دانشگاه شهید چمران اهواز
دانشکده مهندسی
گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

سازه های هیدرولیکی

عنوان :

مقایسه معیارهای پایداری سدهای بتنی در روشهای تقریبی مختلف بر اساس تحلیل اجزای محدود

نگارش :

محمد مفتخر

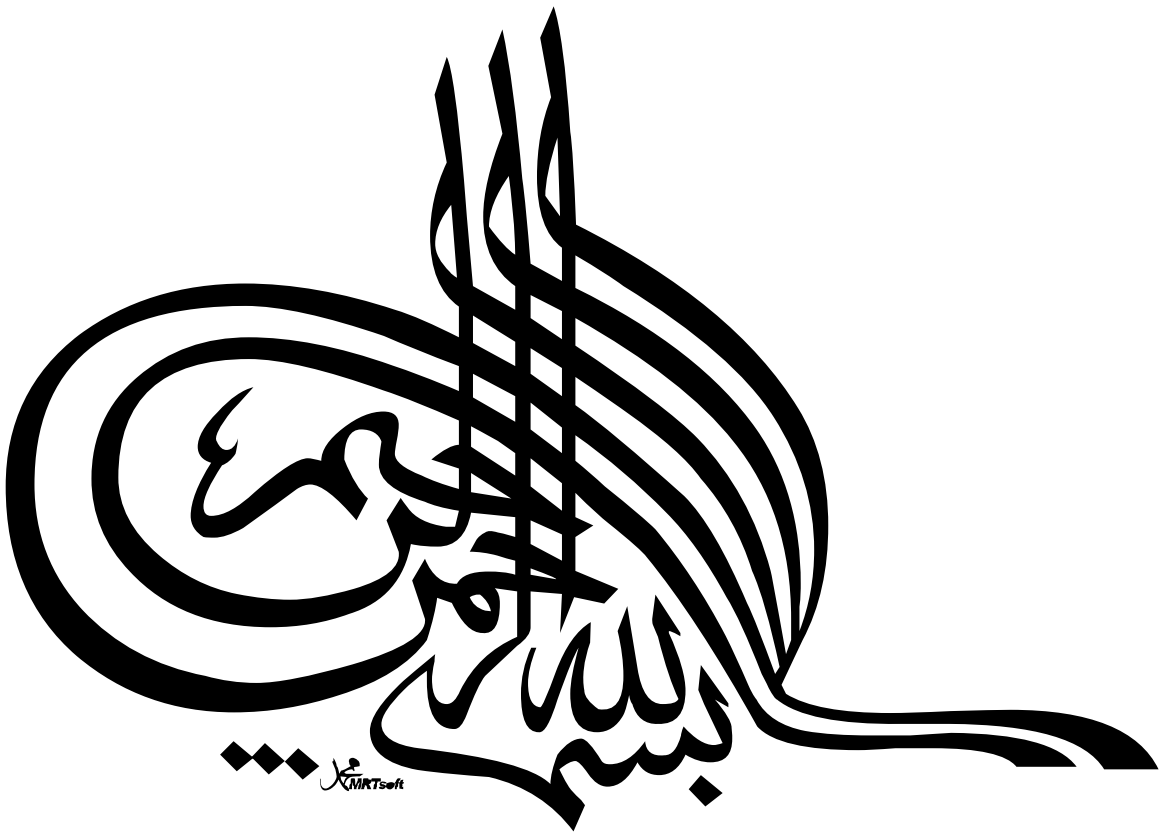
استاد راهنما :

دکتر حمید رضا غفوری

استاد مشاور :

دکتر حسین محمد ولی سامانی

شهریورماه 1388


بسم الله الرحمن الرحيم
MRTsoft

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به نام خالق علم

سپاس خداوند منان که مرا یاری کرد تا این تحقیق را به خوبی به پایان رسانم . بر خود واجب می دانم از همه کسانی که مرا در این امر یاری نمودند , تقدیر و تشکر به عمل رسانم .

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حمید رضا غفوری که صمیمانه و خالصانه مرا یاری کرده و راهنمایی هایشان همواره راهگشای من بوده , از صمیم قلب تشکر کرده و از خداوند بزرگ سلامتی و سربلندی ایشان را آرزومندم.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر سامانی که با راهنمایی های ارزنده خود مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می نمایم .

از جناب آقای دکتر لبیب زاده مدیر محترم گروه عمران که همواره حامی و دوستدار دانشجویان هستند , صمیمانه سپاسگزارم و آرزوی سلامتی را از خداوند منان برای ایشان خواستارم .

همچنین از خانواده خود که در کلیه مراحل زندگی همواره مشوق و پشتیبانم بوده اند , کمال تشکر را دارم و امیدوارم که همواره شاد و سلامت باشند .

