بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمدجواد ظهره وند پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی اثر بازشو در تیر های عمیق بتن مسلح دو سر ساده** در تاریخ ١٣٩٠/٢/٤ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر ابوالفضل عربزاده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر عباسعلی تسنیمی	استاد	
استاد ناظر	دکتر مسعود سلطانی محمدی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علیرضا خالو	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مسعود سلطانی محمدی	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی محمدجواد خجسته‌وند

امضاء

۹۰/۴/۱۲

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته عمران-سازه است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ابوالفضل عزیزاده ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمد جواد ظهره وند دانشجوی رشته عمران-سازه مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد جواد ظهره وند

تاریخ و امضا: ۹۰،۹،۱۲

دانشکده :عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه

عنوان پایان نامه:

بررسی عددی رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح دو سر ساده دارای بازشو

نام دانشجو:

محمد جواد ظهره وند

استاد راهنما:

دکتر ابوالفضل عربزاده

اردیبهشت ۹۰

تقدیم به خانواده‌ام

تشکر و قدردانی

حمد بی پایان و سپاس بیکران خدای را که بر این حقیر منت گذاشت تا تحقیقی را که هم‌اکنون ارائه می‌گردد به پایان برسانم. باشد که این پایان آغازی گردد برای یک عمر تلاش در جهت سازندگی و آبادانی میهن عزیزمان ایران.

بدینوسیله از جناب آقای دکتر ابوالفضل عربزاده استاد گروه سازه مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس به عنوان استاد راهنما که در طول تحصیل و تحقیق مرا از راهنمائیهای حکیمانه خویش بهره‌مند ساخته و در تمام مراحل این پایان‌نامه وقت گرانبهای خویش را در اختیار بنده نهادند، تشکر و قدردانی کنم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده عزیزم قدردانی کنم.

اردیبهشت ۹۰

چکیده:
به طور کلی تیرهای عمیق به عنوان شاهتیرهای حمال و سرپوش شمع‌ها و همچنین در دیوارها کاربرد دارند. معمولا برای اجرای سرویس‌های اساسی مثل کانال‌های هوا، دسترسی به کابل‌های شبکه‌های الکتریکی و کامپیوتری، تاسیسات مکانیکی و یا رفت و آمد از اتاقی به اتاق دیگر، در جان تیرهای عمیق بتن مسلح بازشوهایی را اجرا می‌کنند. وجود بازشو به علت ایجاد بهم ریختگی در مسیر انتقال نیروهای فشاری از محل اعمال بار تا تکیه‌گاه باعث کاهش چشمگیر مقاومت تیر می‌شود. به علت کم بودن مطالعات روی تیرهای عمیق دارای بازشو، تاکنون هیچ یک از آیین‌نامه‌ها این مبحث را به طور کامل پوشش نداده‌اند. لذا لزوم مطالعه بیشتر روی این اعضای سازه‌ای دیده می‌شود و در این پایان‌نامه به بررسی رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح دو سر ساده دارای بازشو با استفاده از روش اجزاء محدود پرداخته شده است. برای مدلسازی نمونه‌ها از نرم افزار Abaqus استفاده شده است. در ابتدا صحت مدلسازی در سه بخش مجزا بررسی و نتایج تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی سایر محققین مقایسه شده که نتایج مدلسازی اجزاء محدود تطابق خوبی با اطلاعات آزمایشگاهی دارد. سپس در دو بخش جداگانه رفتار این تیرها بررسی شده است. در بخش اول ۶۸ تیر عمیق دارای بازشو مدل و پارامترهای اندازه‌ی بازشو، محل بازشو، چیدمان آرماتور جان، نسبت دهانه‌ی خالص به عمق و نسبت دهانه‌ی برش به عمق مورد بررسی قرار گرفته است. در تمام این تیرها ارتفاع و ضخامت ثابت و به ترتیب ۷۵۰mm و ۱۰۰mm می‌باشد. بیشترین تاثیر روی رفتار و بار نهایی با تغییر چیدمان آرماتور جان ایجاد می‌شود که به ترتیب چیدمان مورب، شبکه‌ای، قائم و افقی منجر به افزایش بیشتر بار نهایی می‌شوند. در بخش دوم اثر اندازه بر رفتار این تیرها بررسی خواهد شد. به همین منظور ۸ تیر در این بخش مدل شده و نتایج حاکی از آن است که با افزایش اندازه نمونه‌ها مقاومت برشی و بار ترک خوردگی بی بعد کاهش می‌یابد. بنابراین روش مدلسازی اتخاذ شده در این پایان‌نامه قادر به در نظر گرفتن اثر اندازه روی رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح دارای بازشو می‌باشد.
کلید واژه: تیر عمیق، بتن مسلح، بازشو، اجزاء محدود ، بار نهایی، اثر اندازه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها..... ه

