

الله اعلم
الله اعلم
الله اعلم



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای پویا پیرعلی رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان بررسی تحلیلی - و تجربی مکانیک تخریب دیواره بتونی ساده در بارگذاری انفجاری و بادرنظر گرفتن اثرات نرخ کرنش در تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد مشاور	دکتر محمد تقی احمدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر بیگلر	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسین خداری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود موسوی مشهدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان نامه (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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» 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 مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر غلامحسین لیاقت و مشاوره جناب آقای دکتر محمدتقی احمدی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.


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

ماده ۶: اینجانب لواناسری علی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع دکتری

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

لواناسری علی

نام و نام خانوادگی:



تاریخ و امضا:

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

مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عنوان پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

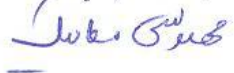
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

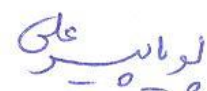
تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

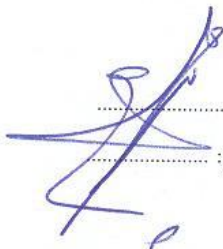
دانشجوی رشته  محمدی مفاد

«اینجانب  لیلی علی
ورودی سال تحصیلی

۸۳
دانشکده فنی و مهندسی

مقطع دکتری

متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: 
تاریخ:



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری تخصصی (Ph.D)

رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان

بررسی عددی - تجربی رفتار بتن تحت تاثیر بارگذاری با نرخ کرنش بالا

و ارائه یک مدل ساختاری ترکیبی

نگارنده

پویا پیرعلی

استاد راهنما

دکتر غلامحسین لیاقت

استاد مشاور

دکتر محمدتقی احمدی

زمستان ۱۳۸۹

هر کس ذره‌ای علم به من بیاموزد، مرا بنده خود ساخته است. امام علی (ع)

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر لیاقت و جناب آقای دکتر احمدی که تجربیات ارزشمند خود را بی‌دریغ در اختیار بنده نهادند و نه تنها چگونگی تحقیق و تفحص را به من آموختند بلکه با منش انسانی و اخلاق والای خود، آموزگاران ارزنده‌ای برای بنده بوده و خواهند بود، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورم.

چکیده

هدف از این رساله ارائه یک مدل پیشنهادی ترکیبی تخریب-ویسکوپلاستیسیته جهت بررسی رفتار بتن تحت نرخ کرنش‌های بالا به‌مراه برطرف کردن ناسازگاری‌های موجود در مدل‌های تحلیلی کلاسیک مانند وابستگی به مش‌بندی، محلی شدن تخریب و غیریکتایی جواب می‌باشد. مدل‌های رفتاری کلاسیک را می‌توان در سه گروه پلاستیسیته، تخریب و پلاستیسیته-تخریب دسته‌بندی نمود. مدل‌های پلاستیسیته بدلیل عدم استفاده از فرمولاسیون وابسته به نرخ بارگذاری، با شروع فرآیند نرم‌شوندگی وابسته به مش‌بندی بوده و پاسخ یکتایی نخواهند داشت. علاوه بر این، بدلیل عدم در نظر گرفتن فرآیند تخریب قادر نیستند از دست رفتن پیوستگی ماده را بدرستی پیش‌بینی نمایند. مدل‌های تخریب نیز به تنهایی برای توصیف فرآیندهای برگشت‌ناپذیر مناسب نمی‌باشد. مدل‌های پلاستیسیته-تخریب مشکلات مدل‌های قبل را ندارند ولیکن ناسازگاری‌های ناشی از نرم‌شوندگی و محلی شدن تخریب همچنان وجود دارد. همچنین بدلیل عدم استفاده از فرمولاسیون وابسته به نرخ، برای بررسی رفتار بتن تحت نرخ بارگذاری بالا مناسب نمی‌باشند. یکی از تئوری‌های مناسب جهت بررسی رفتار مواد در نرخ کرنش‌های بالا و برطرف کردن ناسازگاری‌های ناشی از فرمولاسیون عدم وابسته به نرخ، تئوری ویسکوپلاستیسیته می‌باشد. مدل پیشنهادی تخریب-ویسکوپلاستیسیته در این رساله با استفاده از ترکیب تئوری ویسکوپلاستیسیته و فرمولاسیون غیرمحلی تخریب، علاوه بر اینکه ناسازگاری‌های ناشی از فرمولاسیون غیروابسته به نرخ را برطرف می‌کند ناسازگاری‌های ناشی از محلی شدن تخریب را نیز مرتفع می‌نماید. همچنین مدل پیشنهادی با تفکیک بین تخریب فشاری و کششی، قادر است رفتار متفاوت تخریب بتن تحت فشار و کشش را بخوبی پیش‌بینی نماید. مدل پیشنهادی بصورت زیر برنامه مدل رفتاری ماده در نرم‌افزار آباکوس پیاده‌سازی شده و برای شبیه‌سازی تست میله‌هاپکینسون استفاده شده است. توانایی و صحت مدل پیشنهادی در برطرف‌سازی ناسازگاری‌هایی که اشاره شد، با مقایسه نتایج حل وابسته به زمان و غیروابسته به زمان و حل ترکیبی و غیرترکیبی بصورت عددی بررسی شده است. سپس با استفاده از آزمایش میله‌هاپکینسون، توانایی مدل پیشنهادی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی اثر پارامترهای نرخ کرنش، نسبت منظر، فشار محصورکننده و ضریب اصطکاک بررسی شده است. مقایسه نتایج بدست آمده از حل عددی و نتایج تجربی نشان می‌دهد مدل پیشنهادی نه تنها ناسازگاری‌های مدل‌های تحلیلی کلاسیک را برطرف نموده، بلکه همخوانی خوبی بین نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل پیشنهادی و نتایج تجربی مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: بتن، نرخ کرنش بالا، تخریب، ویسکوپلاستیسیته، نرم‌شوندگی، محلی شدن تخریب