در خاتمه نیز از سایر اساتید محترم گروه عمران و دوستان عزیزم که در این تحقیق مشوق من بودند تشکر می نمایم .

محمد مفتخر

شهریور ماه 1388

چکیده پایان نامه

نام خانوادگی : مفتخر **نام :** محمد

عنوان پایان نامه : مقایسه معیارهای پایداری سدهای بتنی در روشهای تقریبی مختلف بر اساس تحلیل اجزای محدود

استاد راهنما : دکتر حمید رضا غفوری **استاد مشاور :** دکتر حسین محمد ولی سامانی

درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** عمران **گرایش :** سازه های هیدرولیکی

محل تحصیل (دانشگاه) : دانشگاه شهید چمران اهواز **دانشکده :** مهندسی

تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۸۸/۶/۲۹ تعداد صفحه : ۲۴۱

کلید واژه ها : سد وزنی – آیین نامه – پایداری – فشار برخاست – ترک - المان محدود – ANSYS .

چکیده :

آئین نامه های مختلف ارائه شده برای طراحی سدهای بتنی , معیارهای مختلفی را برای کنترل پایداری اینگونه سدها پیشنهاد می کنند که برخی از آنها تا حدود زیادی محافظه کارانه بوده و منجر به بیش طراحی مقاطع سدها می گردند . این تحقیق بر آن است که با استفاده از روش اجزای محدود که روش دقیق تر به شمار می رود , میزان دقت روشهای تقریبی را تعیین نموده و با هم مقایسه نماید .

از آنجائیکه در آیین نامه ها عرض ترک ایجاد شده در محل تماس سد و پی بعنوان شاخص پایداری برای محاسبه واژگونی و لغزش مدنظر قرار می گیرد , در اینجا نیز از همین شاخص استفاده گردیده است .

برای چند مثال مختلف عملی از سدهای وزنی , با استفاده از روشهای تقریبی آئین نامه های USACE, FERC, USBR کنترل پایداری صورت گرفته و ضرایب اطمینان موجود به هر روش محاسبه می گردد . سپس همان مثال ها با استفاده از یک نرم افزار تحلیل اجزای محدود نظیر ANSYS و با استفاده از توزیع فشار برخاست همان آیین نامه مجددا حل شده و ضرایب اطمینان مربوطه تعیین و مقایسه می گردند .

نکته دیگری که باید به آن توجه داشت , این است که در محاسبه توزیع تنش های تکیه گاهی و سپس در محاسبه ضرایب اطمینان , هیچیک از آیین نامه های مورد استفاده , اشاره ای به خواص ارتجاعی مصالح فونداسیون نمی کنند و لذا برای انواع مختلف مصالح پی , تنش های سطح تماس سد و پی به یک صورت محاسبه می گردد و نوع مصالح موجود هیچ تاثیری در ضرایب اطمینان پایداری ندارد . این مسئله که یک نقص جدی در این آیین نامه ها محسوب می شود , در روش اجزای محدود وجود ندارد .

این پایان نامه ضرورت استفاده از روش المان محدود را برای تحلیل سدهای وزنی حتی در فاز اولیه طراحی اثبات می کند . همچنین به منظور انجام خودکار مراحل محاسبه طول ترک که نیازمند چندین بار تکرار مدل سازی می باشد , یک برنامه کامپیوتری در قالب یک ماکرو برای نرم افزار ANSYS نوشته شده است که می تواند کلیه عملیات محاسبه طول ترک را با هر مقدار تکرار و به هر میزان دقت و به صورت کاملا خودکار انجام دهد .