فهرست شکل‌ها..... و

فصل ۱- کلیات و تعاریف..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۱-۲- رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح ۳

۱-۲-۱- رفتار قبل از ترک خوردگی..... ۳

۱-۲-۲- رفتار بعد از ترک خوردگی..... ۶

۱-۳- روش‌های تحلیل و طراحی تیرهای عمیق بدون بازشو..... ۸

۱-۴- روش‌های تحلیل و طراحی تیرهای عمیق با بازشو..... ۱۱

فصل ۲- روابط و مقررات حاکم بر مدلسازی ۱۵

۲-۱- مقدمه..... ۱۵

۲-۲- مشخصات مصالح..... ۱۵

۲-۲-۱- رفتار تک محوری بتن در کشش..... ۱۵

۲-۲-۲- رفتار تک محوری بتن در فشار..... ۲۰

۲-۲-۳- پلاستیسیته بتن..... ۲۱

۲-۲-۳-۱- ظوابط گسیختگی..... ۲۱

۲-۲-۳-۲- سخت شدگی..... ۲۵

۲-۲-۳-۳- ظابطه‌ی تسلیم..... ۲۷
۲-۲-۳-۴- قانون جریان..... ۲۸
۲-۲-۴- مدل پلاستیک-آسیب بتن در نرم افزار Abaqus..... ۳۰
۲-۲-۴-۱- روابط تنش-کرنش..... ۳۱
۲-۲-۴-۲- متغیرهای سخت شدگی..... ۳۱
۲-۲-۴-۳- آسیب و کاهش سختی بتن..... ۳۲
۲-۲-۴-۴- شرط تسلیم..... ۳۴
۲-۲-۴-۵- جریان پلاستیک..... ۳۸
۲-۲-۵- فولاد مسلح کننده بتن..... ۳۹
۲-۲-۵-۱- سطح تسلیم فن میسز..... ۳۹
۲-۲-۵-۲- سخت شدگی..... ۴۲
۲-۲-۵-۳- قانون جریان..... ۴۲
۲-۳- مشخصات اجزاء محدود..... ۴۲
۲-۳-۱- نوع المان..... ۴۲
۲-۳-۲- درجات آزادی..... ۴۲
۲-۳-۳- تعداد گره‌ها و مرتبه درونیابی..... ۴۳
۲-۳-۴- فرمولاسیون..... ۴۴
۲-۴- حل مسائل غیر خطی..... ۴۵
۲-۵- همگرایی..... ۴۵

فصل ۳- بررسی صحت مدلسازی ۴۹
۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- تیر عمیق بدون بازشو ۴۹
۳-۲-۱- حساسیت به مش ۵۱
۳-۲-۲- مود شکست ۵۲
۳-۲-۳- توزیع تنش در تیر عمیق بتنی ۵۳
۳-۲-۴- حساسیت به زاویه‌ی اتساع ۵۴
۳-۳- تیرهای عمیق دارای بازشو آزمایش شده توسط کونگ ۵۴
۳-۳-۱- مقاومت نهایی ۵۵
۳-۳-۲- مود گسیختگی ۵۷
۳-۳-۳- توزیع تنش ۶۱
۳-۴- تیر عمیق پیوسته دارای بازشو ۶۲
فصل ۴- مدلسازی تیرهای عمیق دارای بازشو ۶۷
۴-۱- مقدمه ۶۷
۴-۲- طراحی تیرهای عمیق دارای بازشو ۶۷
۴-۳- گروه اول مدلسازی ۶۷
۴-۳-۱- هندسه‌ی مدل‌های المان محدود ۶۷
۴-۳-۲- مشخصات مصالح ۷۱
۴-۳-۳- بررسی نتایج ۷۲
۴-۳-۳-۱- اولین ترک خوردگی ۷۲

