٩٣٢٥٧

دانشکده فنی ومهندسی
گروه مهندسی عمران-سازه

رساله دکتری رشته مهندسی عمران- سازه

مدل غیرخطی-لرزه‌ای میانقاب‌های آجری دارای بازشو در قاب‌های فولادی

امین محب‌خواه

استاد راهنما:
دکتر عباسعلی تسنیمی

استاد مشاور:
دکتر حسن علیجانی مقدم

۱۳۸۷/۲۲/۱۵

آبان ۱۳۸۶

۹۳۲۵۷

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رسالهدکتری

آقای امین محب خواه رساله ۲۴ واحدی خود را **با عنوان مدل غیر خطی-لرزه ای میانقاب های آجری دارای بازشو در قاب های فولادی** در تاریخ ۱۳۸۶/۹/۱۷ 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 عمران - سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر عباسعلی تسنیمی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر حسن علیجانی مقدم	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید محرمی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مسعود سلطانی محمدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد تقی کاظمی		
استاد ناظر	دکتر محمودرضا ماهری	استاد	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حمید محرمی	استادیار	

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

امضای استاد راهنما:

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

مقدمه:

با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان نامه و رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن 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 می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

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.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین المللی حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های 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 ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیم به

مظهر صداقت و ایثار

پدرم،

سرچشمهٔ مهر و بخشندگی

مادرم،

و تصویر مجسم عشق و فداکاری

همسرم.

تشکر و قدردانی

منت خداوند رحمان و رحیم را که بشر را علم نوشتن به قلم آموخت و شکر بیکران او را که با الطاف خداوندی‌اش یاری فرمود تا این بندهٔ کوچک کاری دشوار به انجام رساند. حال که به یاری خداوند نگارش این رساله به پایان آمده است، بر خود لازم می‌دانم از کلیهٔ عزیزانی که در تهیهٔ آن سهمی داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر عباسعلی تسنیمی که با هدایت آگاهانه، صبر و شکیبایی و حمایت‌های بی‌شایبهٔ خود در تمامی مراحل انجام و تهیهٔ رساله بنده را یاری فرمودند کمال تشکر را دارم و موفقیت روزافزون ایشان را از درگاه خداوند منان خواستارم. از جناب آقای دکتر حسن مقدم که در این مدت زحمت مشاورهٔ رساله را بر عهده داشتند سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین، از آقایان دکتر محمدتقی کاظمی، دکتر محمودرضا ماهری، دکتر حمید محرمی و دکتر مسعود سلطانی محمدی که مسئولیت مطالعه و داوری رساله را تقبل نمودند سپاسگزارم.

از مسئولین محترم مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بخصوص سرکارخانم دکتر طیبه پرهیزکار، آقایان مهندس شاهرخ رامزی، دکتر علی مزروعی، مهندس کیان خلیلی و همچنین پرسنل محترم آزمایشگاه که امکانات انجام آزمایشات رساله در آزمایشگاه سازهٔ آن مرکز را برای اینجانب فراهم نمودند کمال تشکر را دارم.

از اساتید محترم گروه سازه بویژه آقایان دکتر محمدتقی احمدی، دکتر علی‌اکبر آقاکوچک و دکتر حمزه شکیب، اساتید دورهٔ کارشناسی‌ارشد در دانشگاه ارومیه آقایان دکتر حسین شوکتی و دکتر محمدعلی لطف‌اللهی که در طول دورهٔ آموزشی در محضرشان تلمذ نمودم و همواره مشوق بنده بودند سپاسگزارم. از جناب آقای دکتر W.W. El-Dakhakhni محقق دورهٔ فوق دکتری دانشگاه McMaster کانادا نیز بخاطر کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزشمندشان متشکرم. همچنین، از کلیهٔ دوستان گرامی‌ام بخصوص آقایان دکتر علی معصومی، دکتر امیرهوشنگ اخویسی، دکتر علیرضا حبیبی، دکتر جلال اکبری، دکتر مجید محمدی و مهندس حسن قربان‌کریمی که در طول دورهٔ تحصیل خود در مقطع دکتری از نظرات و راهنمایی‌های ارزشمندشان بهره‌مند بودم تشکر و قدردانی می‌نمایم.

ختم کلام را به زینت نام پدر بزرگوارم، مادر مهربانم و یگانه مونس زندگی‌ام همسر عزیز و فداکارم می‌آرایم که آتش مهر اهورایی‌شان را سپاس بی‌منتها شایسته و بایسته است.

پیروز، پایدار و شادکام باشید؛

امین محب‌خواه

چکیده:

قاب‌های ساختمانی با میانقاب‌های مصالح بنایی (قاب‌های مرکب) فاقد سیستم‌های کلاسیک لرزه‌بر، یکی از متداول‌ترین انواع ساخت و ساز در کشور طی چند دهه گذشته را تشکیل می‌دهند. هر چند در طراحی این قبیل قاب‌ها از اثر میانقاب‌ها چشم‌پوشی می‌شود ولی تجربیات بدست آمده از زلزله‌های گذشته مبین این مطلب است که در بیشتر مواقع میانقاب‌ها با افزایش مقاومت و سختی قاب، موجبات ایستایی آنرا فراهم می‌کنند. لذا توجه به تاثیر میانقاب‌ها در تحلیل و طراحی قاب‌های ساختمانی و بخصوص در تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود امری ضروریست. در خصوص رفتار لرزه‌ای قاب‌های مرکب در پنجاه سال اخیر تحقیقات نظری و آزمایشگاهی گسترده‌ای انجام شده و مدل‌های دقیقی برای برآورد ظرفیت آنها ارائه شده است. اما اغلب این تحقیقات بر روی قاب‌های مرکب پر انجام شده است. در حالیکه در بیشتر قاب‌های مرکب به منظور تعبیه محل درب و پنجره، در داخل میانقاب بازشوهایی تعبیه می‌گردد. در این قبیل قاب‌ها نمی‌توان از مدل‌های قاب مرکب پر برای تحلیل آنها استفاده نمود. از این‌رو لازم است برای شناخت رفتار قاب‌های مرکب دارای بازشو تحت بارهای جانبی تحقیقات گسترده‌ای انجام شود.