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : کلیات ۱

۱- مقدمه : ۲

۲- پیشینه کار : ۳

۳- معرفی اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE) : ۴

۱-۳- دایره فعالیت : ۴

۲-۳- مهمترین پروژه های اجرایی : ۵

۳-۳- معرفی آیین نامه USACE درباره طراحی سدهای وزنی : ۵

۱-۳-۳- هدف : ۵

۲-۳-۳- کاربرد : ۵

۳-۳-۳- مباحث : ۶

۴-۳-۳- تاریخچه آیین نامه : ۶

۴- معرفی اداره عمران آمریکا (USBR) : ۶

۱-۴- دایره فعالیت : ۶

۲-۴- مهمترین پروژه های اجرایی : ۷

۳-۴- معرفی آیین نامه USBR درباره طراحی سدهای وزنی : ۷

۱-۳-۴- مباحث : ۷

۲-۳-۴- تاریخچه آیین نامه : ۸

۵- معرفی کمیسیون فدرال سیاستگزاری انرژی (FERC) : ۸

۱-۵- دایره فعالیت : ۸

۲-۵- معرفی آیین نامه FERC درباره طراحی سدهای وزنی : ۹

۱-۲-۵- مباحث : ۹

۲-۲-۵- تاریخچه آیین نامه : ۹

۶- محتوای پایان نامه : ۱۰

فصل دوم : معیارهای پایداری سدهای بتنی وزنی بر اساس آیین نامه های USACE , USBR FERC ۱۲
۱- مقدمه : ۱۳
۲- معیارهای پایداری سد بر اساس آیین نامه USACE : ۱۳
۱-۲- کلیات : ۱۳
۲-۲- بارگذاری : ۱۴
۳-۲- پایداری واژگونی : ۱۶
۱-۳-۲- معیار محل نیروی برآیند : ۱۷
۴-۲- پایداری لغزشی : ۱۸
۱-۴-۲- معیار ضریب اطمینان لغزشی : ۱۹
۵-۲- ضرایب اطمینان توصیه شده برای پایداری سد : ۲۰
۳- معیارهای پایداری سد بر اساس آیین نامه USBR : ۲۲
۱-۳- بارگذاری : ۲۲
۲-۳- تحلیل پایداری و توزیع تنش : ۲۳
۳-۳- تنش های درونی و تحلیل پایداری برای مقطع های ترک نخورده : ۲۳
۴-۳- پایداری لغزشی : ۲۶
۵-۳- ضریب اطمینان : تنش فشاری ۲۷
۶-۳- ضریب اطمینان : تنش کششی ۲۷
۷-۳- ضریب اطمینان : پایداری لغزشی ۲۸
۴- معیارهای پایداری سد بر اساس آیین نامه FERC : ۲۹
۱-۴- کلیات عمومی : ۲۹
۲-۴- بارگذاری : ۲۹
۳-۴- پایداری واژگونی : ۳۰
۴-۴- پایداری لغزشی : ۳۰
۵-۴- تحلیل سطح ترک خورده : ۳۰
۶-۴- ضرایب اطمینان توصیه شده برای پایداری سد : ۳۱
۷-۴- معیار مقاومت بتن : ۳۱

فهرست مطالب

فصل سوم : معیار فشار برخاست و سطح ترک خورده برای سدهای بتنی وزنی ۳۲

۱- مقدمه : ۳۳

۲- معیار فشار برخاست : ۳۳

۲-۱- آیین نامه USACE برای محاسبه فشارهای برخاست در طول نشیمنگاه سد : ۳۳

۲-۱-۱- حالت بدون زهکش : ۳۴

۲-۱-۲- حالت با زهکش : ۳۴

۲-۱-۳- پرده دوغاب : ۳۸

۲-۱-۴- نواحی فشار صفر : ۳۸

۲-۲- آیین نامه USACE برای محاسبه فشارهای برخاست درون بدنه سد : ۴۱

۲-۳- آیین نامه USACE برای محاسبه فشارهای برخاست درون پی : ۴۱

۲-۴- آیین نامه USBR برای محاسبه فشارهای برخاست در طول نشیمنگاه سد : ۴۴

۲-۴-۱- برخاست درون یک ترک : ۴۴

۲-۴-۲- فشارهای برخاست در زهکش ها : ۴۴

۲-۴-۳- فشار برخاست در زهکش با حضور ترک : ۴۸

۲-۵- آیین نامه USBR برای محاسبه فشارهای برخاست درون پی : ۵۱

۲-۶- آیین نامه USBR برای محاسبه فشارهای برخاست درون پی : ۵۱

۲-۷- آیین نامه FERC برای محاسبه فشار برخاست در طول نشیمنگاه سد : ۵۲

۲-۷-۱- بدون زهکش : ۵۲

۲-۷-۲- با زهکش : ۵۲

۲-۸- آیین نامه FERC برای محاسبه فشار برخاست درون بدنه سد : ۵۳

۲-۹- آیین نامه FERC برای محاسبه فشار برخاست درون پی : ۵۳

۲-۱۰- مقایسه معیار فشار برخاست بر اساس دو آیین نامه USACE , USBR : ۵۴

۲-۱۰-۱- بدون زهکش پی : ۵۴

۲-۱۰-۲- زهکش های پی و تماس کامل سطح نشیمنگاه سد : ۵۴

۲-۱۰-۳- زهکش های پی , تماس قسمتی از نشیمنگاه سد با پی و ترک قبل از خط زهکش پایان یافته : ۵۵

۲-۱۰-۴- زهکش های پی و تماس قسمتی از نشیمنگاه سد با پی و ترک تا بعد از خط زهکش گسترش یافته: ۵۵