۴-۲-۳-۲- مود شکست..... ۷۲
۴-۳-۳-۲-۱- شکست برشی..... ۷۲
۴-۳-۳-۲-۲- شکست خمشی..... ۷۳
۴-۳-۳-۲-۳- لهیدگی..... ۷۳
۴-۳-۳-۳- بار گسیختگی..... ۸۱
۴-۳-۳-۴- رفتار بار تغییر مکان..... ۸۶
۴-۴- گروه دوم مدلسازی..... ۹۸
۴-۴-۲- هندسه مدل‌ها و بررسی نتایج..... ۹۸
فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۰۵
۵-۱- نتایج..... ۱۰۵
۵-۲- پیشنهادات..... ۱۰۶
مراجع..... ۱۰۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ : مشخصات مصالح تیر عمیق بدون بازشو..... ۵۰

جدول ۳-۲ : مشخصات مصالح بتنی..... ۵۵

جدول ۳-۳ : مقایسه بارهای نهایی..... ۵۶

جدول ۳-۴ : مشخصات بتن تیرهای عمیق پیوسته..... ۶۳

جدول ۳-۵ : مشخصات مصالح فولادی تیرهای عمیق پیوسته..... ۶۳

جدول ۴-۱ : اندازه بازشوها..... ۶۸

جدول ۴-۲ : مشخصات مصالح آرماتورها..... ۷۲

جدول ۴-۳ : بار گسیختگی تمام تیرها..... ۸۱

جدول ۴-۴ : خلاصه نتایج حاصل از مدلسازی..... ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ : تیر عمیق تک دهانه [۳]..... ۲

شکل ۱-۲ : تیر عمیق سه دهانه [۳]..... ۲

شکل ۱-۳ : (الف) المان تحت برش؛ (ب) توزیع تنش برشی در ارتفاع مقطع؛ (ج) اعوجاج مقطع بر اثر تنش برشی..... ۴

شکل ۱-۴ : توزیع تنش‌های خمشی در تیرهای دو سر ساده[۵]..... ۵

شکل ۱-۵ : مسیر تنش‌های اصلی در تیر عمیق تحت بارگذاری‌های متفاوت[۳]..... ۶

شکل ۱-۶ : نمودار آزاد تیر بتنی بین دو ترک متوالی[۴]..... ۶

شکل ۱-۷ : عملکرد قوس در تیر عمیق بتن مسلح بعد از ایجاد ترک‌های قطری[۷]..... **۷**

شکل ۱-۸ : مدل ساده‌ی بست و بند[۸]..... ۹

شکل ۱-۹ : توزیع کرنش در بخش عمیق و لاغر یک تیر..... ۱۰

شکل ۱-۱۰ : مدل پیشنهادی برای تیر شکل ۱-۱۰..... ۱۰

شکل ۱-۱۱ : مدل تیر عمیق با بازشو در نرم افزار CAST[۱۱]..... ۱۲

شکل ۱-۱۲ : مدل تیر عمیق با بازشو در نرم افزار CAST[۱۱]..... ۱۲

شکل ۱-۱۳ : پارامترهای فرمول ۱-۶[۶]..... ۱۳

شکل ۲-۱ : مفهوم FPZ و نرم شوندگی کششی در بتن: (الف) FPZ در جلوی ترک باز شده (ب) مدول الاستیسیته کاهش یافته در FPZ (ج) نرم شوندگی کششی داخل FPZ..... ۱۶

