اند و در هر مورد نیز سعی گردید که تئوری مناسـب بـرای توجیه نتایج آزمایشات ارائه گردد و با نتایج بدست آمده توسط سایر پژوهندگـان مقایسـه شود.

فهرست مطالب

عنوان	*صفحه*
فهرست اشکال	هشت
فهرست علائم اختصاری	دوازده
فصل اول - مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ انگیزه تحقیق	۲
۱-۳ اهداف و خلاصه برنامه تحقیق	۶
۱-۳-۱ برنامه و اهداف بررسی‌های تجربی رفتار لوله‌های فولادی پرشده از بتن در خمش، برش، فشار، چسبندگی و لهیدگی	۶
۱-۳-۲ برنامه و اهداف بدست آوردن تئوریهای مناسب برای پیش‌بینی رفتار اینگونه اعضاء و نتیجه‌گیری‌های لازمه	۷
فصل دوم - بررسی تحقیقات گذشته روی بتن مسلح محصور شده	۹
۲-۱ بتن مسلح محصور شده و انواع آن	۹
۲-۲ مروری بر روشهای ارائه شده در طرح و آنالیز لوله‌های فولادی پرشده با بتن همراه با مطالعات آزمایشگاهی توسط محققین مختلف	۱۰

عنوان *صفحه*

فصل سوم - بررسی چسبندگی و مقاومت لهیدگی و فشاری ستونهای متشکل از لوله‌های کوتاه فولادی پرشده از بتن ۲۴

۳-۱ تحقیقات تئوری و نظری ۲۴

۳-۲ تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی ۳۱

۳-۳ تحلیل نتایج تجربی و تئوری ستونهای کوتاه متشکل از لوله‌های فولادی پرشده از بتن ۴۷

فصل چهارم - بررسی مقاومت خمشی تیرهای متشکل از لوله‌های فولادی پرشده از بتن ۵۲

۴-۱ تحقیقات تئوری و نظری ۵۲

۴-۲ تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی ۵۶

۴-۳ تحلیل نتایج تجربی و تئوری تیرهای متشکل از لوله‌های فولادی پرشده از بتن در خمش ۸۱

فصل پنجم - بررسی مقاومت برشی تیرهای متشکل از لوله‌های فولادی پرشده با بتن ۸۳

۵-۱ تحقیقات تئوری و نظری ۸۳

۵-۲ تحلیل نتایج آزمایش برشی تیرهای حاصل از لوله‌های فولادی پرشده با بتن ۸۷

عنوان	*صفحه*
فصل ششم - نتیجه گیری	۸۸
۶-۱ مروری برنتایج حاصله	۸۸
۶-۲ پیشنهادات و توصیه ها	۸۸
منابع	۸۹
صفحه عنوان و چکیده به زبان انگلیسی	

فهرست اشکال

شمارهٔ شکل	صفحه
(۲-۲-۱) منحنی نیرو - تغییر شکل برای هسته بتنی و لوله فولادی بصورت تنها و بصورت مختلط	۱۱
(۲-۲-۲) معیار تسلیم و زوال وان میسز	۱۲
(۲-۲-۳) منحنی تغییرات $\frac{\sigma_1^*}{f_y}, \frac{\sigma_2^*}{f_y}, \frac{\sigma_r^*}{f_c'}$ و α برحسب Φ	۱۵
(۲-۲-۴) منحنی ظرفیت باربری نیروی محوری و لنگرخمشی با توجه به اثر خروج از مرکزیت بار محوری	۱۷
(۲-۲-۵) مقایسه ستونهای U.T.C , B.T.C	۱۸
(۲-۲-۶) منحنی تنش - کرنش آرماتور فولادی	۲۲
(۲-۲-۷) منحنی تنش - کرنش هسته بتنی	۲۲
(۳-۱-۱) انواع ستونهای بتن آرمه	۲۵
(۳-۱-۲) مقطع مبدل در فشار محوری	۲۶
(۳-۱-۳) نحوه گسیختگی ستون با تنگ بسته	۲۷
(۳-۱-۴) مقایسه منحنی‌های بار برحسب تغییر طول در ستون با تنگ بسته و ستون با دور پیچ	۲۹
(۳-۲-۱) نحوه بارگذاری جهت بررسی چسبندگی شیمیایی بین هسته بتنی و لوله فولادی	۳۲
(۳-۲-۲) نمونه‌های آزمایش چسبندگی بعد از لغزش هسته بتنی در لوله فولادی	۳۳
(۳-۲-۳) منحنی نیرو - تغییر مکان در آزمایش چسبندگی شیمیایی برای ستون کوتاه C2	۳۴
(۳-۲-۴) منحنی نیرو - تغییر مکان در آزمایش چسبندگی شیمیایی برای ستون کوتاه C3	۳۵

