دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی عمران

موضوع:

بررسی رفتار برشی تیرهای عمیق بتن سبک مسلح الیافی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران – سازه

اساتید راهنما :
دکتر مرتضی حسینعلی بیگی
دکتر علیرضا میرزاگل تبار روشن

استاد مشاور :
مهندس ایمان محمدپور نیک‌بین

نگارش :
محمد قاسمیان امیری
تابستان ۱۳۹۰

سپاسگزاری

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را،

علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

چکیده:

از آنجایی که کاربرد تیرهای عمیق در سازه هایی نظیر ساختمان های بلند، سدها، اسکله های دریایی، دیوارهای برشی و... اجتناب نا پذیر می باشد بنا بر این بررسی رفتارآنها برای طراحان سازه از اهمیت ویژه ای بر خوردارمی باشد. تحقیقات گذشته نشان داده است که نوع بتن به همراه مقدار و آرایش فولاد مهمترین پارامتر های تاثیر گذار در رفتار خمشی و برشی این تیر ها می باشند. ازطرفی یکی از مشکلاتی که در سازه های بتنی با آن رو بروهستیم تردی و شکنندگی نسبی و عدم قدرت باربری بعد از ترک خوردگی و در نتیجه طاقت و قدرت جذب انرژی پایین بتن می باشد. یکی از روش های غلبه بر این مشکل، مسلح کردن بتن به الیاف می باشد. علاوه بر این افزودن الیاف موجب افزایش مقاومت خمشی و کششی بتن در برابر بار های ضربه ای و دینامیکی و کاهش انتشار ترک می گردد. از سویی دیگر مشکل عمده ای که طراحان در سازه ها با آن رو برو هستند، وزن زیاد سازه ناشی از بار مرده آن است. یکی از عمده ترین راه های غلبه بر این مشکل بکار گیری بتن سبک می باشد. بنا بر این استفاده از بتنی که سبک وزن بوده و همچنین حاوی الیاف باشد می تواند موجب بهبودی خصوصیات رفتاری و همچنین کاهش وزن سازه و افزایش مقاومت در برابر زلزله گردد. رفتار برشی تیر های عمیق ساخته شده با بتن سبک حاوی الیاف که مورد توجه محققان قرار گرفته است، هنوز به طور کامل مورد بررسیقرار نگرفته است. هدف این تحقیق بررسی آزمایشگاهی مقاومت نهایی برشی تیر های عمیق ساخته شده از بتن سبک الیافی و مقایسه نتایج حاصله با روابط آیین نامه ای معتبر دنیا می باشد.

واژه های کلیدی:

تیرعمیق، بتن سبک الیافی، مقاومت برشی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : کلیات	
کلیات	۱
۱- ۱مقدمه	۲
۱- ۲ اهداف تحقیق	۴
۱- ۳ ساختار تحقیق	۴
فصل دوم : رفتار تیرهاي عمیق و مروری بر تحقیقات انجام شده	
۲- ۱مقدمه تحلیل الاستیک وگسیختگی تیرهای عمیق و بررسی تحقیقات انجام شده	۶
۲-۱-۲- رفتار تیرهای عمیق	۶
۲-۱-۲-۱- رفتار الاستیک	۷
۲-۱-۲-۲- تحلیل الاستیک	۸
۲-۱-۲-۳- رفتاربار نهایی	۱۰
۲-۱-۲-۴- گسیختگی خمشی	۱۱
۲-۱-۲-۵- گسیختگی برشی	۱۲

۲-۱-۲-۶ - گسیختگی کمانشی ۱۶
۲-۱-۲-۷- گسیختگی موضعی ۱۷
۲-۱-۳- مکانیزم مقاومت برشی ۱۷
۲-۱-۴- مقاومت نهایی تیرهای عمیق با تکیه‌گاه ساده ۲۰
۲-۱-۴-۱- مقاومت خمشی ۲۰
۲-۱-۴-۲- مقاومت برشی ۲۰
۲-۱-۴-۳-مقاومت موضعی ۲۱
۲-۱-۴-۴- مقاومت کمانشی ۲۳
۲-۱-۵- تاریخچه تحقیق در مورد تیرهای عمیق ۲۴
۲- ۲ روشهای تحلیل و آنالیز تیرهای عمیق ۲۶
۲-۲- ۱ مقدمه ۲۶
۲-۲- ۲- آیین نامه **ACI-318 (1999)** ۲۶
۲-۲-۳- بررسی و تحلیل تیر عمیق با توجه به مقررات آیین‌نامه بتن ایران (آبا) ۲۹
۲-۲-۳-۱- مقطع بحرانی برای کنترل برش ۳۱
۲-۳- بتن الیافی ۳۱
۲-۳-۱- مقدمه و ضرورت استفاده از الیاف در بتن ۳۱
۲-۳-۲- انواع مختلف الیاف ۳۲

