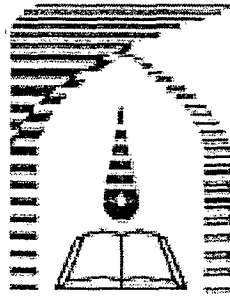


۱۵۹۷  
عکاسی



۱۱۲۲۲

۸۷,۱,۱,۰,۸ ۵۷۳  
۸۸,۱,۳,۱



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

# تحلیل حساسیت خسارت لوزه‌های درزه‌های انقباض سد بتنی قوسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران  
گرایش سازه‌های هیدرولیکی

محمد قیاسیان

استاد راهنما  
دکتر محمد تقی احمدی

۱۳۸۸ / ۱۱ / ۱۳

دی ۱۳۸۷

۱۱۲۳۲۰



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد قیاسیان پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل حساسیت خسارت لرزه ای درزهای انقباض سد بتنی قوسی در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۴ 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 های هیدرولیکی پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران                      | نام و نام خانوادگی      | رتبه علمی | امضا |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|------|
| استاد راهنما                         | دکتر محمد تقی احمدی     | استاد     |      |
| استاد ناظر                           | دکتر مسعود سلطانی محمدی | استادیار  |      |
| استاد ناظر                           | دکتر محمود یزدانی       | استادیار  |      |
| استاد ناظر                           | دکتر عبدالرحیم جلالی    | استادیار  |      |
| مدیر گروه<br>(یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر محمود یزدانی       | استادیار  |      |

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما:  
۱۳۸۷/۱۱/۵

## 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 پایان نامه، 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 بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامهها 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 پایان نامه / رساله نیز منتشر می شود 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 می شود. **ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی 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 ۱۳۸۴/۴/۲۵ 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: محمد قیاسیان

امضاء

قیاسیان

### 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 نگارنده در رشته مهندسی عمران است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد تقی 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 رابه 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 محمد قیاسیان دانشجوی رشته مهندسی عمران گرایش سازه هیدرولیکی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد قیاسیان

تاریخ و امضا:

قیاسیان  
۸۷، ۱۰، ۲۱

## چکیده

سد به دلیل وجود ساختگاهی بر روی سنگ و هم‌چنین همراه داشتن مخزن و اثرات متقابل این سیستم‌ها بر روی هم، دارای ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های مخصوص به خود است. مطالعات گذشته در هنگام بررسی رفتار سازه سد بر اثر زلزله، دلالت بر بازشدگی و تغییر شکل‌های موضعی غیرخطی درزهای انقباض و تغییر شکل‌های غیرخطی در توده بتن داشته و این عملکرد، کاهش تنش‌های کششی در جهت قوس و باز توزیع نیروها را باعث می‌شود. پس از باز شدن درزها، حداکثر تنش اصلی کششی در سد کاهش و تنش‌های حداکثر فشاری و کششی در جهت طره افزایش یابد.

در این پایان نامه از متد مناسب برای تحلیل رفتار غیر خطی درزهای انقباض استفاده شده است. برای مدل سازی رفتار غیر خطی درز سد دو مدل درز الاستوپلاستیک<sup>1</sup> (EPJM) و مدل درز گسسته ساده شده<sup>2</sup> (SDCJ) مورد استفاده قرار گرفته است. اندرکنش دینامیکی سد و مخزن با احتساب تراکم پذیری سیال و شرایط مرزی مناسب با روش المان‌های محدود به نحو مناسبی مدل شده است. مشاهدات حاکی از آن است که دو روش SDCJ و EPJM علی‌رغم تغییراتی که در روند حل ایجاد می‌کنند، در پاسخ‌های بیشینه سد یکسان عمل کرده و تفاوت چندانی بین دو روش حل وجود ندارد.

این گزارش مسائل مربوط به اثرات زلزله بر روی درزهای انقباض و تنش‌ها و تغییر مکان‌های سد را مورد بررسی قرار داده است. در این پایان نامه سعی شده تمامی پارامترهای موثر بر رفتار سد، خصوصاً پارامترهای اصلی درز تعیین شده و بر اساس آن، مطالعات پارامتریک بر روی سد صورت گیرد. با استفاده از نتایج گرفته شده، پارامترهای مهم موثر بر پاسخ سد و درز انقباض مشخص گردیده و محدوده‌ی تغییرات هر یک تعیین شده است. از جمله مهم‌ترین پارامترهای موثر می‌توان به چسبندگی درز اشاره کرد که افزایش آن می‌تواند پاسخ سد را به شدت کاهش داده و رفتار یک‌پارچه سد را باعث شود. پارامتر مهم دیگر مقاومت کششی درز بوده که بر خلاف انتظار، افزایش آن باعث ایجاد شکست‌های برشی در درز و جابجایی‌های بزرگ سد شده و پاسخ سد را افزایش می‌دهد و یا ضریب اصطکاک درز تأثیری در پاسخ سد نخواهد گذاشت. هم‌چنین بررسی کاملی بر روی نقش زمین لرزه وارده به سد از حیث شدت، امتداد اعمالی و محتوای طیفی آن انجام شده است. اثرکلید برشی