در این رساله به دلیل فقدان اطلاعات کافی در زمینه رفتار میانقاب‌های دارای بازشو، یک تحقیق نظری و آزمایشگاهی جهت تبیین رفتار غیرخطی صفحه‌ای قاب‌های مرکب فولادی دارای بازشوی میانی انجام می‌شود. مطالعات انجام شده در این تحقیق به سه بخش کلی تقسیم‌بندی می‌شود. در بخش اول به مطالعه آزمایشگاهی رفتار درون صفحه‌ای ۶ نمونه قاب فولادی یک دهانه- یک طبقه بزرگ‌مقیاس (۵ نمونه با میانقاب آجری و یک نمونه قاب خالی) تحت بار جانبی چرخه‌ای پرداخته می‌شود. تعداد ۴ نمونه از قاب‌های مرکب مورد آزمایش دارای یک بازشوی میانی با ابعاد مختلف می‌باشند. هدف از این نمونه‌ها عبارتست از بررسی تاثیر مقاومت نسبی جرز به تیرپیشانی دیوار میانقاب در رفتار لرزه‌ای قاب‌های مرکب دارای بازشو. نتایج بدست آمده حاکی از این مطلب است که شکل‌پذیری یا تردی رفتار قاب‌های مرکب دارای بازشو به میزان قابل ملاحظه‌ای به نوع گسیختگی جرزهای دیوار میانقاب بستگی دارد. بطوری‌که در صورت وقوع گسیختگی‌های کنترل شونده توسط نیرو یا گسیختگی ترد در جرزها (مانند شکست کشش قطری یا شکست فشاری پنجه)، رفتار قاب مرکب دارای بازشو نسبت به رفتار قاب مرکب پر از شکل‌پذیری کمتری برخوردار خواهد بود.

در بخش دوم، یک مدل اجزاء مجزای دوبعدی با استفاده از نرم‌افزار UDEC برای تحلیل استاتیکی غیرخطی قاب‌های مرکب فولادی با و بدون بازشو تحت بارهای جانبی صفحه‌ای یکنوا توسعه داده شده است. این مدل پس از کالیبراسیون، تصدیق و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

دیگران، برای تحلیل نمونه‌های قاب‌های مرکب آزمایش شده در این تحقیق در مقیاس میکرو بکار برده می‌شود.

در بخش سوم، دو مدل ماکرو برای تحلیل غیرخطی استاتیکی (رانشی) قاب‌های فولادی مرکب دارای بازشو پیشنهاد می‌شود. مدل اول بر مبنای مدل سه قیدی ارائه شده در تحقیقات قبلی برای تحلیل میانقاب‌های پر می‌باشد که در اینجا برای میانقاب‌های دارای بازشوی میانی پنجره اصلاح شده است. اما مدل دوم بر مبنای مفهوم قاب معادل در تحلیل قاب‌های مصالح بنایی استوار است. در این مدل، میانقاب مصالح بنایی با یک قاب مصالح بنایی معادل همراه با مفاصل خمیری متمرکز و المان‌های تماسی جایگزین می‌گردد. برای توصیف رفتار غیرخطی میانقاب مصالح بنایی نیز، از مفهوم «*مکانیزم شکست جرزها*» استفاده می‌شود. این مدل به دلیل در نظرگرفتن رفتار غیرخطی مصالح مصرفی در قاب و میانقاب وشبیه‌سازی اندرکنش بین آنها و حجم پایین محاسبات، به سهولت در تحلیل غیرخطی قاب‌های مرکب چند طبقه و چند دهانه قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قاب فولادی؛ میانقاب آجری، بازشو، مدل‌سازی، روش اجزاء مجزا، روش قاب معادل، تحلیل استاتیکی غیرخطی (رانشی)، آزمایش

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تاثیر میانقاب در رفتار لرزه‌ای قاب‌های ساختمانی	۲
۱-۳- ضرورت‌ها	۳
۱-۳- هدف تحقیق	۴
۱-۳- ساختار تحقیق	۴
فصل دوم-مروری بر تحقیقات گذشته	۶
۲-۱- مقدمه	۶
۲-۲- تحقیقات انجام گرفته در خصوص قاب‌های مرکب	۷
۲-۳- نتیجه‌گیری	۳۲
فصل سوم- رفتار و مدل‌سازی قاب‌های مرکب	۳۳
۳-۱- مقدمه	۳۳
۳-۲- رفتار قاب‌های مرکب	۳۳
۳-۲-۱- مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب	۳۵
۳-۲-۲- محاسبه بارهای گسیختگی قاب‌های مرکب	۳۶
۳-۲-۳- محاسبه سختی قاب‌های مرکب	۴۰
۳-۲-۴- محاسبه سختی و مقاومت قاب‌های مرکب دارای بازشو	۴۱
۳-۳- مدل‌سازی و تحلیل سازه‌های مصالح بنایی و میانقاب‌ها	۴۳
۳-۳-۱- رفتار مصالح بنایی تحت تنش دومحوره	۴۳
۳-۳-۲- تکنیک‌های مدل‌سازی سازه‌های مصالح بنایی	۴۸
۳-۴- نتیجه‌گیری	۶۳
فصل چهارم- مقدمه‌ای بر روش اجزاء مجزا	۶۴
۴-۱- مقدمه	۶۴
۴-۲- روش اجزاء مجزا	۶۵
۴-۲-۱- توصیف تغییرشکل بلوک‌ها	۶۶
۴-۲-۲- توصیف برخورد و اندرکنش بین بلوک‌ها	۶۷
۴-۲-۳- شناسایی نقاط تماسی و به‌روز نمودن آنها	۶۹
۴-۲-۴- روش تحلیل سازه	۶۹