شکل ۲-۲ : نمودار تنش-بازشدگی ترک پیشنهاد شده توسط رینهاردت و همکاران..... ۱۷

شکل ۲-۳ : ترک خوردگی در بتن مسلح[۱۰]..... ۱۸

شکل ۲-۴ : (الف) اثر سخت شدگی کششی؛ (ب) رابطه‌ی تنش-کرنش برای فولاد داخل بتن در آیین نامه CEB-FIP 1190 ۱۸
شکل ۲-۵ : تنش‌های متوسط در تحلیل سخت شدگی کششی ۱۹
شکل ۲-۶ : رفتار سخت‌شدگی کششی در بتن مسلح ۲۰
شکل ۲-۷ : مدل تنش-کرنش پیشنهاد شده برای بتن محصور و غیر محصور تحت بارگذاری یکنوا ۲۱
شکل ۲-۸ : مریدین‌های فشاری، کششی و برشی ۲۳
شکل ۲-۹ : شکل عمومی سطح گسیختگی در صفحه‌ی انحراف آور ۲۳
شکل ۲-۱۰ : منحنی‌های گسیختگی ارائه شده توسط محققین مختلف ۲۴
شکل ۲-۱۱ : مفهوم سخت شدگی همسان ۲۶
شکل ۲-۱۲: سخت شدگی ناهمسان ۲۶
شکل ۲-۱۳ : سخت شدگی مرکب ۲۷
شکل ۲-۱۴: مدل پلاستیسیته با سخت شدگی غیر یکنواخت ۲۸
شکل ۲-۱۵ : تعبیر هندسی قانون جریان ۲۸
شکل ۲-۱۶ : قانون جریان وابسته به تابع تسلیم فن میسز ۲۹
شکل ۲-۱۷ : کرنش حجمی تحت فشار دو محوری (کوپفر و همکاران (۱۹۶۹)) ۳۰
شکل ۲-۱۸: منحنی شماتیک تنش-کرنش تحت کشش تک محوری ۳۳
شکل ۲-۱۹: منحنی‌های شماتیک تنش-کرنش در فشار تک محوری ۳۳
شکل ۲-۲۰ : سطح تسلیم در حالت تنش مسطح ۳۶
شکل ۲-۲۱ : سطح تسلیم در صفحه‌ی انحراف آور ۳۶
شکل ۲-۲۲ : مریدین‌های فشاری و کششی ۳۷

شکل ۲-۲۳ : سطح تسلیم در صفحه‌ی انحراف آور..... ۳۷
شکل ۲-۲۴ : تابع پتانسیل برای خروج از مرکزیت‌های متفاوت..... ۳۸
شکل ۲-۲۵ : سطح تسلیم فن میسز..... ۴۰
شکل ۲-۲۶: سطح تسلیم فن میسز در حالت تنش مسطح..... ۴۱
شکل ۲-۲۷ : انواع المان‌های موجود در Abaqus[۸] ۴۳
شکل ۲-۲۸ : المان ۸ گرهی و ۲۰ گرهی..... ۴۳
شکل ۲-۲۹: المان تنش مسطح استفاده شده برای مدلسازی بتن..... ۴۴
شکل ۲-۳۰ : محدوده‌ی مجاز برای المان‌های مدفون..... ۴۵
شکل ۲-۳۱ : منحنی غیرخطی بار تغییر مکان..... ۴۵
شکل ۲-۳۲ : روش حل نیوتن-رافسون..... ۴۶
شکل ۲-۳۳ : نیروهای داخلیو خارجی وارد بر یک جسم..... ۴۷
شکل ۲-۳۴: اولین تکرار در یک نمو..... ۴۷
شکل ۲-۳۵ : تکرار دوم درروش نیوتن-رافسون..... ۴۸
شکل ۳-۱ : هندسه‌ی تیر عمیق بدون بازشو (تمام ابعاد به mm)..... ۵۰
شکل ۳-۲ : مود گسیختگی تیر عمیق بدون بازشو..... ۵۱
شکل ۳-۳ : بررسی حساسیت به مش در رفتار بار-تغییر مکان..... ۵۲
شکل ۳-۴ : مود شکست؛ الف) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر ب) آسیب دیدگی کششی..... ۵۲
شکل ۳-۵ : کانتور تنش اصلی بیشینه..... ۵۳
شکل ۳-۶ : حساسیت به زاویه‌ی اتساع..... ۵۴
شکل ۳-۷ : هندسه‌ی تیرهای عمیق آزمایش شده به‌وسیله‌ی کونگ [۸]..... ۵۵