<sup>1</sup> Elasto Plastic Joint Model

<sup>2</sup> Simplified Discrete Crack Model

مورد بررسی قرار گرفته و نقش آن در جلوگیری از جابجایی‌های نسبی مفاسی درز قبل از شکست برشی مورد تحلیل قرار گرفته است. ضمن آن که اثر این پارامترها بر روی عرض دره نیز بررسی شده است.

پس از بررسی کامل پارامترها، اصلاحاتی در روند محاسبات به وجود آمده تا نحوه‌ی محاسبه‌ی پارامترها با دقت بیشتری انجام شده و وابستگی متغیرها به یکدیگر لحاظ شود. هم‌چنین الگوریتم حل به مدل فیزیکی شباهت بیشتری پیدا کند. این مدل با نام SDCJ اصلاحی در مطالعات پارامتریک شرکت کرده و پاسخ‌های گرفته شده از این مدل با مدل SDCJ مقایسه شده است. یکی از مهم‌ترین مزایای این مدل، جدا کردن چسبندگی ناشی از کلید برشی و چسبندگی تزیق است که در این حالت به علت ایجاد شکست کششی، در چسبندگی‌های زیاد درز اختلاف زیادی در پاسخ‌ها ایجاد می‌شود.

بر این اساس در آنالیز سد باید به طیف زلزله و امتداد اعمالی، چسبندگی درز، وجود کلید برشی با ابعاد مناسب و قرارگیری مناسب درزها در مدل‌سازی و هم‌چنین به چسبندگی درز، اثرات کلید برشی و نقش آن در تامین چسبندگی و اثرات منفی مقاومت کششی درز در طراحی دقت کافی به عمل آید.

**کلمات کلیدی: سد بتنی قوسی، درز انقباض، تحلیل پارامتریک، ترک گسسته، تحلیل دینامیکی، شکست برشی، لغزش درز، بازشدگی درز**

## فهرست مطالب

### فصل اول

#### مقدمه

- ۱-۱ کلیات ..... ۱
- ۱-۲ درز انقباض ..... ۲
- ۱-۳ موضوع تحقیق ..... ۴
- ۱-۳-۱ اهمیت موضوع ..... ۴
- ۱-۳-۲ روش تحقیق ..... ۴
- ۱-۴ ساختار پایان نامه ..... ۵

### فصل دوم

#### مروری بر آخرین کارهای انجام شده

- ۲-۱ روش‌های مختلف پیشنهادی برای مطالعه‌ی سد و درز ..... ۷
- ۲-۲ مطالعات پارامتریک انجام شده : ..... ۲۳
- ۲-۲-۱ خواص فیزیکی درز انقباض ..... ۲۳
- ۲-۲-۱-۱ بررسی پارامترهای چسبندگی و مقاومت درز در نوع پاسخ: ..... ۲۳
- ۲-۲-۱-۲ اثرات لغزش درز بر پاسخ سد: ..... ۲۴
- ۲-۲-۲ بررسی شرایط مخزن ..... ۲۴
- ۲-۲-۲-۱ ترازهای مختلف آب و تاثیر آن بر پاسخ سد: ..... ۲۴
- ۲-۲-۳ بررسی متغیرهای عددی مدل سازی سیستم ..... ۲۵
- ۲-۲-۳-۱ اثرات ابعاد المان و تعداد درزها در پاسخ سد: ..... ۲۵
- ۲-۲-۳-۲ انتخاب گام زمانی مناسب در همگرایی ..... ۲۵
- ۲-۲-۴ بررسی پارامترهای طراحی درز: ..... ۲۵