فصل پنجم- آزمایشات مصالح و قاب‌های مرکب فولادی ۷۶
۵-۱- مقدمه ۷۶
۵-۲- آزمایشات تعیین خواص مهندسی مصالح ۷۷
۵-۲-۱- تعیین خواص مهندسی آجر ۷۷
۵-۲-۲- تعیین مقاومت فشاری ملات ۸۱
۵-۲-۳- تعیین خواص مهندسی آجرکاری ۸۲
۵-۲-۴- تعیین خواص مهندسی فولاد ۹۷
۵-۳- ساخت نمونه‌های قاب‌های مرکب و ابزاربندی ۹۸
۵-۳-۱- نمونه‌های مورد مطالعه ۹۸
۵-۳-۲- طراحی جزئیات قاب فولادی ۱۰۰
۵-۳-۳- ابزاربندی نمونه‌ها ۱۰۲
۵-۳-۴- بارگذاری نمونه‌ها و نحوه آزمایش ۱۰۴
۵-۴- نتایج آزمایشات قاب‌های مرکب ۱۰۵
۵-۴-۱- توصیف رفتار نمونه‌ها تحت بار جانبی ۱۰۶
۵-۴-۲- مقایسه رفتار کلی نمونه‌ها ۱۲۲
۵-۴-۳- مقایسه رفتار موضعی نمونه‌ها ۱۲۸
۵-۵- نتیجه‌گیری ۱۳۲
فصل ششم- تحلیل قاب‌های مرکب به روش اجزاء مجزا ۱۳۵
۶-۱- مقدمه ۱۳۵
۶-۲- توسعه مدل اجزاء مجزا برای مصالح بنایی ۱۳۶
۶-۲-۱- محاسبه پارامترهای ارتجاعی ۱۳۷
۶-۲-۲- انتخاب معیار گسیختگی و محاسبه پارامترهای غیرارتجاعی ۱۳۸
۶-۳- اعتبارسنجی مدل اجزاء مجزای توسعه یافته ۱۴۲
۶-۳-۱- دیوارهای مصالح بنایی لورنسو و همکاران ۱۴۳
۶-۳-۲- دیوارهای مصالح بنایی تسنیمی ۱۵۰
۶-۳-۳- قاب‌های مرکب فولادی داو و سیا ۱۵۷
۶-۴- تحلیل قاب‌های مرکب آزمایش شده در تحقیق حاضر ۱۶۴
۶-۵- تأثیر بارثقلی در رفتار قاب‌های مرکب ۱۷۱
۶-۶- نتیجه‌گیری ۱۷۳

فصل هفتم- ارائه یک مدل ماکرو جهت تحلیل غیرخطی قاب‌های مرکب دارای بازشو ۱۷۴
۷-۱- مقدمه ۱۷۴
۷-۲- تحلیل قاب‌های مرکب دارای بازشو به روش مدل سه قیدی اصلاح شده ۱۷۵
۷-۳- مدل‌سازی دیوارهای مصالح بنایی دارای بازشو به روش قاب معادل ۱۷۹
۷-۴- مدل‌سازی قاب‌های مرکب فولادی دارای بازشو به روش قاب معادل ۱۸۳
۷-۴-۱- مدل هندسی قاب فولادی ۱۸۳
۷-۴-۲- مدل هندسی میانقاب ۱۸۳
۷-۴-۳- مدل مصالح قاب فولادی ۱۸۶
۷-۴-۴- مدل مصالح میانقاب ۱۸۷
۷-۵- مدل‌سازی نمونه‌های آزمایش شده به روش قاب معادل ۱۹۵
۷-۶- تحلیل حساسیت مدل قاب معادل پیشنهادی ۲۰۲
۷-۷- نتیجه‌گیری ۲۰۵
فصل هشتم- خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۲۰۷
۸-۱- مقدمه ۲۰۷
۸-۲- نتایج ۲۰۸
۸-۳- پیشنهادات ۲۱۰
مراجع ۲۱۲
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۲۱۹
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۲۲۱
پیوست-الف ۲۲۳
پیوست-ب ۲۲۸
پیوست-ج ۲۳۱
پیوست-د ۲۳۴
پیوست-ه ۲۳۷
پیوست-و ۲۳۹
پیوست-ز ۲۴۱
پیوست-ح ۲۴۴
پیوست-ط ۲۴۹