۲-۳-۲-۱- الیاف گیاهی ۳۲
۲-۳-۲-۲- الیاف مصنوعی ۳۲
۲-۳-۲-۳- الیاف فلزی ۳۳
۲-۳-۳- طرح اختلاط و ساخت بتن الیافی ۳۶
۲-۳-۴- خواص مکانیکی بتن الیافی ۳۷
۲-۳-۴-۱- رفتار فشاری ۳۹
۲-۳-۴-۲- رفتار کششی ۴۱
۲-۳-۴-۳- مقاومت سایش، فرسایش و کاویتاسیون ۴۴
۲-۳-۴-۴- مقاومت خستگی ۴۴
۲-۳-۴-۵- خزش و جمع‌شدگی ۴۵
۲-۳-۴-۶- مقاومت در برابر یخ‌زدن و آب شدن ۴۶
۲-۳-۵- کار بردهای بتن الیافی ۴۶
۲-۳-۵-۱- دالها ۴۶
۲-۳-۵-۲- دال‌های روی بستر ۴۶
۲-۳-۵-۳- تعمیرات ۴۷
۲-۳-۵-۴- دال‌های سازه‌ای سقف‌ها و پلها ۴۷
۲-۳-۵-۶- پی‌ها ۴۷

۲-۳-۵-۷- صنایع نظامی ۴۸
۲-۳-۵-۸- سازه‌های هیدرولیکی ۴۸
۲-۴- ملاحظات طراحی برای بتن مسلح شده با الیاف ۴۸
۲-۴-۱- مقدمه ۴۸
۲-۴-۲-ایین نامه **ACI 544** ۴۹
۲-۴-۳- معادلات ارائه شده برای طراحی برشی ۵۰
۲-۴-۳- ۱روش نارایاناناند درویش ۵۰
۲ -۴-۳- ۲روش لی ۵۲
۲-۴-۳-۳ روش شارما ۵۲
۲-۴-۳-۴ روش شین ۵۲
۲-۴-۳- ۵ روش ماهاسودان و همکاران ۵۳
۲-۴-۳- ۶ روش اصلاح شده زوتی ۵۳
۲-۴-۳-۷ روش امام وهمکاران ۵۴
۲-۴-۳-۸ روش اشور ۵۵
۲-۴- بتن سبک ۵۵
۲-۴-۱- مقدمه ۵۵
۲-۴-۲- تاریخچه بتن سبک ۵۷

۲-۴-۳- دسته‌بندی انواع بتن سبک ۶۰
۲-۴-۴- انواع بتن سبک تولیدی در ایران ۶۲
۲-۴-۴-۱- بتن سبک یونو بتن ۶۲
۲-۴-۴-۲- بتن سبک سیپورکس ۶۳
۲-۴-۴-۳- بتن سبک پرلیتی ۶۴
۲-۴-۴-۴- بتن سبک با دانه‌های لیکا ۶۵
۲-۴-۴-۵- بتن سبک ساخته شده با توفهای آتشفشانی ۶۶
۲-۴-۴-۶- بتن سبک ساخته شده با پوکهٔ معدنی ۶۶
۲-۴-۴-۷- سایر بتنهای سبک ۶۶
۲-۵- تقویت سازه ۶۷
۲-۵-۱- مقدمه ۶۷
۲-۵-۲- تقویت ۶۷
۲-۵-۳- روشهای متداول تقویت ۶۷
۲-۵-۳-۱- استفاده از الیاف ۶۷
۲-۵-۳-۲- تحقیقات آزمایشگاهی در زمینه افزایش مقاومت تیرها با الیاف فولادی ۶۸
۲-۵-۳-۳- مزایا و معایب استفاده از الیاف فولادی در بتن مسلح ۷۰