## فصل سوم

### مدل سازی سیستم سد و مخزن تحت بار دینامیکی

- ۳-۱- مقدمه..... ۲۷
- ۳-۲- پارامترهای موثر در مدل سازی..... ۲۸
- ۳-۲-۱- المان درز..... ۲۸
- ۳-۲-۱-۱- مدل سازی المان درز گسسته با ضخامت صفر..... ۲۹
- ۳-۲-۲- پارامتر جریمه..... ۲۹
- ۳-۲-۳- معیار تسلیم..... ۳۱
- ۳-۲-۴- نحوه باربرداری..... ۳۲
- ۳-۳- مدل درز استفاده شده در مدل سازی سیستم..... ۳۳
- ۳-۳-۱- کلیات..... ۳۳
- ۳-۳-۲- مدل ترک گسسته ساده شده (SDCJ)..... ۳۵
- ۳-۳-۳- مدل درز الاستوپلاستیک..... ۳۶
- ۳-۳-۴- الگوریتم محاسبه برای مدل های ارایه شده..... ۳۸
- ۳-۳-۵- مدل های درز در برنامه های تجاری..... ۴۰
- ۳-۴- محاسبه فشار هیدرودینامیک مخزن بر سد تحت اثر زلزله..... ۴۰
- ۳-۴-۱- شرایط مرزی بالا دست مخزن یا شرط مرزی انتشاری ( $S_1$ )..... ۴۱
- ۳-۴-۲- شرط مرزی در کف مخزن ( $S_2$ )..... ۴۲
- ۳-۴-۳- شرط مرزی سطح آزاد مخزن ( $S_3$ )..... ۴۲
- ۳-۴-۴- شرط مرزی اندرکنش بین سد و مخزن ( $S_4$ )..... ۴۲
- ۳-۴-۵- حل دستگاه معادلات درگیر حاکم بر سد و مخزن :..... ۴۲
- ۳-۴-۶- مدل سازی فشار آب منفذی و فشاربرکنش در درز و ترک های باز حین زلزله..... ۴۳
- ۳-۵- الگوریتم عددی برای حل معادلات غیر خطی در تحلیل به روش اجزاء محدود..... ۴۵
- ۳-۵-۱- حل معادلات تعادل استاتیکی:..... ۴۵
- ۳-۵-۲- حل معادلات تعادل دینامیکی..... ۴۸
- ۳-۶- کنترل همگرایی در معادلات سیستم..... ۴۹
- ۳-۷- مثال های عددی از کاربرد مدل درز گسسته ساده شده در تحلیل غیر خطی سیستم های شامل درز..... ۴۹
- ۳-۷-۱- تیر طره ای با تکیه گاه مفصل برشی..... ۵۰
- ۳-۷-۲- تیر طره ای تحت فشار یکپوخت در انتها..... ۵۱

## فصل چهارم

### مطالعه پارامتریک خسارت لرزه‌ای درز انقباض

|     |  |
|-----|--|
| ۵۴  | ۱-۴- مقدمه   |
| ۵۴  | ۲-۴- مشخصات سدهای مورد مطالعه  |
| ۵۴  | ۴-۲-۱- سد قوسی ماروپوینت:  |
| ۵۷  | ۴-۲-۲- سد بتنی قوسی شهید رجایی:  |
| ۶۱  | ۴-۳- صحت سنجی مدل ارائه شده:   |
| ۶۴  | ۴-۴- تحلیل حساسیت پارامترهای سد در اثر زمین لرزه                               |
| ۶۴  | ۴-۴-۱- مطالعات انجام شده بر روی سد ماروپوینت                                   |
| ۶۴  | ۴-۴-۱-۱- اثرات چسبندگی درز (C) بر پاسخ درز:                                    |
| ۷۸  | ۴-۴-۱-۲- اثرات کلید برشی ( $D_n$ ) بر پاسخ سد:                                 |
| ۸۳  | ۴-۴-۱-۳- اثرات مقاومت کششی درز ( $F_t$ ) بر پاسخ سد:                           |
| ۸۸  | ۴-۴-۱-۴- اثرات ضریب اصطکاک درز ( $\tan\phi$ ) بر پاسخ سد:                      |
| ۹۰  | ۴-۴-۱-۵- اثرات زاویه‌ی اتساع درز ( $\psi$ ) بر پاسخ سد:                        |
| ۹۵  | ۴-۴-۱-۶- اثر نوع زلزله از لحاظ طیف، شتاب بیشینه و امتداد بر روی پاسخ سد:       |
| ۱۱۴ | ۴-۴-۱-۷- اثرات مدول الاستیسیته بتن (E) بر پاسخ سد:                             |
| ۱۱۶ | ۴-۴-۱-۸- اثرات ضریب استهلاک ( $\xi$ ) بر پاسخ سد:                              |
| ۱۱۹ | ۴-۴-۱-۹- بررسی نقش پارامترهای شکست ( $m, n, r$ ) در پاسخ سد:                   |
| ۱۲۵ | ۴-۴-۱-۱۰- بررسی تغییر شکل تاج سد و مقایسه با موده‌های مختلف سازه:              |
| ۱۲۹ | ۴-۴-۲- مطالعات انجام شده بر روی سد شهید رجایی (تجن):                           |
| ۱۲۹ | ۴-۴-۲-۱- اثر چسبندگی درز (C) بر پاسخ سد:                                       |
| ۱۳۴ | ۴-۴-۲-۲- اثرات کلید برشی ( $D_n$ ) بر پاسخ سد:                                 |
| ۱۳۶ | ۴-۴-۲-۳- اثرات مقاومت کششی درز ( $F_t$ ) بر پاسخ سد:                           |
| ۱۴۰ | ۴-۴-۲-۴- اثرات شتاب زلزله وارده بر پاسخ سد شهید رجایی:                         |
| ۱۴۵ | ۴-۴-۲-۵- بررسی اثر ابعاد المان بندی و تعداد درزها در پاسخ‌های گرفته شده از سد: |
| ۱۴۷ | ۴-۵- مقایسه‌ی نتایج با مطالعات پارامتریک دیگر محققین:                          |