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه ۱

۱-۱- معرفی موضوع و اهمیت آن ۲

۲-۱- نوآوری فعالیت انجام شده در این رساله ۶

۳-۱- کارهای انجام شده در این رساله ۹

فصل ۲ مروری بر پژوهش‌های گذشته ۱۱

۱-۲- مقدمه ۱۲

۲-۲- مروری بر پژوهش‌های گذشته ۱۲

۳-۲- جمع‌بندی ۲۱

۲-۳-۱- نوع بارگذاری ۲۱

۲-۳-۲- نوع حل (ترکیبی و یا غیر ترکیبی) ۲۲

۳-۳-۲- نوع بررسی ۲۲

۴-۳-۲- موضوع تحت بررسی ۲۲

۵-۳-۲- نوع بررسی تخریب ۲۳

۶-۳-۲- بررسی محلی شدن ۲۳

۷-۳-۲- بررسی حساسیت به مش‌بندی ۲۴

فصل ۳ تئوری ۲۷

۱-۳- مقدمه ۲۸

۲-۳- مکانیک تخریب محیط پیوسته ۲۹

۱-۲-۳- تعریف تخریب ۳۰

۲-۲-۳- روش‌های اندازه‌گیری تخریب ۳۳

۱-۲-۲-۳- اندازه‌گیری تخریب براساس میکروساختار ماده ۳۳

۲-۲-۲-۳- اندازه‌گیری تخریب براساس پارامترهای فیزیکی و مفهوم تنش موثر ۳۴

۳-۲-۳- ترمودینامیک تخریب ۳۵

۱-۳-۲-۳- پتانسیل حالت برای تخریب ایزوتروپیک ۳۹

۲-۳-۲-۳- تاثیر باز و بسته شدن عیوب میکرو ۴۰

۳-۳-۲-۳- تعمیم حالت تخریب ایزوتروپیک ۴۳

۴-۳-۲-۳- نرخ تخریب ۴۵

۴۸	۳-۳- ویسکوپلاستیسیته
۴۹	۳-۳-۱- معیار تسلیم
۵۳	۳-۳-۲- قانون نرم‌شوندگی
۵۴	۳-۴- پیاده‌سازی روابط تحلیلی
۵۵	۳-۴-۱- تحلیل غیر ترکیبی
۵۶	۳-۴-۲- تحلیل ترکیبی
۵۸	۳-۴-۳- روش المان محدود در تحلیل‌های غیر خطی
۶۰	۳-۴-۳-۱- بررسی تعادل کلی
۶۲	۳-۴-۳-۲- زیربرنامه انتگرال‌گیری محلی
۶۳	۳-۴-۳-۳- خطی‌سازی روابط
۶۴	۳-۴-۳-۴- روش تکراری نیوتن
۶۵	۳-۴-۴- محاسبه باقیمانده‌ها
۶۵	۳-۴-۴-۱- باقیمانده کرنش الاستیک
۶۶	۳-۴-۴-۲- باقیمانده تابع سطح تسلیم
۶۶	۳-۴-۴-۳- باقیمانده تابع تخریب
۶۷	۳-۴-۵- محاسبه ژاکوبین
۶۷	۳-۴-۵-۱- محاسبه مشتق باقیمانده کرنش الاستیک نسبت به جزء متغیرهای موردنظر
۶۹	۳-۴-۵-۲- محاسبه مشتق باقیمانده تابع تسلیم نسبت به جزء متغیرهای موردنظر
۷۰	۳-۴-۵-۳- محاسبه مشتق باقیمانده تابع تخریب نسبت به جزء متغیرهای موردنظر
۷۱	۳-۴-۶- برورسانی متغیرهای ترمودینامیکی
۷۲	۳-۴-۷- اپراتور مماسی پایدار