فهرست جداول

جدول ۵-۱: فهرست آزمایشات مصالح ۷۸
جدول ۵-۲: نتایج آزمایش تعیین ابعاد آجر ۷۸
جدول ۵-۳: نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری آجرهای مصرفی ۷۹
جدول ۵-۴: نتایج آزمایش تعیین مقاومت کششی آجرهای مصرفی ۸۰
جدول ۵-۵: نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری ملات مصرفی ۸۲
جدول ۵-۶: نتایج آزمایش فشاری آجرکاری در جهت عمود بر بندهای افقی ۸۵
جدول ۵-۷: نتایج آزمایش فشاری آجرکاری در جهت موازی با بندهای افقی ۸۶
جدول ۵-۸: نتایج آزمایش مقاومت برشی مصالح بنایی ۹۴
جدول ۵-۹: نتایج آزمایش تعیین مقاومت کششی آجرکاری ۹۶
جدول ۵-۱۰: خلاصه نتایج آزمایشات مصالح بنایی ۹۷
جدول ۵-۱۱: نتایج آزمایش کششی فولاد مصرفی در قاب‌ها ۹۸
جدول ۵-۱۲: مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش ۹۹
جدول ۵-۱۳: محاسبه خواص سازه‌ای نمونه‌ها در جهت مثبت ۱۲۳
جدول ۵-۱۴: محاسبه خواص سازه‌ای نمونه‌ها ۱۲۴
جدول ۵-۱۵: تخمین ظرفیت برشی حداکثر قاب‌های مرکب دارای بازشو ۱۲۸
جدول ۶-۱: مشخصات مکانیکی دیوارهای لورنسو و همکاران ۱۴۴
جدول ۶-۲: مقایسه ظرفیت برشی تخمینی دیوارهای لورنسو به روش‌های مختلف ۱۴۹
جدول ۶-۳: مقایسه ظرفیت برشی دیوارهای تسنیمی ۱۵۷
جدول ۶-۴: مشخصات قاب‌های مرکب فولادی داو و سیا ۱۵۸
جدول ۶-۵: مقایسه ظرفیت برشی قاب‌های مرکب داو و سیا ۱۶۰
جدول ۶-۶: مقادیر پارامترهای مورد نیاز در تحلیل میکروی قاب‌های مرکب ۱۶۵
جدول ۶-۷: مقایسه ظرفیت برشی قاب‌های مرکب آزمایش شده ۱۶۶
جدول ۶-۸: مقایسه ظرفیت برشی قاب‌های مرکب با و بدون در نظرگرفتن اثر بار ثقلی ۱۷۲
جدول ۷-۱: نتایج تحلیل پارامتریک قاب‌های مرکب به روش اجزاء مجزا ۱۷۶
جدول ۷-۲: مقایسه ظرفیت برشی نمونه‌های آزمایش شده در این تحقیق ۱۹۷

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: مدل قید قطری معادل ۹
شکل ۲-۲: مدل زارنیک برای تحلیل دینامیکی قاب‌های مرکب ۱۳
شکل ۲-۳: گام‌های طراحی لرزه‌ای یک قاب مرکب ۱۴
شکل ۲-۴: مدل مدن و همکاران برای تحلیل قاب‌های مرکب ۱۷
شکل ۲-۵: قاب مرکب آزمایش شده توسط مسلم و همکاران ۱۷
شکل ۲-۶ : مدل هیسترزیس پیشنهادی توسط مسلم و همکاران ۱۸
شکل ۲-۷ : تغییرات عرض قید قطری معادل در قاب‌های مرکب ۱۸
شکل ۲-۸: درصد جذب انرژی در اجزای مختلف یک قاب مرکب بتنی ۲۱
شکل ۲-۹: مودهای گسیختگی دیوار مصالح بنایی در مدل داو و همکاران ۲۲
شکل ۲-۱۰: شبیه‌سازی المان‌های قاب در مدل داو و همکاران ۲۳
شکل ۲-۱۱: شبیه‌سازی المان‌های میانقاب مصالح بنایی در مدل داو و همکاران ۲۳
شکل ۲-۱۲: شبیه‌سازی سطوح تماس قاب و میانقاب در مدل داو و همکاران ۲۴
شکل ۲-۱۳: مدل داو و همکاران برای تحلیل استاتیکی قاب‌های مرکب ۲۴
شکل۲-۱۴: (الف) منحنی هیسترزیس و(ب) منحنی پوش مقاومت پیشنهادی توسط کریسوستومو و همکاران ۲۵
شکل ۲-۱۵: مدل سه قیدی کریسوستومو و همکاران برای تحلیل دینامیکی قاب‌های مرکب ۲۶
شکل ۲-۱۶: مدل اجزاء محدود الدخاخنی و همکاران برای تحلیل قاب‌های مرکب ۲۹
شکل ۲-۱۷: کانتور تنش‌های اصلی مدل اجزاء محدود الدخاخنی و همکاران ۲۹
شکل ۲-۱۸: مدل سه قیدی الدخاخنی و همکاران برای تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب‌های مرکب ۲۹
شکل ۲-۱۹: رابطه نیرو-تغییر شکل مصالح بنایی در مدل سه قیدی الدخاخنی و همکاران... ۳۰
شکل ۲-۲۰: منحنی ظرفیت بدست آمده برای یک قاب مرکب فولادی به روش الدخاخنی... ۳۱
شکل ۳-۱: مقایسه رفتار قاب خالی و قاب مرکب ۳۴
شکل ۳-۲: مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب: (الف) مود شکست برشی لغزشی؛ (ب) مود شکست گوشه؛ (ج) مود ترک قطری؛ (د) مود شکست فشاری قطری؛ (ه) مود گسیختگی قاب ۳۶
شکل ۳-۳: تنش‌ها در مرکز میانقاب به ضخامت t ۳۷