## فصل پنجم

### مدل اصلاح شده‌ی ترک گسسته ساده شده

- ۱-۵- مقدمه..... ۱۵۴
- ۵-۲- الگوریتم مدل ترک گسسته ساده شده:..... ۱۵۴
- ۵-۳- نحوه‌ی محاسبه‌ی پارامترهای درز توسط برنامه‌ی اصلاحی:..... ۱۵۶
- ۵-۴- صحت سنجی مدل ارائه شده:..... ۱۵۹
- ۵-۵- مقایسه نتایج مدل اصلاحی SDCJ:..... ۱۶۲
- ۵-۶- مطالعه تاثیر تغییرات پارامترهای مختلف مدل اصلاحی بر رفتار سد:..... ۱۶۵
- ۵-۶-۱- اثرات تغییر مقاومت کششی درز در مدل اصلاحی:..... ۱۶۵
- ۵-۶-۲- اثر شتاب بیشینه زمین بر پاسخ سد:..... ۱۶۹
- ۵-۶-۳- اثرات چسبندگی ناشی از تزریق به پاسخ درز:..... ۱۷۰
- ۵-۶-۴- اثرات چسبندگی ناشی از کلید برشی بر پاسخ درز:..... ۱۷۲
- ۵-۶-۵- اثرات کلید برشی به پاسخ سد:..... ۱۷۴
- ۵-۶-۶- اثرات شکل دره بر پاسخ سد در مدل اصلاحی:..... ۱۷۴
- ۵-۷- جمع بندی فصل..... ۱۷۶

## فصل ششم

### جمع بندی و نتیجه گیری

- ۶-۱- مقدمه:..... ۱۷۸
- ۶-۲- جمع بندی و نتیجه گیری:..... ۱۷۸
- ۶-۳- توصیه‌های آنالیز و طراحی:..... ۱۸۱
- ۶-۴- توصیه‌هایی برای تحقیقات آینده:..... ۱۸۱

مراجع

## فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۲ مقادیر حداکثر تنش کششی در حالات مختلف..... ۱۰
- نمودار ۲-۲ مقادیر حداکثر تنش فشاری در حالات مختلف..... ۱۱
- نمودار ۳-۲ رابطه غیرخطی تنش - کرنش بتن در بارگذاری کششی..... ۱۸
- نمودار ۱-۴ شتاب زمان زمین لرزه تفت (۲۱ جولای ۱۹۵۲)..... ۵۹
- نمودار ۲-۴ طیف پاسخ زمین لرزه تفت..... ۶۰
- نمودار ۳-۴ مقایسه نتایج گرفته شده (a) مدل ارائه شده در این پایان نامه و (b) توسط زکوف (جابجایی تاج سد)..... ۶۲
- نمودار ۴-۴ مقایسه نتایج گرفته شده (a) مدل ارائه شده در این پایان نامه و (b) توسط زکوف (تنش طره)..... ۶۳
- نمودار ۵-۴ جابجایی نسبی مماسی، تنش مماسی و تنش نرمال یکی از نقاط گوس درز در طول آنالیز در حالت پایه‌ی متغیرها در سد ماروپوینت..... ۶۶
- نمودار ۶-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت..... ۶۸
- نمودار ۷-۴ بیشینه جابجایی نسبی مماسی درز انقباض در سد تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۷۱
- نمودار ۸-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف تراز آب و  $PGA = 0.3g$ ..... ۷۳
- نمودار ۹-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف تراز آب و  $PGA = 0.45g$ ..... ۷۴
- نمودار ۱۰-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت..... ۷۵
- نمودار ۱۱-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف شتاب زمین..... ۷۷
- نمودار ۱۲-۴ بیشینه تنش نرمال المان کنار درز وسط سد ماروپوینت در حالت پایه‌ی متغیرها و  $PGA = 0.6g$ ..... ۷۸
- نمودار ۱۳-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف کلید برشی تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۷۹
- نمودار ۱۴-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف کلید برشی تحت شتاب  $PGA = 0.45g$ ..... ۸۰
- نمودار ۱۵-۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف کلید برشی و مخزن خالی تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۸۲