۷۵	۳-۵- نرم‌شوندگی و ناپایداری‌های ناشی از آن
۷۷	۳-۵-۱- تنظیم معادله حرکت با استفاده از ترم ویسکوزیته
۸۲	۳-۵-۲- محدود کننده محلی شدن (فرمولاسیون غیر محلی)

فصل ۴ آزمایش‌های تجربی ۸۵

۸۶	۴-۱- مقدمه
۸۶	۴-۲- دستگاه میله هاپکینسون
۹۱	۴-۳- شبیه‌سازی آزمایش میله هاپکینسون
۹۴	۴-۴- طراحی آزمایش
۹۵	۴-۴-۱- نسبت منظر
۹۵	۴-۴-۲- طول نمونه
۹۵	۴-۴-۳- نرخ کرنش

- ۹۶-۴-۴-۴ ضریب اصطکاک.....
- ۹۶-۴-۴-۵ فشار محصورکننده.....
- ۹۸-۴-۵ نمونه‌های آماده شده جهت تست.....

فصل ۵ نتایج و بحث ۱۰۱

- ۱-۵-۱ مقدمه..... ۱۰۲
- ۲-۵-۲ نتایج مدل وابسته به زمان (ویسکوپلاستیسیته) و مدل مستقل از زمان (پلاستیسیته). ۱۰۳
- ۱-۲-۵-۱ نمونه دارای دو لبه شکافدار..... ۱۰۴
- ۲-۲-۵-۲ نمونه دارای یک لبه شکافدار..... ۱۰۶
- ۳-۵-۳ نتایج تحلیل ترکیبی و تحلیل غیرترکیبی..... ۱۰۹
- ۱-۳-۵-۱ نمونه دارای یک لبه شکافدار (خمش ۴ نقطه‌ای)..... ۱۰۹
- ۲-۳-۵-۲ تغییرات منحنی تخریب..... ۱۱۱
- ۴-۵-۴ بررسی پارامترهای موثر بر نتیجه آزمایش میله هاپکینسون..... ۱۱۵
- ۱-۴-۵-۱ اثر نرخ کرنش..... ۱۱۶
- ۱-۱-۴-۵-۱ نسبت منظر ۰/۵..... ۱۱۶
- ۲-۱-۴-۵-۲ نسبت منظر ۱/۰..... ۱۱۸
- ۳-۱-۴-۵-۳ نسبت منظر ۱/۵..... ۱۱۹
- ۴-۱-۴-۵-۴ نسبت منظر ۲/۰..... ۱۲۰
- ۲-۴-۵-۲ اثر نسبت منظر..... ۱۲۲
- ۱-۲-۴-۵-۱ نرخ کرنش ۲۵۰ بر ثانیه..... ۱۲۲
- ۲-۲-۴-۵-۲ نرخ کرنش ۵۰۰ بر ثانیه..... ۱۲۴
- ۳-۲-۴-۵-۳ نرخ کرنش ۷۰۰ بر ثانیه..... ۱۲۵
- ۴-۲-۴-۵-۴ نرخ کرنش ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۲۷
- ۳-۴-۵-۳ اثر فشار محصورکننده..... ۱۲۸
- ۱-۳-۴-۵-۱ نسبت منظر ۰/۵..... ۱۲۸
- ۲-۳-۴-۵-۲ نسبت منظر ۱/۰..... ۱۲۹
- ۳-۳-۴-۵-۳ نسبت منظر ۲/۰..... ۱۳۰
- ۴-۴-۵-۴ اثر ضریب اصطکاک..... ۱۳۱
- ۱-۴-۴-۵-۱ نسبت منظر ۰/۵..... ۱۳۲
- ۲-۴-۴-۵-۲ نسبت منظر ۱/۰..... ۱۳۳
- ۳-۴-۴-۵-۳ نسبت منظر ۱/۵..... ۱۳۴
- ۴-۴-۴-۵-۴ نسبت منظر ۲/۰..... ۱۳۵
- ۵-۴-۵-۵ ضریب افزایش دینامیکی..... ۱۳۷