فصل سوم جزییات و نحوه انجام آزمایش

۳-۱- مقدمه ۷۳

۳-۲- مشخصات تیرها ۷۳

۳-۲-۱- مشخصات تیر مرجع ۷۳

۳-۲-۲- مشخصات تیرهای تقویت شده ۷۵

۳-۳- خصوصیات مصالح ۷۶

۳-۳-۱- آرماتور داخلی ۷۶

۳-۳-۲- بتن ۷۶

۳-۳-۲-۱- پوکه صنعتی لیکا ۷۶

۳-۳-۲-۲- میکروسیلیس ۷۶

۳-۳-۲-۳- ویزگیهای لیکا ۷۸

۳-۳-۲-۴- فوق روان کننده ۸۰

۳-۳-۲-۵- طرح اختلاط بتن ۸۱

۳-۳-۲-۶ الیاف ۸۲

۳-۴- هدف از آزمایش و تشریح متغیرهای مورد استفاده ۸۳

۳-۵- ساخت، آماده سازی و تقویت تیرها ۸۳

۳-۵-۱- ساخت تیرها ۸۳

۳-۶- سیستم بارگذاری و وسایل مورد نیاز ۸۳

۳-۷- ابزارهای اندازه‌گیری ۸۵

۳-۸- روش کلی آزمایش ۸۷

فصل چهارم بررسي و مقايسه نتايج حاصل از آزمايش

۴-۱- مقدمه ۸۹

۴-۲- مقاومت فشاری وکششی و وزن مخصوص ۸۹

۴-۳- الگوی ترکها و شیوهٔ شکست تیرها ۸۹

۴-۳-۱- بررسی ترکها ۹۰

۴-۳-۲- بررسی بار نهایی و شیوه گسیختگی ۹۱

۴-۳-۲-۱- گسیختگی برشی ۹۲

۴-۴- بررسی سختی و تغییرمکان ۱۰۴

۴-۵- بررسی نمودارهای کرنش در ارتفاع تیرهای مورد آزمایش ۱۰۷

۴-۶- مقایسه نتایج روشهای مختلف برای پیش‌بینی ظرفیت برشی

تیرهای عمیق بتن سبک مسلح تقویت شده با الیاف ۱۰۹

۴-۶-۱- مقایسه نتایج روش آئین‌نامه‌ها ۱۱۱

فصل پنجم خلاصه نتایج و پیشنهادات ۱۱۳

۵-۱- نتایج کلی آزمایش ۱۱۴

۵-۲- پیشنهادات ۱۱۵

منابع و ماخذ ۱۱۷

پیوست ۱ ۱۲۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: توزیع تنش در مقطع تیر تحت بارگذاری ۶

الف) گسترده، ب) متمرکز

شکل ۲-۲: نمونه‌هایی از شکست در تیرهای عمیق ۱۲

الف)خمشی – برشی، ب) خمشی.

شکل ۲-۳: تاثیر دهانه برشی بر روی شکست برشی. ۱۳

شکل ۲-۴: انواع شکست برشی در تیرهای عمیق ۱۶

الف) خرپایی ب) برشی

شکل ۲-۵: شکست کمانشی ۱۶

شکل ۲-۶: شکست موضعی ۱۷

شکل ۲-۷: انتقال برش و میلگردهای برشی ۱۹

در یک تیر عمیق

الف- مکانیسم عمل قوسی، ب- مقطع تیر،

ج- آرایش میلگردهای برشی

شکل ۲-۸: مدل شکست ارائه شده توسط (کونگ۱۹۷۵) ۲۱

شکل ۲-۹: مقادیر حدی تنش‌های مستقیم دومحوری ۲۲

در نقاط تکیه‌گاهی و بارگذاری (سوبدی ۱۹۸۸).