- نمودار ۴-۱۶ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مقاومت کششی درز با  $PGA = 0.3g$  ..... ۸۵
- نمودار ۴-۱۷ بیشینه جابجایی نسبی درز و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مقاومت کششی درز با  $PGA = 0.45g$  ..... ۸۶
- نمودار ۴-۱۸ جابجایی نسبی نقطه گوس C در طول آنالیز در حالات مختلف مقاومت کششی درز ..... ۸۶
- نمودار ۴-۱۹ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مقاومت کششی درز با  $PGA = 0.3g$  و مخزن خالی ..... ۸۷
- نمودار ۴-۲۰ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب اصطکاک و  $PGA = 0.3g$  ..... ۸۹
- نمودار ۴-۲۱ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب اصطکاک و  $PGA = 0.45g$  ..... ۹۱
- نمودار ۴-۲۲ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف زاویه‌ی اتساع درز و  $PGA = 0.3g$  ..... ۹۲
- نمودار ۴-۲۳ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف زاویه‌ی اتساع درز و  $PGA = 0.45g$  ..... ۹۴
- نمودار ۴-۲۴ بیشینه جابجایی نسبی درز و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف شتاب زمین ..... ۹۵
- نمودار ۴-۲۵ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در امتدادهای مختلف زلزله و  $PGA = 0.3g$  ..... ۹۶
- نمودار ۴-۲۶ بیشینه جابجایی نسبی درز و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در امتداد مختلف زلزله و  $PGA = 0.45g$  ..... ۱۰۰
- نمودار ۴-۲۷ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت در دو حالت امتداد طولی و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۰۳
- نمودار ۴-۲۸ حداکثر جابجایی نسبی مماسی و نرمال درز در سه زلزله مختلف، سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.45g$  ..... ۱۰۴
- نمودار ۴-۲۹ طیف شتاب زمین لرزه کوالینگا (زلزله بر روی سنگ) ..... ۱۰۵
- نمودار ۴-۳۰ طیف شتاب زمین لرزه تفت (طیف عادی) ..... ۱۰۵
- نمودار ۴-۳۱ طیف شتاب زمین لرزه امریویل (طیف وسیع) ..... ۱۰۵
- نمودار ۴-۳۲ بیشینه جابجایی نسبی مماسی درز در زمین لرزه‌های مختلف سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.45g$  ..... ۱۰۶
- نمودار ۴-۳۳ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس سیر نزولی شتاب طیفی در مود اول سازه ..... ۱۰۷

- نمودار ۴-۳۴ جابجایی نسبی تاج سد ماروپوینت در حالت پایه متغیرها تحت زلزله‌ی تفت و  
 ۱۰۸.....  $PGA = 0.3g$
- نمودار ۴-۳۵ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس سیر نزولی مساحت زیر نمودار طیف سرعت در  
 فاصله‌ی (۰،۴-۰،۱۴) ثانیه..... ۱۰۹
- نمودار ۴-۳۶ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس سیر نزولی مساحت زیر نمودار طیف سرعت در  
 فاصله‌ی (۰،۵-۰،۱۴) ثانیه..... ۱۱۰
- نمودار ۴-۳۷ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس سیر نزولی مساحت زیر نمودار طیف سرعت در  
 بازه‌ی (۰،۴-۰،۱۴) ثانیه..... ۱۱۱
- نمودار ۴-۳۸ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس سیر نزولی مساحت زیر نمودار طیف سرعت در  
 بازه‌ی (۰،۵-۰،۱۴) ثانیه..... ۱۱۲
- نمودار ۴-۳۹ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت، مرتب شده بر اساس مقادیر مساحت زیر نمودار طیف سرعت در بازه‌ی  
 (۰،۵-۰،۱۴) ثانیه..... ۱۱۳
- نمودار ۴-۴۰ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف مدول الاستیسیته و  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۱۵
- نمودار ۴-۴۱ جابجایی نسبی درز انقباض سد که دچار بیشینه جابجایی در طول آنالیز شده در سد  
 ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۱۶
- نمودار ۴-۴۲ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب استهلاک و  $PGA = 0.45g$ ..... ۱۱۷
- نمودار ۴-۴۳ جابجایی نسبی نقطه گوسی که دارای بیشترین پاسخ در طول آنالیز می‌باشد چسبندگی  
 و  $PGA = 0.45g$  و  $C = 1.6^{MPa}$ ..... ۱۱۸
- نمودار ۴-۴۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب  $m$  و  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۲۰
- نمودار ۴-۴۵ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب  $\gamma$  و  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۲۱
- نمودار ۴-۴۶ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در حالات مختلف ضریب  $n$  و  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۲۲