شمارهٔ شکل **صفحه**

(۳-۲-۵) نحوه بارگذاری جهت بررسی تنش لهیدگی در هسته بتنی ۳۷

(۳-۲-۶) نمونه‌های C6, C7 آزمایش‌های لهیدگی پس از بارگذاری و زوال ۳۸

(۳-۲-۷) منحنی نیرو - تغییر مکان در آزمایش لهیدگی برای ستون کوتاه C6 ۳۹

(۳-۲-۸) منحنی نیرو - تغییر مکان در آزمایش لهیدگی برای ستون کوتاه C7 ۴۰

(۳-۲-۹) نحوه بارگذاری ستون کوتاه که در آن لوله فولادی و هسته بتنی تحت بار می‌باشند (نوع B.T.C) ۴۲

(۳-۲-۱۰) نحوه بارگذاری و زوال ستون کوتاه که در آن لوله فولادی و هسته بتنی تحت بار می‌باشند.(نوع B.T.C) ۴۳

(۳-۲-۱۱) منحنی نیرو - جابجایی برای ستون کوتاه C4 که در آن لوله فولادی و هسته بتنی تحت بار می‌باشند. (نوع B.T.C) ۴۴

(۳-۲-۱۲) منحنی نیرو - جابجایی برای ستون کوتاه C5 که در آن لوله فولادی و هسته بتنی تحت بار می‌باشند (نوع B.T.C) ۴۵

(۳-۲-۱۳) نحوه زوال ستون‌های کوتاه (نوع U.T.C) در کنار قطعات دایروی فولادی که برای بارگذاری روی هسته بتنی مورد استفاده قرار گرفت. ۴۶

(۳-۲-۱۴) منحنی نیرو - جابجایی برای ستون کوتاه C9 که در آن هسته بتنی تحت بار می‌باشد (نوع U.T.C) ۴۸

(۳-۲-۱۵) منحنی نیرو - جابجایی برای ستون کوتاه C10که در آن هسته بتنی تحت بار می‌باشد (نوع U.T.C) ۴۹

(۴-۱-۱) بلوک فشاری و کششی لوله فولادی و هسته بتنی ۵۳

(۴-۲-۱) نحوه تهیه نمونه‌های خمشی و فشاری آزمایشگاهی ۵۸

شمارهٔ شکل **صفحه**

(۴-۲-۲) رنگ کاری سطح خارجی نمونه‌ها جهت رویت بهتر با رنگ سفید آلومینیمی. ۵۹

(۴-۲-۳) استفاده از لاک تنش سنج (Stress Coat) جهت بررسی دقیقتر تنشها و کرنشها ۶۰

(۴-۲-۴) قطعه تسمه‌ای فولادی برای کالیبره کردن لاک تنش‌سنج (Stress Coat) ۶۱

(۴-۲-۵) تراش دادن سطح داخلی و خارجی بوشها جهت ساخت تکیه‌گاه و محلهای بارگذاری متمرکز نمونه‌های خمشی و برشی ۶۲

(۴-۲-۶) نصف کردن بوشهای نشان داده شده در شکل ۴-۲-۵ پس از تراشکاری سطوح داخلی و خارجی. ۶۳

(۴-۲-۷) تکیه‌گاه کامل مفصلی جهت نمونه‌های خمشی و برشی ۶۴

(۴-۲-۸) بارگذاری دو نقطه‌ای تیر B1 جهت بررسی مقاومت خمشی ۶۵

(۴-۲-۹) بارگذاری تک نقطه‌ای تیر B1 ۶۶

(۴-۲-۱۰) تیر B1 پس از زوال ۶۷

(۴-۲-۱۱) نحوه گسیختگی تیر B2 ۶۸

(۴-۲-۱۲) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر B1 ۶۹

(۴-۲-۱۳) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر B2 ۷۰

(۴-۲-۱۴) بارگذاری دو نقطه‌ای تیر B3 ۷۱

(۴-۲-۱۵) تیر B3 با تکیه‌گاههای کاملا غلطکی و گیجهای الکترونیکی در وسط تیر و زیر نقطه بارگذاری و روی تکیه‌گاهها ۷۲