شکل ۳-۸ : رفتار بار-تغییر مکان.....۵۶
شکل ۳-۹ : مود شکست تیر NO-0.3/4: (الف) مود شکست آزمایشگاهی (ب) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر در لحظه‌ی شکست (ج) آسیب دیدگی کششی در لحظه‌ی شکست (د) آسیب دیدگی کششی در اولین ترک خوردگی.....۵۷
شکل ۳-۱۰ : مود شکست تیر NW1-0.3/4: (الف) مود شکست آزمایشگاهی (ب) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر در لحظه‌ی شکست (ج) آسیب دیدگی کششی در لحظه‌ی شکست (د) آسیب دیدگی کششی در اولین ترک‌خوردگی.....۵۸
شکل ۳-۱۱ : مود شکست تیر NW2-0.3/4: (الف) مود شکست آزمایشگاهی (ب) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر در لحظه‌ی شکست (ج) آسیب دیدگی کششی در لحظه‌ی شکست (د) آسیب دیدگی کششی در اولین ترک‌خوردگی.....۵۹
شکل ۳-۱۲ : مود شکست تیر NW4-0.3/4: (الف) مود شکست آزمایشگاهی (ب) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر در لحظه‌ی شکست (ج) آسیب دیدگی کششی در لحظه‌ی شکست (د) آسیب دیدگی کششی در اولین ترک‌خوردگی.....۶۰
شکل ۳-۱۳ : توزیع تنش‌های حداکثر اصلی؛ (الف) اولین ترک خوردگی در گوشه‌های بازشو (ب) شروع ترک‌های خمشی (ج) رسیدن ترک گوشه بازشو به محل تکیه‌گاه.....۶۱
شکل ۳-۱۴ : توزیع تنش‌های اصلی حداقل.....۶۲
شکل ۳-۱۵ : هندسه‌ی تیر AES.....۶۲
شکل ۳-۱۶ : هندسه‌ی تیر AIS.....۶۳
شکل ۳-۱۷: مود شکست تیر AES.....۶۴
شکل ۳-۱۸ : مود شکست تیر AIS.....۶۵

شکل ۳-۱۹ : نمودار بار-تغییر مکان تیر AES..... ۶۶
شکل ۳-۲۰ : نمودار بار-تغییر مکان تیر AIS..... ۶۶
شکل ۴-۱ : هندسه‌ی کلی تیرهای مدل شده گروه اول..... ۶۸
شکل ۴-۲: آرایش آرماتورهای نوع ۱..... ۶۹
شکل ۴-۳ : آرایش آرماتورهای نوع ۲ و ۳..... ۷۰
شکل ۴-۴ : آرایش آرماتورهای نوع ۴..... ۷۱
شکل ۴-۵ : هندسه‌ی مدل A-0.3-S-M-3..... ۷۱
شکل ۴-۶ : کانتور تنش‌های کششی در زمان ایجاد اولین ترک خوردگی..... ۷۴
شکل۴-۷ : کانتور تنش‌های کششی در زمان ایجاد اولین ترک‌های خمشی..... ۷۴
شکل ۴-۸ : مود گسیختگی تیر A-0.3-S-M-1؛ الف) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر ب) آسیب دیدگی کششی..... ۷۵
شکل ۴-۹ : مود گسیختگی تیر B-0.8-S-M-1؛ الف) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر ب) آسیب دیدگی کششی..... ۷۵
شکل ۴-۱۰ مود گسیختگی تیر A-0.3-S-M-3؛ الف) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر ب) آسیب دیدگی کششی..... ۷۶
شکل ۴-۱۱ مود گسیختگی تیر B-0.8-S-M-3؛ الف) کرنش پلاستیک اصلی حداکثر ب) آسیب دیدگی کششی..... ۷۶
شکل ۴-۱۲: گسیختگی برشی تیرهایی که اندازه و محل بازشو متفاوت دارند..... ۷۷
شکل ۴-۱۳: شکست خمشی در تیر B-0.8-S-B-4..... ۷۸
شکل ۴-۱۴: شکست خمشی در تیر B-0.8-S-M-4..... ۷۸