- نمودار ۴-۴۷ جابجایی نرمال نقطه گوسی که دارای بیشترین پاسخ در طول آنالیز می‌باشد در سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۲۳
- نمودار ۴-۴۸ جابجایی نسبی مماسی نقطه گوسی که دارای بیشترین پاسخ در طول آنالیز می‌باشد در سد ماروپوینت، چسبندگی  $C = 1.6^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۲۳
- نمودار ۴-۴۹ جابجایی نسبی نقطه گوسی که دارای بیشترین پاسخ در طول آنالیز می‌باشد در سد ماروپوینت، چسبندگی  $C = 1.3^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۲۴
- نمودار ۴-۵۰ جابجایی نسبی نقطه گوسی که دارای بیشترین پاسخ در طول آنالیز می‌باشد در سد ماروپوینت، چسبندگی  $C = 1.6^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۲۴
- نمودار ۴-۵۱ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در حالات مختلف تراز آب و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۰
- نمودار ۴-۵۲ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی و ماروپوینت در حالت تراز آب نرمال و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۱
- نمودار ۴-۵۳ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی و ماروپوینت در حالت مخزن خالی و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۲
- نمودار ۴-۵۴ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در حالات مختلف شتاب زمین ..... ۱۳۳
- نمودار ۴-۵۵ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در حالات مختلف کلید برشی و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۵
- نمودار ۴-۵۶ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در حالات مختلف مقاومت کششی درز و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۷
- نمودار ۴-۵۷ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در حالات مختلف مقاومت کششی درز و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۳۹
- نمودار ۴-۵۸ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در امتدادهای مختلف زلزله و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۱
- نمودار ۴-۵۹ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی و ماروپوینت در امتداد عرضی و قائم ..... ۱۴۲
- نمودار ۴-۶۰ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز انقباض سد رجایی در مدل‌های مختلف و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۶
- نمودار ۴-۶۱ جابجایی نسبی طولی نقطه‌ی C ..... ۱۴۸
- نمودار ۴-۶۲ جابجایی نسبی نقطه‌ی C ..... ۱۵۰
- نمودار ۴-۶۳ جابجایی و بازشدگی درز فوقانی بر حسب مقاومت کششی درز،  $C = 1.5Mpa$  و  $\tan\phi = 0.9$  ..... ۱۵۱

نمودار ۴-۶۴ جابجایی و بازشدگی درز فوقانی بر حسب چسبندگی درز،  $f_t=1.0\text{Mpa}$  و  $\tan\phi=0.9$  .. ۱۵۱  
 نمودار ۴-۶۵ جابجایی و بازشدگی درز فوقانی بر حسب ضریب اصطکاک،  $f_t=1.0\text{Mpa}$  و  $1.5\text{MPa}=C_{15}$   
 نمودار ۵-۱ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد ماروپوینت در دو مدل SDCJ و اصلاحی و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۶۴  
 نمودار ۵-۲ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض مدل اصلاحی سد ماروپوینت در مقاومت کششی مختلف و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۶۶  
 نمودار ۵-۳ بیشینه جابجایی نسبی درز، بیشینه جابجایی تاج سد و بیشینه بازشدگی نرمال درز  
 انقباض سد شهید رجایی - مش ریز در دو مدل SDCJ و اصلاحی و  $PGA = 0.3g$   
 ۱۷۵.....



## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ حالت‌های مختلف مطالعه‌ی پارامتریک درز..... ۸
- جدول ۲-۲ پاسخ حداکثر سد در حالت غیر خطی بدنه..... ۱۲
- جدول ۱-۳ مقادیر ضریب‌های سختی درز در ماتریس D..... ۳۸
- جدول ۲-۳ نتایج تحلیل استاتیکی، مثال ۱-۳..... ۵۱
- جدول ۱-۴ متغیرهای مورد بررسی و محدوده‌ی تغییرات آن‌ها..... ۵۵
- جدول ۲-۴ فرکانس ارتعاشی مودهای سد ماروپوینت (Rad/s) بر اساس مطالعات فنوس..... ۵۵
- جدول ۳-۴ فرکانس ارتعاشی سد شهید رجایی..... ۵۸
- جدول ۴-۴ مقدار اولیه متغیرها در حالت پایه‌ی متغیرها در سدهای ماروپوینت و رجایی..... ۵۹
- جدول ۵-۴ مقایسه نتایج گرفته شده با مدل ارائه شده توسط زنگوف..... ۶۲
- جدول ۶-۴ مقادیر انتخابی در محاسبات لطفی..... ۶۳
- جدول ۷-۴ مقایسه نتایج گرفته شده با مدل ارائه شده توسط لطفی..... ۶۴
- جدول ۸-۴ بیشینه جابجایی مماسی درز انقباض در سد..... ۷۰
- جدول ۹-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در سد ماروپوینت در حالات مختلف شتاب زمین..... ۷۶
- جدول ۱۰-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف کلید برشی و مخزن خالی سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۸۲
- جدول ۱۱-۴ بیشینه تنش‌های برشی درزهای انقباض در حالات مختلف ضریب اصطکاک سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۸۹
- جدول ۱۲-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در امتدادهای مختلف زلزله سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۹۷
- جدول ۱۳-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در امتدادهای مختلف زلزله سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.45g$ ..... ۱۰۰
- جدول ۱۴-۴ کلیه‌ی پاسخ‌های درز سد ماروپوینت در زلزله‌های مختلف با  $PGA = 0.3g$  و چسبندگی  $C = 1.6^{MPa}$ ..... ۱۰۱
- جدول ۱۵-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف مدول الاستیسیته سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۱۱۴
- جدول ۱۶-۴ مقایسه پاسخ درز در حالات مختلف ضریب استهلاک و چسبندگی سد ماروپوینت تحت شتاب  $PGA = 0.6g$ ..... ۱۱۸
- جدول ۱۷-۴ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در چسبندگی‌های مختلف سد رجایی..... ۱۳۰