شکل ۳-۴: مدل قاب با مهاربند زانویی برای میانقاب‌هایی که در حالت شکست برشی لغزشی گسیخته می‌شوند ۳۸
شکل ۳-۵: فرم تغییر شکل‌یافته قاب مرکب ۴۰
شکل ۳-۶: قید قطری معادل ۴۱
شکل ۳-۷: قیدهای فشاری ممکن برای تحلیل میانقاب‌های دارای بازشو ۴۳
شکل۳-۸: المان مصالح بنایی تحت تنش دو محوره ۴۴
شکل۳-۹: پوش گسیختگی مصالح بنایی تحت تنش دو محوره طبق تئوری حمید و درایسدل ۴۵
شکل۳-۱۰: معیار گسیختگی گانز برای مصالح بنایی غیرمسلح تحت تنش دو محوره ۴۷
شکل۳-۱۱: مقاومت فشاری مصالح بنایی غیرمسلح بصورت تابعی از زاویهٔ α ۴۷
شکل۳-۱۲: تکنیک‌های مدل‌سازی سازه‌های مصالح بنایی؛ (الف) مدل‌سازی میکروی دقیق؛ (ب) مدل‌سازی میکروی ساده شده؛ (ج) مدل‌سازی ماکرو ۴۹
شکل۳-۱۳: توزیع خسارت در یک دیوار آجری؛ (الف) به روش اجزاء محدود؛ (ب) به روش تحلیل بار افزون قاب معادل ۵۰
شکل۳-۱۴: هندسه و توزیع نیروهای داخلی یک جرز مصالح بنایی و مدل خرپایی نظیر آن.. ۵۱
شکل۳-۱۵: مدل خرپایی پیشنهادی روکا برای تحلیل دیوارهای مصالح بنایی ۵۲
شکل ۳-۱۶: رفتار قاب‌های مرکب: (الف) جدایی میانقاب به دو ناحیه قطری؛ (ب) دیاگرام لنگر خمشی برای دهانه‌های مختلف در قاب‌های مرکب چند طبقه ۵۳
شکل ۳-۱۷: مدل سه قیدی الدخاخنی و همکاران برای تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب‌های مرکب پر ۵۴
شکل ۳-۱۸: رفتار مدل مصالح اتصالات ۵۶
شکل ۳-۱۹: مدل ارتوتروپیک مصالح بنایی ۵۷
شکل ۳-۲۰: رابطه تقریب سه خطی ساده شده: (الف) رابطه نیرو-تغییرشکل نوعی برای قیدهای فشاری؛ (ب) منحنی تنش-کرنش مصالح بنایی ۵۸
شکل ۳-۲۱: رابطه تقریب چهار خطی ساده شده: (الف) رابطه نیرو-تغییرشکل نوعی برای قیدهای فشاری؛ (ب) منحنی تنش-کرنش مصالح بنایی ۵۸
شکل۳-۲۲: مدل اجزاء محدود پیوسته یک دیوار مصالح بنایی ۵۹
شکل۳-۲۳: مدل اجزاء محدود پیوسته یک میانقاب مصالح بنایی ۶۰
شکل۳-۲۴: تحلیل یک دیوار مصالح بنایی به روش اجزاء محدود ناپیوسته ۶۱

شکل۳-۲۵: تحلیل یک میانقاب مصالح بنایی به روش اجزاء محدود ناپیوسته..... ۶۱
شکل۳-۲۶: تحلیل سازه‌های مصالح بنایی به روش اجزاء مجزا؛ (الف) یک دیوار دو طبقه با بازشو؛ (ب) یک پل قوسی..... ۶۲
شکل۳-۲۷: تحلیل یک دیوار مصالح بنایی دارای بازشو به روش اجزاء مجزا..... ۶۳
شکل۴-۱: نحوه تماس بین دو بلوک صلب..... ۶۷
شکل۴-۲: نحوه تماس بین دو بلوک تغییرشکل‌پذیر..... ۶۸
شکل۴-۳: نحوه تعریف گوشه‌های گرد در برنامهٔ UDEC ۶۸
شکل۴-۴: قوانین ساختاری رفتار نرمال و برشی درزه‌ها..... ۷۱
شکل۴-۵: چرخه محاسبات در روش اجزاء مجزا..... ۷۲
شکل ۵-۱: آزمایش تعیین مدول گسیختگی آجر..... ۸۰
شکل ۵-۲: نحوه برپایی سامانه آزمایش فشاری ملات و چگونگی شکست آن..... ۸۱
شکل۵-۳: منحنی‌های تنش-کرنش مصالح بنایی؛ (الف) برای چهار نوع آجر؛ (ب) منحنی‌های بی‌بعد تنش-کرنش..... ۸۳
شکل ۵-۴: نمونه‌ها و نحوه برپایی سامانه آزمایش فشاری آجرکاری در جهت قائم..... ۸۴
شکل ۵-۵: نحوه بارگذاری آزمایش فشاری آجرکاری در جهت افقی و چگونگی شکست آن... ۸۵
شکل۵-۶: معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۸۷
شکل۵-۷: اتساع درزه‌های مصالح بنایی با نسبت $\Delta v/\Delta u$..... ۸۷
شکل۵-۸: اتساع ترک‌ها در میانقاب‌های مصالح بنایی..... ۸۸
شکل۵-۹: مودهای گسیختگی مصالح بنایی در برش توام با فشار طبق تئوری مان- مولر..... ۸۹
شکل۵-۱۰: روش‌های مختلف آزمایشگاهی برای تعیین مقاومت برشی مصالح بنایی؛ (الف) آزمایش پلیوم؛ (ب) آزمایش هوفمن؛ (ج) آزمایش نمونه Triplet؛ (د) آزمایش خلف؛ (ه) آزمایش سطح شیبدار..... ۹۱
شکل۵-۱۱: تنش‌های اعمالی به بخش‌های مختلف یک میانقاب مصالح بنایی..... ۹۲
شکل۵-۱۲: آزمایش نمونهٔ Triplet اصلاح شده..... ۹۲
شکل ۵-۱۳: نمونه‌های Triplet اصلاح شده برای آزمایش برشی..... ۹۲
شکل ۵-۱۴: نحوهٔ بارگذاری و برپایی سامانه آزمایش نمونه‌های Triplet اصلاح شده..... ۹۳
شکل ۵-۱۵: مقادیر تنش‌های نرمال و برشی نمونه‌های برشی سری اول در آستانه لغزش..... ۹۳
شکل ۵-۱۶: مقادیر تنش‌های نرمال و برشی نمونه‌های برشی سری دوم در آستانه لغزش..... ۹۳
شکل ۵-۱۷: مقادیر تنش‌های نرمال و برشی نمونه‌های برشی سری سوم در آستانه لغزش... ۹۴