شکل ۲-۱۰: مقادیر حدی تنش‌های موضعی ۲۳

شکل ۲-۱۱: مقادیر حدی تنش‌های در تیرهای عمیق براساس مدل آیین‌نامه کانادا ۲۳

شکل ۲-۱۲: نمونه تیر عمیق مطابق با مشخصات **ACI-318** ۲۹

شکل ۲-۱۳: نمونه تیر عمیق روش پیشنهادی ۳۲

شکل۲-۱۴: انواع مختلف الیاف فولادی از نظر شکل هندسی ۳۴

شکل (۲-۱۵): اثر درصد حجمی الیاف روی منحنی ۳۹

تنش-کرنش فشاری بتن

شکل (۲-۱۶): رابطه مقاومت فشاری ملات مسلح ۴۰

به الیاف برگ نخل با درصد الیاف در ۲۸ روز

شکل(۲-۱۷): نمودار رابطه مقاومت فشاری بتن ۴

با درصد حجمی الیاف فولادی

شکل(۲-۱۸): تأثیر مقاومت بتن بر روی مقاومت فشاری بتن مسلح شده با الیاف فولاد ۴۱

شکل (۲-۱۹): منحنی تنش-کرنش کششی برای ملاتهای مسلح به الیاف فولادی ۴۲

شکل (۲-۲۰): منحنی تنش-کرنش کششی برای کامپوزیت های بتن مسلح به الیاف کربن ۴۳

شکل (۲-۲۱): رابطه بین تنش متناظر با کرنش نهایی و درصد حجمی الیاف کربن ۴۴

شکل (۲-۲۲): رابطه کرنش جمع شدگی خشک با زمان برای نمونه های بتن الیافی ۴۵

پلی پروپیل و بتن ساده

شکل۳- ۱: نمونه ای از آرایش آرماتورهای اصلی، ۷۴

آرماتورهای افقی و قائم تیرها.

شکل ۳-۲ دانه‌های رس منبسط‌شده لیکا ۷۹

شکل ۳-۳ نمونه‌ای از الیاف فلزی مورد استفاده ۸۲

شکل ۳-۴: نمونه از سیستم بارگذاری به تیر ۸۴

شکل ۳-۵ : دستگاه برای اعمال و اندازه گیری بار روی تیر ۸۵

شکل ۳-۶: دستگاه برای ثبت اطلاعات بارگذاری در کامپیوتر ۸۵

شکل۳-۷: دستگاه ترانسدیوسر ۸۶

شکل ۳-۸: کرنش سنج ۸۶

شکل ۳-۹: موقعیت دکمه ها جهت به دست آوردن کرنش در ارتفاع تیرها. ۸۷

شکل ۴-۱: شروع ترک‌ها در گامهای بارگذاری ۹۰

شکل۴-۲ : نحوه شکست تیر **CON-A** ۹۳

شکل۴-۳ : نحوه شکست تیر **CON-AG.2** ۹۴

شکل۴-۴ : نحوه شکست تیر **CON-AG.3** ۹۵

شکل۴-۵ : نحوه شکست تیر **CON-AS.25** ۹۶

شکل۴-۶ : نحوه شکست تیر **CON-AS.5** ۹۷

شکل۴-۷ : نحوه شکست تیر **CON-B** ۹۸

شکل۴-۸ : نحوه شکست تیر **CON-BG.2** ۹۹

شکل۴-۹ : نحوه شکست تیر **CON-BG.3** ۱۰۰

شکل۴-۱۰ : نحوه شکست تیر **CON-BS.25** ۱۰۱

شکل۴-۱۱ : نحوه شکست تیر **CON-BS.5** ۱۰۲

شکل ۴-۱۲: منحنی بار- تغییرمکان تیر مرجع و تیرهای تقویت‌شده تیپ **A** با الیاف فولادی ۱۰۵

شکل ۴-۱۳: منحنی بار- تغییرمکان تیر مرجع و تیرهای تقویت‌شده تیپ **A** با الیاف شیشه ۱۰۶

شکل ۴-۱۴: منحنی بار- تغییرمکان تیر مرجع و تیرهای تقویت‌شده تیپ **B** با الیاف فولادی ۱۰۶

شکل ۴-۱۵: منحنی بار- تغییرمکان تیر مرجع و تیرهای تقویت‌شده تیپ **B** با الیاف شیشه ۱۰۷

شکل ۴-۱۶: منحنی کرنش در ارتفاع تیر **CON-A** در آستانه ترک‌خوردگی ۱۰۸

شکل ۴-۱۷: منحنی کرنش در ارتفاع تیر **CON-AS.5** در آستانه ترک‌خوردگی ۱۰۸

شکل ۴-۱۸: نمودار مقایسه ظرفیت برشی ۱۱۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: خصوصیات مکانیکی و فیزیکی انواع مختلف الیاف ۳۵