۱۳۸	.....	۵-۴-۱-۵- اثر نرخ کرنش
۱۳۸	.....	۵-۴-۲-۵- اثر ضریب اصطکاک
۱۳۹	.....	۵-۴-۳-۵- اثر نسبت منظر
۱۴۰	.....	۵-۵- آزمایش میله هایپکینسون کششی
۱۴۱	.....	۵-۶- توزیع تخریب
۱۴۲	.....	۵-۶-۱- میله هایپکینسون فشاری
۱۴۲	.....	۵-۶-۱-۱- نسبت منظر ۰/۵
۱۴۴	.....	۵-۶-۱-۲- نسبت منظر ۱/۰
۱۴۵	.....	۵-۶-۱-۳- نسبت منظر ۱/۵
۱۴۷	.....	۵-۶-۱-۴- نسبت منظر ۲/۰
۱۴۹	.....	۵-۶-۲- میله هایپکینسون کششی
۱۴۹	.....	۵-۶-۲-۱- نسبت منظر ۰/۵
۱۵۰	.....	۵-۶-۲-۲- نسبت منظر ۱/۰
۱۵۲	.....	۵-۶-۲-۳- نسبت منظر ۱/۵
۱۵۳	.....	۵-۶-۲-۴- نسبت منظر ۲/۰
۱۵۴	.....	۵-۷- الگوی تخریب در اثر برخورد پرتابه صلب

فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۸

۱۵۹	.....	۶-۱- مقدمه
۱۵۹	.....	۶-۲- نتیجه گیری
		۶-۲-۱- مقایسه نتایج مدل وابسته به زمان (ویسکوپلاستیسیته) و مدل مستقل از زمان (پلاستیسیته)
۱۵۹	.....	زمان (پلاستیسیته)
۱۶۰	.....	۶-۲-۲- نتایج تحلیل ترکیبی و تحلیل غیر ترکیبی
۱۶۱	.....	۶-۲-۳- تغییرات منحنی تخریب
۱۶۳	.....	۶-۲-۴- بررسی پارامترهای موثر بر نتیجه آزمایش میله هایپکینسون
۱۶۶	.....	۶-۲-۵- توزیع تخریب
۱۶۸	.....	۶-۲-۶- الگوی تخریب در اثر نفوذ پرتابه صلب
۱۶۸	.....	۶-۳- پیشنهادات

مراجع ۱۷۰

فهرست علائم و نشانه ها

σ	تنش نامی
$\tilde{\sigma}$	تنش موثر
σ_{ij}	تانسور تنش
ε_{ij}	تانسور کرنش
ε_{ij}^p	تانسور کرنش پلاستیک
ε_{ij}^{vp}	تانسور کرنش ویسکوپلاستیک
$\hat{\sigma}^{(m)}$	تنش اصلی m ام تانسور تنش σ_{ij}
$n_i^{(m)}$	بردار ویژه یکه m ام متناظر با تنش اصلی m ام تانسور تنش σ_{ij}
$\dot{\varepsilon}_{ij}^e$	جزء نرخ کرنش الاستیک
$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$	جزء نرخ کرنش ویسکوپلاستیک
I_1	نامتغیر اول تنش
J_2	نامتغیر دوم تنش انحرافی
p	کرنش پلاستیک انباشته
σ_{vp}	تنش ویسکوپلاستیک
σ_0	تنش تسلیم اولیه
ε_i	کرنش عبوری از میله ورودی
ε_r	کرنش بازتاب شده
ε_t	کرنش عبوری از میله خروجی
σ	تنش نامی
$\tilde{\sigma}$	تنش موثر
σ_{ij}	تانسور تنش
ε_{ij}	تانسور کرنش
D_n	متغیر تخریب در راستای نرمال n
D	پارامتر تخریب اسکالر
D_{ij}	پارامتر تخریب تانسوری
D_c	مقدار بحرانی متغیر تخریب
Ω	تانسور تخریب متقارن مرتبه دوم
$dS_g^{(k)}$	جزء سطح حفره k ام در حجم V
$v^{(k)}$	بردار نرمال یکه متناظر با جزء سطح حفره k ام
D^{Local}	تخریب محلی
$D^{Nonlocal}$	تخریب محلی