- جدول ۴-۱۸ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در چسبندگی و ارتفاع کلید برشی  
مختلف سد رجایی ..... ۱۳۴
- جدول ۴-۱۹ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف مقاومت کششی  
درز سد رجایی - مش ریز ..... ۱۳۶
- جدول ۴-۲۰ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف مقاومت کششی  
درز سد رجایی - مش متوسط ..... ۱۳۸
- جدول ۴-۲۱ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف شتاب بیشینه  
زمین در سد رجایی - مش ریز ..... ۱۴۰
- جدول ۴-۲۲ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در امتدادهای مختلف زلزله سد  
رجایی ..... ۱۴۲
- جدول ۴-۲۳ بیشینه تنش‌های برشی و فشاری درزهای انقباض در حالات مختلف مدل سازی سد  
رجایی ..... ۱۴۷
- جدول ۴-۲۴ حالات مختلف مطالعه شده در بررسی پارامتریک ..... ۱۴۷
- جدول ۵-۱ مقایسه‌ی تنش برشی کلیدبرشی در مدل اصلاحی و Ansys ..... ۱۶۲
- جدول ۵-۲ بیشینه جابجایی و تنش درز سد ماروپوینت در مدل اصلاحی با مقاومت کششی مختلف  
درز و  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۶۷
- جدول ۵-۳ بیشینه جابجایی و تنش سد ماروپوینت در مدل اصلاحی با شتاب بیشینه زمین مختلف ..... ۱۶۹
- جدول ۵-۴ بیشینه جابجایی سد ماروپوینت در مدل اصلاحی با چسبندگی اولیه مختلف ..... ۱۷۰
- جدول ۵-۵ بیشینه جابجایی سد در مدل اصلاحی با چسبندگی کلید برشی مختلف ..... ۱۷۲
- جدول ۵-۶ بیشینه جابجایی و تنش سد ماروپوینت در مدل اصلاحی با ارتفاع مختلف کلید برشی ..... ۱۷۴

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ مقدار و محل تخریب المان‌های سد تحت زلزله‌ی کوبنا (a) بالا دست (b) پایین دست..... ۱۷
- شکل ۲-۲ زمان و محل ایجاد ترک در سد ماروپوینت تحت زمین لرزه‌ی سه مولفه‌ای تفت..... ۱۹
- شکل ۳-۲ نمودار نیرو-جابجایی المان درز مسلح..... ۲۰
- شکل ۴-۲ نمودار تنش بالادست و پایین دست المان درز مسلح نسبت به آرما تور مصرفی..... ۲۱
- شکل ۵-۲ نحوه‌ی قرارگیری آرما تور در بدنه‌ی سد در روش ارائه شده‌ی چوهان..... ۲۲
- شکل ۶-۲ نمونه‌ای از مش بندی سد بتنی قوسی..... ۲۳
- شکل ۱-۳ المان درز شانزده گرهی با ضخامت صفر..... ۳۳
- شکل ۲-۳ معیار اصطکاک و سطوح پتانسیل پلاستیک (مقطع بیضی شکل- غیر هم‌بسته)..... ۳۴
- شکل ۳-۳ رفتار گره در برابر تغییر مکان‌های برشی و نرمال..... ۳۵
- شکل ۴-۳ نمودار تنش- کرنش المان درز..... ۳۷
- شکل ۵-۳ فلوجارت مدل درز گسسته ساده شده..... ۳۹
- شکل ۶-۳ سد بتنی قوسی با مخزن و شرایط مرزی..... ۴۱
- شکل ۷-۳ الگوریتم روش تکرار در محاسبات اندرکنش دینامیکی آب و سازه..... ۴۴
- شکل ۸-۳ الگوی تکرار نیوتن-رافسون برای سازه‌ی یک درجه آزادی..... ۴۷
- شکل ۹-۳ الگوی تکرار نیوتن-رافسون اصلاح شده برای سازه‌ی یک درجه آزادی..... ۴۷
- شکل ۱۰-۳ تیر طره‌ای با تکیه‌گاه مفصل برشی، مثال ۱-۳..... ۵۰
- شکل ۱۱-۳ مقادیر جابجایی و لنگر خمشی در تکیه‌گاه مفصل برشی، مثال ۱-۳..... ۵۱
- شکل ۱۲-۳ مدل اجزای محدود برای تیر طره‌ای تحت فشار یکنواخت در انتها..... ۵۲
- شکل ۱۳-۳ جابجایی انتهای تیر، بار محوری (N) ۸۸۹۶۰، مثال ۲-۳..... ۵۲
- شکل ۱۴-۳ بازشدگی درز فوقانی، بار محوری (N) ۸۸۹۶۰، مثال ۲-۳..... ۵۳
- شکل ۱-۴ مشخصات سد ماروپوینت..... ۵۶
- شکل ۲-۴ نحوه المان بندی سد ماروپوینت و محل درزهای انقباض در این پایان نامه..... ۵۷
- شکل ۳-۴ المان بندی سد ماروپرینت توسط زنگوف..... ۶۱
- شکل ۴-۴ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت پایه‌ی متغیرهای سد ماروپوینت و  $c = 1.6 \text{ MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۶۹
- شکل ۵-۴ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت پایه‌ی متغیرهای سد ماروپوینت و  $c = 2.0 \text{ MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۶۹
- شکل ۶-۴ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت  $F_t = 1.0 \text{ MPa}$  و  $C = 2.0 \text{ MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$ ..... ۸۴