شکل ۵-۱۸: نحوه شکست نمونه‌های برشی ۹۴
شکل ۵-۱۹: تغییرات تنش عمود بر درزه‌ها بر حسب جابجایی لغزشی در نمونه‌های برشی سری اول ۹۵
شکل ۵-۲۰: آزمایش تعیین مقاومت کششی آجرکاری ۹۶
شکل ۵-۲۱: نحوه برپایی سامانه آزمایش مقاومت کششی آجرکاری و نوع گسیختگی نمونه‌ها ۹۷
شکل ۵-۲۲: هندسه و ابعاد نمونه‌های میانقاب دارای بازشو (بر حسب میلی‌متر) ۹۹
شکل ۵-۲۳: نحوه برپایی سامانه آزمایش نمونه‌های قاب مرکب ۱۰۰
شکل ۵-۲۴: تعدادی از نمونه‌های قاب مرکب در حین ساخت ۱۰۱
شکل ۵-۲۵: جزئیات اتصال تیر به ستون (دیتیل B) ۱۰۱
شکل ۵-۲۶: جزئیات اتصال پای ستون (مقطع A-A) ۱۰۲
شکل ۵-۲۷: محل نصب و شماره تغییرمکان سنج‌ها بر روی نمونه‌ها؛ (الف) نمونه SW؛ (ب) نمونه‌های PW1، PW2 و PW3؛ (پ) نمونه PW4 ..... ۱۰۳
شکل ۵-۲۸: محل نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی قاب فولادی ۱۰۳
شکل ۵-۲۹: الگوی سیکل‌های جابجایی اعمالی به نمونه‌ها ۱۰۵
شکل ۵-۳۰: منحنی‌های هیسترزیس نمونه BF ۱۰۶
شکل ۵-۳۱: منحنی‌های هیسترزیس نمونه SW ۱۰۷
شکل ۵-۳۲: الگوهای ترک خوردگی نمونه SW ۱۰۷
شکل ۵-۳۳: قید قطری غیرمنشوری ایجاد شده در نمونه SW ۱۰۸
شکل ۵-۳۴: خرابی‌های ایجاد شده در نمونه SW؛ (الف) ترک‌های مورب قطری، (ب) کمانش موضعی غیرارتجاعی پای ستون، (ج) ترک خمشی ناشی از تورم برشی، (د) خردشدگی کنج فشاری میانقاب و تشکیل مفصل خمیری در بالای ستون ۱۰۹
شکل ۵-۳۵: منحنی‌های هیسترزیس نمونه PW1 ..... ۱۱۱
شکل ۵-۳۶: الگوهای ترک خوردگی نمونه PW1 ..... ۱۱۱
شکل ۵-۳۷ : قیدهای فشاری ممکن برای تحلیل میانقاب‌های دارای بازشو ۱۱۲
شکل ۵-۳۸: نتایج آزمایش نمونه PW1؛ (الف) ترک‌های ایجاد شده در سطح دیوار میانقاب ، (ب)خسارت وارده به جرزهای مجاور بازشو، (ج) چرخش جرز سمت چپ حول پاشنه خود، (د) خیز ماندگار تیر فوقانی در اثر اندرکنش قاب و میانقاب ۱۱۳
شکل ۵-۳۹: منحنی‌های هیسترزیس نمونه PW2 ..... ۱۱۴

شکل ۵-۴۰: الگوهای ترک خوردگی نمونه PW2 ..... ۱۱۴
شکل ۵-۴۱: نتایج آزمایش نمونه PW2؛ (الف) ترک افقی ایجاد شده در زیر بازشو، (ب) ترک‌های ایجاد شده در سیکل دوم، (ج) خردشدگی آجر واقع در زیر کنج بازشو، (د) ترک‌های ایجاد شده در سیکل پنجم ۱۱۵
شکل ۵-۴۲: منحنی‌های هیسترزیس نمونه PW3 ..... ۱۱۷
شکل ۵-۴۳: الگوهای ترک خوردگی نمونه PW3 ..... ۱۱۷
شکل ۵-۴۴: نتایج آزمایش نمونه PW3؛ (الف) ترک‌های ایجاد شده در سیکل سوم به همراه دستک‌های فشاری فعال شده، (ب) ترک خمشی ایجاد شده در زیر جرز سمت چپ، (ج) ترک‌های تحتانی ایجاد شده در سیکل ششم، (د) وضعیت تغییرشکل یافته نمونه در سیکل هفتم ۱۱۸
شکل ۵-۴۵: منحنی‌های هیسترزیس نمونه PW4 ..... ۱۱۹
شکل ۵-۴۶: الگوهای ترک خوردگی نمونه PW4 ..... ۱۱۹
شکل ۵-۴۷: نتایج آزمایش نمونه PW4؛ (الف) ترک ایجاد شده در پنجهٔ جرز سمت چپ ، (ب) ترک‌های ایجاد شده در سیکل چهارم و دستک‌های فشاری فعال شده ، (ج) جدایی جرز سمت چپ از ستون مجاور، (د) وضعیت تغییرشکل یافته نمونه در سیکل نهم ۱۲۱
شکل ۵-۴۸: پوش منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌ها ۱۲۲
شکل ۵-۴۹: مقادیر سختی اولیه نمونه‌ها ۱۲۳
شکل ۵-۵۰: مقادیر بار نهایی نمونه‌ها ۱۲۳
شکل ۵-۵۱: انرژی تجمعی مستهلک شده توسط نمونه‌ها ۱۲۵
شکل ۵-۵۲: مقایسه منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌ها ۱۲۶
شکل ۵-۵۳: آهنگ زوال سختی نمونه‌ها بر حسب جابجایی ۱۲۷
شکل ۵-۵۴: تغییرات لنگرخمشی ستون سمت راست نمونهٔ SW در مقاطع G، H و I ۱۲۹
شکل ۵-۵۵: منحنی تغییرات لنگرخمشی قاب فولادی در نمونه‌های دارای بازشو ۱۳۰
شکل ۵-۵۶: تغییرات نیروی محوری ستون سمت راست نمونهٔ SW در مقاطع G، H و I ۱۳۱
شکل ۵-۵۷: تغییرات جابجایی نسبی نقاط مختلف نمونهٔ PW2 بر حسب جابجایی اعمالی ۱۳۲
شکل ۵-۵۸: تغییرات طول اقطار بازشوی نمونهٔ PW2 بر حسب جابجایی اعمالی ۱۳۳
شکل۶-۱: مدل‌سازی میکروی مصالح بنایی؛ (الف) مدل‌سازی میکروی دقیق؛ (ب) مدل‌سازی میکروی ساده شده ۱۳۷
شکل۶-۲: رفتار تنش-کرنش مصالح ارتجاعی-خمیری، ارتجاعی-ترد و ارتجاعی-نرم‌شونده ۱۳۹