Y	نرخ کاهش دانسیته انرژی (متغیر وابسته تخریب اسکالر)
Y_{ij}	نرخ کاهش دانسیته انرژی (متغیر وابسته تخریب تانسوری)
F_D	پتانسیل تخریب
E	مدول الاستیسیته
\tilde{E}	مدول الاستیسیته موثر
\tilde{E}^+	مدول الاستیسیته موثر در حالت کشش تک محوره
\tilde{E}^-	مدول الاستیسیته موثر در حالت فشار تک محوره
ρ	دانسیته
ν	ضریب پواسن
f'_c	مقاومت فشاری بتن
f'_t	مقاومت کششی بتن
η	ضریب ویسکوزیته
l	طول مشخصه
Y_H	پیوستگی ماده
c_ϕ	ضریب اصطکاک
c_ψ	ضریب اتساع
Y_0	پیوستگی اولیه
β	ضریب ثابت
A	ضریب ثابت
C_e	سرعت موج الاستیک در ماده
C_0	سرعت طولی صوت در میله ورودی
α	ضریب میرایی
k	شماره موج
ω	فرکانس موج
A	سطح مقطع نمونه تحت آزمایش
L	طول نمونه تحت آزمایش
L/D	نسبت منظر
S	مساحت مقطع المان نمونه
S_D	مجموع مساحت عیوب در المان نمونه
N_{ij}	تابع شکل
U^e	بردار جابجایی گره‌ای یک المان
$\{U\}$	بردار جابجایی گره‌ای کل
$[D]$	ماتریس ارتباط جابجایی و کرنش

$\{F\}$	بردار نیروی اعمال شده
$\{R_{GE}\}$	باقیمانده کلی
$\{R_{loc}\}$	باقیمانده محلی
$[L^c]$	عملگر مماسی پایدار
$\{\Delta\sigma\}$	جزء تنش
$\{\Delta\varepsilon\}$	جزء کرنش
$\{U_{n+1}^1\}$	تخمین اولیه برای بردار جابجایی‌های گره‌ای
$\{\varepsilon_{n+1}^1\}$	تخمین اولیه کرنش
K_T	ماتریس سختی مماسی
θ	پارامتر خطی‌سازی
R_{ε^e}	باقیمانده کرنش الاستیک
R_f	باقیمانده تابع تسلیم
R_D	باقیمانده تابع تخریب
$[Jac]$	ماتریس ژاکوبین
M	ماتریس ارتباط تنش نامی و تنش موثر
$\phi(\xi)$	تابع توزیع گوسی
ξ	شعاع همسایگی
∇^i	بیانگر اپراتور گرادیان مرتبه i ام
c_i	ضرایب گرادیان
ψ^*	آنتالپی آزاد مخصوص گیبس
ψ_e^*	توزیع بخش الاستیک (پتانسیل کرنش الاستیک)
ψ_p	توزیع بخش پلاستیک (پتانسیل کرنش پلاستیک)
ψ_T	توزیع حرارتی ماده (پتانسیل کرنش حرارتی)
$\dot{\omega}_s$	نرخ دانسیته انرژی ذخیره شده
q_i	انرژی حرارتی
λ^p	ضریب پلاستیک
λ^{vp}	ضریب ویسکوپلاستیک
α	ضریب انبساط حرارتی
T_{ref}	دمای مرجع
h	پارامتر باز و بسته شدن میکروتَرَک‌ها
Q_{ijkl}^+	تانسورهای تصویر مرتبه چهار کششی
Q_{ijkl}^-	تانسورهای تصویر مرتبه چهار فشاری
s	پارامتر تابع تخریب