جدول۲-۲: خواص نسبی بتن مسلح با الیاف پلی پروپیلن در مقایسه با بتن ساده ۴۱

جدول۲-۳: انواع بتن سبک و موارد کاربرد آن ۶۲

جدول۲-۴: مقدار مواد لازم جهت ساخت یک متر مکعب یونوبتن ۶۳

جدول۲-۵: مشخصات فنی بتن ۲۸ روزه ۶۳

جدول۳-۱: ابعاد تیرهای عمیق آزمایش شده ۷۴

جدول۳-۲: جزییات تقویت برشی تیرها ۷۵

جدول۳-۳: : نتایج آزمایشات کششی میلگردها. ۷۶

جدول۳-۴: طرح اختلاط بتن سبک برای یک متر مکعب بتن ۸۲

جدول۳-۵: طرح اختلاط بتن سبک برای یک متر مکعب بتن الیافی ۸۲

جدول۳-۶: خواص الیاف مورد استفاده. ۸۲

جدول۴-۱: مقاومت فشاری،کششی و وزن مخصوص خشک نمونه‌های آزمایش شده ۸۹

جدول۴-۲: نسبت بار اولین ترک برشی به بار شکست ۹۱

جدول۴-۳: شیوه گسیختگی و بار شکست نمونه‌های آزمایش شده ۱۰۴

جدول۴-۴: مقایسه ظرفیت برشی بدست آمده از آزمایش با راهنمای **ACI-544**. ۱۱۰

جدول۴-۵: مقایسه ظرفیت برشی بدست آمده از آزمایش با معادله ارائه شده نارایاناناند درویش ۱۱۰

جدول۴-۶: مقایسه ظرفیت برشی بدست آمده از آزمایش با معادله ارائه شده اشور و همکاران ۱۱۱

فهرست علائم

a دهانه برشی، میلیمتر

A_h مساحت میلگرد افقی جان (بفواصل S_h)، میلیمتر مربع

A_{st} سطح مقطع کل آرماتور طولی، میلیمتر مربع

A_v مساحت میلگرد قائم جان (بفواصل S_v)، میلیمتر مربع

b عرض تیر، میلیمتر

C_1 , C_2 عرض تکیه گاه

d_e عمق موثر تیر (فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح فولاد کششی)، میلیمتر

E_c مدول الاستیسیته بتن، مگا پاسکال

E_s مدول الاستیسیته فولاد، مگا پاسکال

f_c' مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه ای، مگا پاسکال

f_{cu} مقاومت مشخصه مکعبی بتن، مگا پاسکال

f_s تنش کششی در فولاد کششی، مگا پاسکال

f_γ مقاومت مشخصه فولاد، مگا پاسکال

h ارتفاع کل مقطع، میلیمتر

h_a ارتفاع فعال تیر بر اساس تعریف $CIRIA$

k_v ضریب کاهش چسبندگی

k_1 ضریب اصلاح به کار رفته برای k_v برای محاسبه مقاومت بتن

k_2 ضریب اصلاح به کار رفته برای k_v برای محاسبه دور پیچ عضو

L_n دهانه آزاد تیر عمیق، میلیمتر

M ممان موجود در مقطع، نیوتن میلیمتر

M_v ممان مقاوم مقطع، نیوتن میلیمتر

M_u ظرفیت خمشی مقطع بتن، نیوتن میلیمتر

P_u بار نهایی تیر، نیوتن

S_h فواصل فولادهای افقی در جان تیر، میلیمتر

S_v فواصل فولادهای قائم در جان تیر، میلیمتر

V نیروی برشی، نیوتن

V_c مقاومت برشی نهایی تامین شده توسط بتن، نیوتن

V_n مقاومت برشی اسمی، نیوتن

V_s مقاومت برشی نهایی تامین شده توسط آرماتور برشی، نیوتن

V_u مقاومت برشی نهایی با ظرفیت برشی طراحی در مقطع بحرانی، نیوتن

Z بازوی لنگر در مقطع خمشی، میلیمتر

ε_{cu} کرنش نهایی بتن

ϕ_c ضریب جزیی ایمنی بتن

ϕ_s ضریب جزیی ایمنی فولاد

ρ_s در صد فولاد اصلی