- شکل ۴-۷ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت  $F_t = 3.0^{MPa}$  و  $C = 2.0^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۸۴
- شکل ۴-۸ شکل تاج سد در لحظه‌ی وقوع بیشینه جابجایی تاج تحت زلزله‌ی قائم، طولی و شتاب  $PGA = 0.3g$  (بزرگ‌نمایی یکصد برابر) ..... ۹۷
- شکل ۴-۹ شکل تاج سد در لحظه‌ی وقوع بیشینه جابجایی تاج تحت زلزله‌ی قائم، عرضی و شتاب  $PGA = 0.3g$  (بزرگ‌نمایی یکصد برابر) ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۰ محل و نوع شکست نقاط گوس درز سد ماروپوینت در حالت زلزله‌ی قائم و طولی تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۱ محل و نوع شکست نقاط گوس درز سد ماروپوینت در حالت زلزله‌ی قائم و عرضی تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۲ جانمایی تاج سد ماروپوینت قبل از اعمال زمین لرزه ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۱۳ جابجایی تاج سد ماروپوینت تحت زمین لرزه تفت در لحظه‌ی وقوع حداکثر جابجایی تاج و در حالت مخزن خالی (چسبندگی کم) ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۱۴ جابجایی تاج سد ماروپوینت تحت زمین لرزه تفت در لحظه‌ی وقوع حداکثر جابجایی تاج و در حالت مخزن پر ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۱۵ جابجایی تاج سد ماروپوینت تحت زمین لرزه تفت در لحظه‌ی وقوع حداکثر جابجایی تاج و در حالت مخزن خالی (چسبندگی زیاد) ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۱۶ تغییر شکل سد ماروپوینت در موده‌های اول تا پنجم سازه ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۱۷ تغییر شکل سد ماروپوینت در موده‌های پنجم تا دهم سازه ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۱۸ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت زلزله‌ی عرضی و قائم سد رجایی و  $c = 1.6^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۳
- شکل ۴-۱۹ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت زلزله‌ی طولی و قائم سد رجایی و  $c = 1.6^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۳
- شکل ۴-۲۰ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت زلزله‌ی عرضی و قائم سد رجایی و  $c = 1.3^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۴
- شکل ۴-۲۱ محل و نوع شکست نقاط گوس درز در حالت زلزله‌ی طولی و قائم سد رجایی و  $c = 1.3^{MPa}$  تحت شتاب  $PGA = 0.3g$  ..... ۱۴۴
- شکل ۴-۲۲ نحوه‌ی المان بندی سد ماروپوینت در مدل نوروزیان ..... ۱۴۸
- شکل ۵-۱ رابطه چسبندگی کاهش یافته و بازشدگی درز ..... ۱۵۵
- شکل ۵-۲ شکل شماتیک درز انقباض سد ..... ۱۵۷
- شکل ۵-۳ فلوجارت اصلاحی مدل درز گسسته ساده شده ..... ۱۵۸
- شکل ۵-۴ مدل استفاده شده در برنامه‌ی انسیس و شکل مش بندی ..... ۱۶۰