S

f

g

پارامتر تابع تخریب

تابع تسلیم

پتانسیل پلاستیک

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- ضریب افزایش دینامیکی فشاری براساس نرخ کرنش [۱]..... ۳
- شکل ۱-۲- ضریب افزایش دینامیکی کششی براساس نرخ کرنش [۱]..... ۳
- شکل ۱-۳- مقیاس‌های مختلف بررسی رفتار بتن (الف) مقیاس میکرو، (ب) مقیاس مزو، (ج) مقیاس ماکرو [۳۹]..... ۳۱
- شکل ۲-۳- مقایسه مفهوم فیزیکی و ریاضی پارامتر تخریب [۶۳]..... ۳۲
- شکل ۳-۳- شکل‌گیری عیوب ماکرو [۶۳]..... ۳۲
- شکل ۳-۴- مفهوم تانسور تخریب براساس حجم حفره‌ها [۶۳]..... ۳۴
- شکل ۳-۵- تاثیر پارامتر تخریب بر مدول الاستیسیته. (الف) بارگذاری تک‌محوره کششی، (ب) بارگذاری تک‌محوره فشاری [۶۵]..... ۳۵
- شکل ۳-۶- مفهوم نرخ کاهش دانسیته انرژی..... ۳۶
- شکل ۳-۷- مقایسه مدل‌های ویسکوالاستیسیته، ویسکوپلاستیسیته و پلاستیسیته. (الف) مدل الاستوپلاستیک، (ب) مدل الاستو- ویسکوپلاستیک، (ج) مدل کاملاً ویسکوپلاستیک [۶۹]..... ۴۹
- شکل ۳-۸- (الف) مقایسه معیار تسلیم دراگر- پراگر و فون- میسز، (ب) مقایسه معیار تسلیم کولومب- مور و ترسکا [۶۹]..... ۵۲
- شکل ۳-۹- تحلیل غیر ترکیبی..... ۵۵
- شکل ۳-۱۰- تحلیل کاملاً ترکیبی (کاملاً کوپله)..... ۵۶
- شکل ۳-۱۱- الگوریتم روش المان محدود در حل معادلات ساختاری غیرخطی..... ۶۱
- شکل ۳-۱۲- فرآیند تکرار در حل المان محدود غیرخطی..... ۶۲
- شکل ۴-۱- شماتیک دستگاه تست هاپکینسون فشاری..... ۸۷
- شکل ۴-۲- شماتیک دستگاه تست هاپکینسون کششی..... ۸۷
- شکل ۴-۳- چگونگی انتشار امواج الاستیک طولی در تست هاپکینسون (الف) فشاری و (ب) کششی [۴۰]..... ۸۸
- شکل ۴-۴- شرایط مرزی بر روی سطوح جلویی و پشتی نمونه..... ۹۲