(۴-۲-۱۶) نمائی از پمپ دستی جکهای هیدرولیکی ۷۳

(۴-۲-۱۷) نمائی از دستگاه ثبت کننده نیرو و جابجایی ۷۴

(۴-۲-۱۸) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر B3 ۷۵

(۴-۲-۱۹) نحوه بارگذاری تیرهای نوع S (۸۰Cm) ۷۶

شمارهٔ شکل	صفحه
(۴-۲-۲۰) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر S1	۷۷
(۴-۲-۲۱) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر S2	۷۸
(۴-۲-۲۲) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر S3	۷۹
(۴-۳-۱) نحوه بارگذاری دو نقطه‌ای تیر B3 با انحنا معکوس	۸۱
(۴-۳-۲) نمودار نیرو - جابجایی برای تیر B3 با انحنا معکوس	۸۲
(۵-۱-۱) حالات مختلف گسیختگی در تیرهای عمیق	۸۴
(۵-۱-۲) تشابه خرپا برای بتن و آرماتور برشی تیرها	۸۵
(۵-۱-۳) مقاومت برشی آرماتورهای عرضی مایل	۸۶

فهرست علائم اختصاری

a = ارتفاع بلوک فشاری بتن

A_c = سطح مقطع بتن

A_{cc} = سطح مقطع بتن هسته

A_g = سطح مقطع کل

A_s = سطح مقطع فولاد طولی

A_{s1} = سطح مقطع قسمت فشاری لوله فولادی

A_{s2} = سطح مقطع قسمت کششی‌لوله فولادی

A_{sp} = سطح مقطع فولاد دور پیچ

A_{st} = سطح مقطع لوله فولادی

C = ارتفاع قسمت فشاری مقطع در خمش

d_s = قطر داخلی لوله فولادی

$e_\circ$ = خروج از مرکزیت بار محوری

E_c = مدول یانگ بتن

E_s = مدول یانگ لوله فولادی

f_c = تنش فشاری الاستیک بتن

f_c' = مقاومت فشاری بتن محصور نشده

$f_c^{*'}$ = مقاومت فشاری بتن محصور شده

f_s = تنش فولاد در حالت الاستیک

f_y = تنش سیلان فولاد

I_c = ممان اینرسی بتن

I_S = ممان اینرسی فولاد

k = ضریب اصلاح نیروی محوری اعضا B.T.C

k_2 = ضریب اصلاح نیروی محوری اعضا U.T.C

k_3 = ضریب اصلاح لنگر خمشی

k_4 = ضریب اصلاح نبروی برشی

L_{s1} = طول کمان فشاری لوله فولادی

L_{s2} = طول کمان کششی لوله فولادی

M_{conf} = لنگر خمشی قابل تحمل بوسیله تیر در وضعیت محصور شدگی

M_{mod} = لنگر خمشی اصلاح شده و قابل تحمل بوسیله تیر محصور شده

$M_{\circ}$ = لنگر خمشی ماکزیمم محاسبه شده

M_u = لنگر خمشی ماکزیمم اندازه گیری شده

$M(X)$ = لنگر موجود در مقطع تیر

n = نسبت مدول یانگ فولاد به بتن

N = بار محوری ستون

$N_{\circ}$ = بار محوری ماکزیمم محاسبه شده ستون

N_u = نیروی محوری ماکزیمم اندازه گیری شده

P_{conf} = اضافه نیروی قابل تحمل بوسیله ستون بدلیل محصور شدگی

P_n = ظرفیت باربری ستون با دورپیچ

r_c = شعاع لوله فولادی

S = گام دورپیچ فولادی

t = ضخامت لوله فولادی

V = حجم در واحد طول آرماتور دورپیچ

V_r = ظرفیت برشی مقطع

X = فاصله نقطه از ابتدای تیر (پارامتر متغیر)