شکل۶-۳: محاسبه خواص آجر بر مبنای معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۱۴۰
شکل۶-۴: نرم‌شوندگی مقاومتی مصالح بنایی؛ (الف) مقاومت کششی؛ (ب) مقاومت چسبندگی..... ۱۴۱
شکل ۶-۵: هندسه و ابعاد دیوارهای لورنسو و همکاران و نحوه بارگذاری..... ۱۴۳
شکل ۶-۶: مقایسه ظرفیت برشی دیوارها به روش لانگ-باخمن با نتایج آزمایشگاهی لورنسو ۱۴۴
شکل ۶-۷: نحوه گسیختگی نمونه‌های SW.30 در حین آزمایش..... ۱۴۵
شکل ۶-۸: هندسه مدل اجزاء مجزا نمونه SW.30..... ۱۴۶
شکل ۶-۹: منحنی‌های نیرو-تغییرمکان دیوار SW.30..... ۱۴۶
شکل ۶-۱۰: هندسه تغییرشکل یافته دیوار SW.30 (ضریب بزرگنمایی= ۳)..... ۱۴۷
شکل ۶-۱۱: بردارهای جابجایی دیوار SW.30 به ازای تغییرمکان جانبی افقی ۱۸ میلی‌متر ۱۴۷
شکل ۶-۱۲: کانتور جابجایی افقی دیوار SW.30 (متر)..... ۱۴۷
شکل ۶-۱۳: نحوه گسیختگی نمونه‌های SW.100 در حین آزمایش..... ۱۴۸
شکل ۶-۱۴: منحنی‌های نیرو-تغییرمکان دیوار SW.100..... ۱۴۸
شکل ۶-۱۵: هندسه تغییرشکل یافته دیوار SW.100 (ضریب بزرگنمایی=۳)..... ۱۴۹
شکل ۶-۱۶: کانتور جابجایی افقی دیوار SW.100 (متر)..... ۱۵۰
شکل ۶-۱۷: تانسور تنش‌های اصلی دیوار SW.100 (پاسکال)..... ۱۵۰
شکل ۶-۱۸: هندسه و ابعاد دیوارها و نحوه بارگذاری (بر حسب سانتی‌متر) ۱۵۱
شکل ۶-۱۹: منحنی‌های نیرو-جابجایی دیوارها ۱۵۳
شکل ۶-۲۰: هندسه تغییرشکل‌یافته دیوار UBW (ضریب بزرگنمایی=۵)..... ۱۵۴
شکل۶-۲۱: نتاج تحلیل نمونه UBW؛ (الف) ترک‌ها؛ (ب) تانسور تنش‌های اصلی (پاسکال)؛ (ج) کانتور جابجایی افقی (متر)..... ۱۵۵
شکل۶-۲۲: نتاج تحلیل نمونه CBW؛ (الف) هندسه تغییرشکل‌یافته؛ (ب) الگوی ترک‌خوردگی..... ۱۵۶
شکل ۶-۲۳: کانتور جابجایی افقی نمونه CBW (متر)..... ۱۵۶
شکل ۶-۲۴: نحوه گسیختگی المان‌های نمونه CBW..... ۱۵۶
شکل ۶-۲۵: نحوه برپایی سیستم آزمایش و ابعاد عمومی قاب‌های مرکب داو و سیا..... ۱۵۸
شکل ۶-۲۶: منحنی‌های نیرو-جابجایی قاب‌های مرکب داو و سیا..... ۱۵۹
شکل۶-۲۷: نتاج تحلیل نمونه WC3 به ازای تغییرمکان جانبی ۳۰ میلی‌متر؛ (الف) بردارهای جابجایی؛ (ب) نقاط گسیخته شده و الگوی ترک‌خوردگی درزه‌ها؛ (ج) هندسه ۱۶۱