- شکل ۴-۵- پروفیل سرعت و نیرو بر روی سطوح جلویی و پشتی نمونه [۷۷]..... ۹۲
- شکل ۴-۶- مش بندی نمونه و میله های ورودی و خروجی..... ۹۳
- شکل ۴-۷- پارامترهای موثر در صحت نتیجه بدست آمده از تست میله ها پکینسون..... ۹۴
- شکل ۴-۸- بلوک بتنی قبل و بعد از هسته گیری..... ۹۹
- شکل ۴-۹- هسته های استوانه ای بدست آمده از بلوک بتنی..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱- ابعاد نمونه دارای دو لبه شکافدار [۸۲]..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲- توزیع پارامتر تخریب در نمونه دارای دو لبه شکافدار با مدل رفتاری غیر وابسته به زمان (پلاستیسیته- تخریب) به ازای سه نوع مش بندی مختلف..... ۱۰۵
- شکل ۵-۳- توزیع پارامتر تخریب در نمونه دارای دو لبه شکافدار با مدل رفتاری وابسته به زمان (ویسکوپلاستیسیته) به ازای سه نوع مش بندی مختلف..... ۱۰۶
- شکل ۵-۴- ابعاد نمونه دارای یک لبه شکافدار (خمش ۴ نقطه ای) [۸۳]..... ۱۰۷
- شکل ۵-۵- توزیع تخریب در نمونه دارای یک لبه شکافدار با مدل رفتاری غیر وابسته به زمان (پلاستیسیته) به ازای سه نوع مش بندی مختلف..... ۱۰۷
- شکل ۵-۶- توزیع پارامتر تخریب در نمونه دارای یک لبه شکافدار با مدل رفتاری وابسته به زمان (ویسکوپلاستیسیته) به ازای سه نوع مش بندی مختلف..... ۱۰۸
- شکل ۵-۷- توزیع تخریب در نمونه دارای یک لبه شکافدار (الف) مدل غیر ترکیبی (ب) مدل ترکیبی (ج) الگوی تخریب تجربی [۸۳]..... ۱۱۰
- شکل ۵-۸- تغییرات منحنی تخریب نسبت به زمان (الف) بارگذاری فشاری (ب) بارگذاری کششی..... ۱۱۱
- شکل ۵-۹- مقایسه تغییرات منحنی تخریب نسبت به زمان در حالت های بارگذاری فشاری و کششی..... ۱۱۲
- شکل ۵-۱۰- تغییرات منحنی تخریب نسبت به کرنش (الف) بارگذاری فشاری (ب) بارگذاری کششی..... ۱۱۳
- شکل ۵-۱۱- مقایسه تغییرات منحنی تخریب نسبت به کرنش پلاستیک انباشته در حالت های بارگذاری فشاری و کششی..... ۱۱۴

شکل ۵-۱۲- مقایسه تغییرات منحنی تخریب در مدل پیشنهادی و مدل HJC (Ls-Dyna) (الف) تغییرات منحنی تخریب نسبت به زمان (ب) تغییرات منحنی تخریب نسبت به کرنش پلاستیک انباشته ۱۱۵

شکل ۵-۱۳- نرخ کرنش‌های اعمالی بر نمونه الف) متوسط ۲۵۰ بر ثانیه (ب) متوسط ۵۰۰ بر ثانیه (ج) متوسط ۷۰۰ بر ثانیه (د) متوسط ۱۴۰۰ بر ثانیه ۱۱۶

شکل ۵-۱۴- اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۰/۵ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه ۱۱۷

شکل ۵-۱۵- مقایسه اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نسبت منظر ۰/۵ ۱۱۸

شکل ۵-۱۶- اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۱/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه ۱۱۸

شکل ۵-۱۷- مقایسه اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نسبت منظر ۱/۰ ۱۱۹

شکل ۵-۱۸- اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۱/۵ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه ۱۲۰

شکل ۵-۱۹- مقایسه اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نسبت منظر ۱/۵ ۱۲۰

شکل ۵-۲۰- اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۲/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه ۱۲۱

شکل ۵-۲۱- مقایسه اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نسبت منظر ۲/۰ ۱۲۱

شکل ۵-۲۲- اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش به ازای نرخ کرنش ۲۵۰ بر ثانیه، ضریب اصطکاک ۰/۱۵ و نسبت‌های منظر مختلف الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰ ۱۲۳

شکل ۵-۲۳- مقایسه اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نرخ کرنش ۲۵۰ بر ثانیه ۱۲۳

شکل ۵-۲۴- اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش به ازای نرخ کرنش ۵۰۰ بر ثانیه، ضریب اصطکاک ۰/۱۵ و نسبت‌های منظر مختلف الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰ ۱۲۵

شکل ۵-۲۵- مقایسه اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نرخ کرنش ۵۰۰ بر ثانیه ۱۲۵