y_c = جابجایی جانبی هسته بتنی

y_s = جابجایی جانبی لوله فولادی

$\overline{y}_c$ = فاصله مرکز سطح بلوک فشاری بتن تا تار خنثی

$\overline{y}_{s1}$ = فاصله مرکز سطح قسمت فشاری فولاد تا تار خنثی

$\overline{y}_{s2}$ = فاصله مرکز سطح قسمت کششی فولاد تا تار خنثی

α = زاویه کمان فشاری لوله فولادی

α_c = زاویه کمان بلوک فشاری بتن

ε_1 = کرنش محوری لوله فولادی

ε_2 = کرنش حلقوی لوله فولادی

ϕ = فاصله نقاط متغیر از ابتدای تیر

φ_e = ضریب تقلیل مقاومت برای خروج از مرکزیت بار

φ_l = ضریب تقلیل مقاومت برای ستون بلند

$\overline{\varphi}$ = ضریب تقلیل مقاومت کلی

σ_1 = تنش طولی فولاد

σ_2 = تنش حلقوی فولاد

σ_1^* = تنش طولی فولاد تحت بار محوری ماکزیمم

σ_2^* = تنش حلقوی فولاد تحت بار محوری ماکزیمم

σ_r = تنش فشاری جانبی در سطح مشترک بتن و فولاد

σ_r^* = تنش فشاری جانبی تحت بار ماکزیمم در سطح مشترک بتن و فولاد

υ_s = ضریب پواسان لوله فولادی

فصل اول

مقـــدمه

۱-۱ مقدمه

استفاده ازعناصر مختلف در ساخت ساختمانها ، پلها ، آزاد راهها و غـیره موضوعـی است که همیشه بـرای مهندسـین و معمـاران از اهمیـت خـاصی برخـوردار بـوده اسـت. مقاومت، تغییر شکل پذیری، میزان جذب انرژی و.... در مصـالح مختلـف متغـیر اسـت و برحسب نیاز، مصالح با خواص مـورد نظـر انتخـاب می‌شـود. لیکـن پـس از مدتـی دسـت اندرکاران ساخت ابنیه ایده استفاده از ترکیب عناصر مختلف را ارائه کردند کـه هم‌اکنـون نیز ادامه دارد. نظیر این مواد مرکب (Composites) را می‌توان، بتن مسلح به میله هـای فلزی، الیاف گیاهی یا پلاستیکی و نیز خـاک مسـلح (Reinforced Soil) نـام بـرد. بتـن مسلح امروزه بیشتر از ترکیب بتن و فولاد تهیه می‌شود لیکن در بعضی مـوارد از ترکیـب بتن و الیاف گیاهی یا پلاستیکی نیز تهیه می‌شود. خاک مسلح اختراع شخصی بنام ویدال در سال ۱۹۶۵ است و اسـتفاده از آن در ایجـاد سـاختمان دیوارهـای حـائل و آزادراههـا تاکنون گسترش یافته است. خاک مسلح از خاک و عناصر کشش‌پذیر تشکیل یافته است که این عناصر می‌توانند از هر ماده‌ای که دارای مقاومت کششی مناسب (از قبیـل نوارهـا یا تسمه‌های فلزی، پلاستیکی و غیره) باشد تشکیل گردند. خاک نیز مانند بتن تحت اثر نیروهای فشاری، تحمل کم و بیش مناسبی دارد ولی در برابـر نیروهای‌کششـی مقـاومت چندانی ندارد لذا عناصر کشش پذیـر بـرای تحمـل نیروهـای اخـیر بکـار می‌رونـد. رفتـار خاکهای مسلح شده با تسمه یا صفحـات فـولادی و محصـور شـده در لولـه‌های فـلزی در سالهای گذشته توسط آقایان دکتر رضا رازانی و مهندس حمید تمیزی و مهندس محسن برنائی در قالب طرح تحقیقی پایان‌نامه‌های آقایان تمـیزی و برنـائی بررسـی شـده اسـت. فلسفه استفاده از مواد مرکب در این است که ضعف یک عنصر توسط ماده دیگـر جـبران شود تا بتوان استفاده بهینه‌ای را از این مجموعه برد. لیکن در سالهای اخیر ایده دیگـری نیز اضافه شده است که علاوه بر هدف فوق موضوع محصور شدگی را نیز عنـوان می‌کنـد. در عناصر مرکب بخاطر همکاری و عمـل واحـد اجـزاء مرکـب تشـکیل دهنـدهٔ ایـن نـوع سازه‌ها، مقاومت و صلبیت مجموعه به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیش از مجموع مقاومت هر