تغییرشکل‌یافته (ضریب بزرگنمایی=۵)؛ (د) کانتور جابجایی افقی (متر).....
شکل۶-۲۸: نتـاج تحلیـل نمونـه WC6 بـه ازای تغییرمکـان جـانبی ۳۰ میلـی‌متـر؛ (الـف) بردارهای جابجایی؛ (ب) نقاط گسیخته شده و الگوی تـرک‌خـوردگی درزه‌هـا؛ (ج) هندسـه تغییرشکل‌یافته (ضریب بزرگنمایی=۱۰)؛ (د) کانتور جابجایی افقی (متر)..... ۱۶۲
شکل ۶-۲۹: تاثیر قاب چارچوب بازشو در ظرفیت باربری نمونه WC3..... ۱۶۲
شکل۶-۳۰: نحوه توزیع تنش‌های اصلی در قاب محیطی نمونه WC6 با چارچوب درب..... ۱۶۳
شکل۶-۳۱: نتاج تحلیل نمونه WC3 با چارچوب درب به ازای تغییرمکان جانبی ۲۳ میلی‌متر؛ (الف) تانسور تنش‌های اصلی میانقاب؛ (ب) نقاط گسیخته شده و الگوی ترک‌خوردگی درزه‌ها؛ (ج) هندسه تغییرشکل‌یافته (ضریب بزرگنمایی=۱۰)؛ (د) کانتور جابجایی افقی (متر)؛ (ه) لنگر خمشی قاب چارچوب؛ (و) تانسور کرنش‌های محدود اصلی..... ۱۶۴
شکل ۶-۳۲: منحنی‌های نیرو-جابجایی قاب‌های مرکب آزمایش شده..... ۱۶۵
شکل۶-۳۳: بردارهای جابجایی نمونه PW2..... ۱۶۷
شکل۶-۳۴: درزه‌های فاقد نیروهای تماسی قائم یا برشی در نمونه PW2..... ۱۶۷
شکل۶-۳۵: میزان بازشدگی ترک‌ها در نمونه PW2 (متر)..... ۱۶۸
شکل۶-۳۶: تانسور تنش‌های اصلی در میانقاب نمونه PW2 (پاسکال)..... ۱۶۹
شکل۶-۳۷: نقاط گسیختگی نمونه PW2..... ۱۶۹
شکل۶-۳۸: کانتور جابجایی‌های افقی نمونه PW2 (متر)..... ۱۷۰
شکل۶-۳۹: کانتور جابجایی‌های قائم نمونه PW2 (متر)..... ۱۷۱
شکل۶-۴۰: هندسه تغییرشکل‌یافته نمونه PW2 (ضریب بزرگنمایی=۱۰)..... ۱۷۱
شکل ۶-۴۱: مقایسهٔ منحنی‌های نیرو-جابجایی قاب‌های مرکب با و بدون در نظرگرفتن اثر بار ثقلی..... ۱۷۳
شکل ۷-۱: منحنی‌های نیرو-جابجایی قاب‌های مرکب حاصل از تحلیل اجزاء مجزا..... ۱۷۶
شکل ۷-۲: نحوهٔ تغییرات ضریب اصلاح بر حسب پارامتر سطح نسبی بازشو..... ۱۷۸
شکل ۷-۳: هندسه قرارگیری قیدهای فشاری و موقعیت مفاصل خمیری اعضاء..... ۱۷۹
شکل ۷-۴: منحنی‌های نیرو-جابجایی قاب‌های مرکب به روش مدل سه قیدی اصلاح شده... ۱۷۹
شکل ۷-۵: مدل‌سازی یک دیوار مصالح بنایی به روش قاب معادل..... ۱۸۰
شکل ۷-۶: فرضیات قاب معادل پیشنهادی مگنز؛ (الف) چرخش اجزای دیوار در اثر خمش و برش؛ (ب) منحنی رفتاری جرز مصالح بنایی تحت برش..... ۱۸۱
شکل ۷-۷: مدل‌سازی قاب فولادی با میانقاب دارای بازشو به روش قاب معادل..... ۱۸۴

شکل ۷-۸: قیدهای فشاری مشاهده شده در آزمایش میانقاب‌ها در لحظه بار اوج (حالت حدی)..... ۱۸۵
شکل ۷-۹: نوع و محل تشکلیل مفاصل خمیری در قاب مرکب معادل..... ۱۸۶
شکل ۷-۱۰: تقریب سه‌خطی منحنی رفتاری مفاصل برشی جرزها..... ۱۹۰
شکل ۷-۱۱: دیاگرام آزاد یک جرز مصالح بنایی..... ۱۹۱
شکل ۷-۱۲: توزیع نیروی برشی و لنگرخمشی در یک جرز مصالح بنایی ناشی از اعمال بار واحد و نیروهای واقعی..... ۱۹۱
شکل ۷-۱۳: نحوه تغییرات نسبت h_0/h_e یا h_0/h_p بر حسب نسبت سختی خمشی اعضاء β..... ۱۹۲
شکل ۷-۱۴: منحنی ظرفیت نمونه BF به روش قاب معادل..... ۱۹۶
شکل ۷-۱۵: مقایسه منحنی‌های ظرفیت حاصل از تحلیل رانشی نمونه‌ها به روش قاب معادل و آزمایش..... ۱۹۶
شکل ۷-۱۶: هندسه تغییرشکل یافته نمونه PW1 در گام؛ (الف) دوم؛ (ب) آخر..... ۱۹۸
شکل ۷-۱۷: نتایج تحلیل رانشی نمونه SW با استفاده از مدل سه‌قیدی الدخاخنی و نتایج آزمایش..... ۱۹۹
شکل ۷-۱۸: نتایج تحلیل رانشی نمونه‌های آزمایشگاهی داو وسیا به روش قاب معادل..... ۲۰۰
شکل ۷-۱۹: منحنی رفتاری اصلاح شدهٔ مفاصل برشی جرزهای بلوک بتنی با در نظرگرفتن ترک‌خورگی..... ۲۰۰
شکل ۷-۲۰: توزیع تنش در مقطع جرز در لحظه شروع ترک‌خوردگی..... ۲۰۰
شکل ۷-۲۱: تحلیل رانشی یک قاب مرکب فولادی دو دهانه با تیر تحتانی به روش قاب معادل (نمونهٔ S2-SYM آزمایش شده توسط مسلم و همکاران)..... ۲۰۱
شکل ۷-۲۲: هندسه مدل قاب معادل نمونهٔ S2-SYM قبل و پس از بارگذاری جانبی..... ۲۰۲
شکل ۷-۲۳: دیاگرام توزیع لنگرخمشی؛ (الف) نمونهٔ قاب خالی S2 ؛ (ب) نمونهٔ قاب مرکب S2-SYM به ازای جابجایی جانبی ۳/۵ میلی‌متر؛ (ج) نمونهٔ قاب مرکب S2-SYM به ازای جابجایی جانبی ۲۲ میلی‌متر..... ۲۰۳
شکل ۷-۲۴: نتایج تحلیل حساسیت مدل برای نمونه PW3..... ۲۰۴
شکل ۷-۲۵: نتایج تحلیل نمونه‌ها قبل و پس از حذف المان‌های ۱، ۳ و۴..... ۲۰۴