- شکل ۵-۲۶- اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش به ازای نرخ کرنش ۷۰۰ بر ثانیه، ضریب اصطکاک ۰/۱۵ و نسبت‌های منظر مختلف الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰..... ۱۲۶
- شکل ۵-۲۷- مقایسه اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نرخ کرنش ۷۰۰ بر ثانیه..... ۱۲۶
- شکل ۵-۲۸- اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش به ازای نرخ کرنش ۱۴۰۰ بر ثانیه، ضریب اصطکاک ۰/۱۵ و نسبت‌های منظر مختلف الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰..... ۱۲۷
- شکل ۵-۲۹- مقایسه اثر نسبت منظر بر نمودار تنش- کرنش مدل پیشنهادی به ازای نرخ کرنش ۱۴۰۰ بر ثانیه... ۱۲۷
- شکل ۵-۳۰- مقایسه اثر فشارمحصورکننده بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۰/۵ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۲۹
- شکل ۵-۳۱- مقایسه اثر فشارمحصورکننده بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۱/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۰
- شکل ۵-۳۲- مقایسه اثر فشارمحصورکننده بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۲/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۱
- شکل ۵-۳۳- مقایسه اثر ضریب اصطکاک بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۰/۵ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۳
- شکل ۵-۳۴- مقایسه اثر ضریب اصطکاک بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۱/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۴
- شکل ۵-۳۵- مقایسه اثر ضریب اصطکاک بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۱/۵ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۵
- شکل ۵-۳۶- مقایسه اثر ضریب اصطکاک بر نمودار تنش- کرنش به ازای نسبت منظر ۲/۰ و نرخ کرنش‌های مختلف الف) ۲۵۰ بر ثانیه (ب) ۵۰۰ بر ثانیه (ج) ۷۰۰ بر ثانیه (د) ۱۴۰۰ بر ثانیه..... ۱۳۶
- شکل ۵-۳۷- اثر نرخ کرنش بر DIF به ازای نسبت‌های منظر الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰..... ۱۳۸
- شکل ۵-۳۸- اثر ضریب اصطکاک بر DIF به ازای نسبت‌های منظر الف) ۰/۵ (ب) ۱/۰ (ج) ۱/۵ (د) ۲/۰..... ۱۳۹

شکل ۵-۳۹- اثر نسبت منظر بر DIF به ازای نرخ کرنش‌های الف) ۲۵۰ بر ثانیه ب) ۵۰۰ بر ثانیه ج) ۷۰۰ بر ثانیه د) ۱۴۰ بر ثانیه..... ۱۴۰

شکل ۵-۴۰- اثر نرخ کرنش بر نمودار تنش-کرنش میله هاپکینسون کششی به ازای نسبت منظر ۱/۵ و نرخ کرنش‌های الف) ۲۵۰ بر ثانیه ب) ۵۰۰ بر ثانیه ج) ۷۰۰ بر ثانیه د) مقایسه اثر نرخ کرنش‌های مختلف..... ۱۴۱

شکل ۵-۴۱- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۰/۵ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۰۵ μsec ۱۴۲

شکل ۵-۴۲- توزیع تخریب در مقطع نمونه و المان‌های حذف شده متناظر به ازای نسبت منظر ۰/۵ در زمان الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۰۵ μsec ۱۴۴

شکل ۵-۴۳- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۱/۰ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۱۰ μsec ۱۴۴

شکل ۵-۴۴- توزیع تخریب در مقطع نمونه و المان‌های حذف شده متناظر به ازای نسبت منظر ۱/۰ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۱۰ μsec ۱۴۵

شکل ۵-۴۵- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۱/۵ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۱۷ μsec ۱۴۶

شکل ۵-۴۶- توزیع تخریب در مقطع نمونه و المان‌های حذف شده متناظر به ازای نسبت منظر ۱/۵ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۱۷ μsec ۱۴۶

شکل ۵-۴۷- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۲/۰ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۲۳ μsec ۱۴۷

شکل ۵-۴۸- توزیع تخریب در مقطع نمونه و المان‌های حذف شده متناظر به ازای نسبت منظر ۲/۰ الف) ۹۵ μsec ب) ۱۰۰ μsec ج) ۱۲۳ μsec ۱۴۸

شکل ۵-۴۹- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۰/۵ در زمان ۸۸ μsec ۱۴۹

شکل ۵-۵۰- توزیع تخریب در مقطع نمونه با نسبت منظر ۰/۵ و در زمان ۸۸ μsec ۱۴۹

شکل ۵-۵۱- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۱/۰ الف) ۸۸ μsec ب) ۹۵ μsec ۱۵۱

شکل ۵-۵۲- توزیع تخریب در مقطع نمونه با نسبت منظر ۱/۰ و المان‌های حذف شده متناظر الف) ۸۸ μsec ب) ۹۵ μsec ۱۵۱

شکل ۵-۵۳- توزیع تخریب در سطح نمونه با نسبت منظر ۱/۵ الف) ۸۸ μsec ب) ۱۰۰ μsec ۱۵۲