شکل ۴-۱۵: شکست خمشی در تیر B-0.8-S-T-4 ۷۹
شکل ۴-۱۶: لهیدگی در تیر A-0.3-S-M-4 ۷۹
شکل ۴-۱۷: لهیدگی در تیر A-0.3-S-B-4 ۸۰
شکل ۴-۱۸: لهیدگی در تیر A-0.3-B-M-4 ۸۰
شکل ۴-۱۹: تاثیر نسبت دهانه‌ی خالص به عمق ۸۲
شکل ۴-۲۰ : مقایسه تاثیر چیدمان آرماتور روی مقاومت نهایی ۸۳
شکل ۴-۲۱ : شکست خمشی تیر Solid-B-4 ۸۳
شکل ۴-۲۲ : شکست خمشی تیر B-0.8-B-T-4 ۸۴
شکل ۴-۲۳ : تاثیر دهانه‌ی برش در مقاومت تیرهای عمیق دارای بازشو ۸۴
شکل ۴-۲۴ : تاثیر محل بازشو روی مقاومت تیرهای با بازشوی کوچک ۸۵
شکل ۴-۲۵ : تاثیر محل بازشو روی مقاومت تیرهای با بازشوی بزرگ ۸۵
شکل ۴-۲۶ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه Solid-A ۸۶
شکل ۴-۲۷ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-S-M ۸۷
شکل ۴-۲۸ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-S-T ۸۷
شکل ۴-۲۹: نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-S-B ۸۸
شکل ۴-۳۰ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-B-M ۸۸
شکل ۴-۳۱ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-B-T ۸۹
شکل ۴-۳۲ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه A-0.3-B-B ۸۹
شکل ۴-۳۳ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.3-S-M ۹۰
شکل ۴-۳۴ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.3-S-T ۹۰

شکل ۴-۳۵ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.3-S-B ۹۱
شکل ۴-۳۶ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه Solid-B ۹۱
شکل ۴-۳۷ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-S-M ۹۲
شکل ۴-۳۸ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-S-T ۹۲
شکل ۴-۳۹ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-S-B ۹۳
شکل ۴-۴۰ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-B-M ۹۳
شکل ۴-۴۱ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-B-T ۹۴
شکل ۴-۴۲ : نمودار بار-تغییر مکان تیرهای گروه B-0.8-B-B ۹۴
شکل ۴-۴۳ : مقایسه نمودارهای S-M-1 ۹۵
شکل ۴-۴۴ : مقایسه نمودارهای S-M-2 ۹۵
شکل ۴-۴۵ : مقایسه نمودارهای S-M-3 ۹۶
شکل ۴-۴۶ : مقایسه نمودارهای S-T-1 ۹۶
شکل ۴-۴۷ : مقایسه نمودارهای S-T-2 ۹۷
شکل ۴-۴۸ : مقایسه نمودارهای S-T-3 ۹۷
شکل ۴-۴۹: هندسه‌ی تیرهای گروه دوم مدلسازی ۹۹
شکل ۴-۵۰ : تقسیم تیر بتنی به دو قسمت مسلح و غیر مسلح ۱۰۰
شکل ۴-۵۱ : رفتار کششی بتن بعد از ترک‌خوردگی ۱۰۰
شکل ۴-۵۲ : مود گسیختگی تیرهای گروه دوم ۱۰۱
شکل ۴-۵۳ : نمودار بار تغییر مکان ۱۰۲
شکل ۴-۵۴ : نمودار بار-تغییرمکان بی بعد ۱۰۲