فهرست مطالب

۳- معیار ترک خوردگی در نشیمنگاه سد : ۵۶
۳-۱- شروع و توزیع ترک بر اساس آیین نامه USACE : ۵۶
۳-۲- شروع ترک بر اساس آیین نامه USBR : ۵۶
۳-۳- توزیع ترک بر اساس آیین نامه USBR : ۵۸
۳-۴- شروع و توزیع ترک بر اساس آیین نامه FERC : ۶۲
۳-۵- مقایسه شروع و توزیع ترک بر اساس آیین نامه های USACE , USBR : ۶۲
۳-۵-۱- شروع ترک : ۶۲
۳-۵-۲- توزیع ترک : ۶۳
۳-۶- مقایسه شروع و توزیع ترک بر اساس آیین نامه های USACE , FERC : ۶۴

فصل چهارم : معرفی نرم افزارهای به کار برده شده ۷۱
۱- مقدمه : ۷۲
۲- معرفی نرم افزار CADAM : ۷۲
۲-۱- مقدمه : ۷۲
۲-۲- اصول روش وزنی : ۷۳
۲-۲-۱- تحلیل تنش: ۷۴
۲-۳- ساختار برنامه و حالتهای تحلیل : ۷۶
۲-۴- امکانات قابل اضافه شدن به برنامه : ۸۰
۳- معرفی نرم افزار ANSYS : ۸۱
۳-۱- مقدمه : ۸۱
۳-۲- ساختار برنامه : ۸۳
۳-۳- مدل سازی : ۸۵
۳-۴- معرفی انواع فایلهای jobname.* : ۸۵
۳-۵- دستگاههای مختصات : ۸۶
۳-۶- نتایج خروجی : ۸۷
۴- معرفی نرم افزار PHASE2 : ۸۷
۴-۱- مقدمه : ۸۷
۴-۲- ساختار برنامه : ۸۸

۳-۴- انواع المان : ۸۹
۴-۴- فایلهای خروجی : ۸۹
۵-۴- پایداری لغزشی المان محدود : ۸۹
۱-۵-۴- کلیات : ۸۹
۲-۵-۴- پارامترهای تحلیل : ۹۰
۳-۵-۴- نتایج تحلیل : ۹۱
۴-۵-۴- وارد کردن فایلهای برنامه SLIDE : ۹۱

فصل پنجم : ارزیابی پایداری بر اساس معیارهای آیین نامه های سه گانه و مقایسه آن با روش المان محدود : ۹۳
۱- مقدمه : ۹۴
۲- مسئله نمونه سد وزنی بتنی : ۹۴
بخش اول : ارزیابی پایداری بر اساس معیارهای آیین نامه USACE و مقایسه آن با روش المان محدود:
۳- محاسبه طول ترک بر اساس آیین نامه USACE : ۹۶
۴- محاسبات پایداری با استفاده از روند مهندسی و توزیع فشار برخاست آیین نامه USACE : ۹۶
۵- محاسبات پایداری با استفاده از روند المان محدود و توزیع فشار برخاست USACE : ۱۰۷
۱-۵- پیش پردازنده (Preprocessor) : ۱۰۹
۱-۱-۵- مدل سازی (شکل هندسی) Modeling : ۱۰۹
۲-۱-۵- تعریف انواع المان های مورد نیاز : ۱۰۹
۳-۱-۵- تعریف انواع مصالح موجود (بتن سد ، سنگ پی) : ۱۰۹
۴-۱-۵- شبکه بندی و تعیین نوع المان و نوع مصالح برای هر یک از اجزاء شبکه : ۱۱۰
۵-۱-۵- ریز کردن المانهای اطراف سطح تماس سد و پی : ۱۱۰
۲-۵- تحلیل گر (Solution) : ۱۱۱
۱-۲-۵- تحلیل استاتیکی سد تحت بارگذاری وزن و نیروی هیدرواستاتیک مخزن و پایاب و نیز فشار برخاست : ۱۱۱
۳-۵- پس پردازش (post processing) : ۱۱۳
۶- مقایسه روش المان محدود و آیین نامه USACE : ۱۲۰

بخش دوم : ارزیابی پایداری بر اساس معیارهای آیین نامه USBR و مقایسه آن با روش المان محدود :
۷- محاسبات پایداری با استفاده از روند مهندسی و توزیع فشار برخاست آیین نامه USBR : ۱۲۲
۸- محاسبات پایداری با استفاده از روند المان محدود و توزیع فشار برخاست USBR : ۱۳۴
۸-۱- پیش پردازنده (Preprocessor) : ۱۳۴
۸-۲- تحلیل گر (Solution) : ۱۳۴
۸-۳- پس پردازش (post processing) : ۱۳۴
۹- مقایسه روش المان محدود و آیین نامه USBR : ۱۴۱
بخش سوم : ارزیابی پایداری بر اساس معیارهای آیین نامه FERC و مقایسه آن با روش المان محدود :
۱۰- محاسبات پایداری با استفاده از روند مهندسی و توزیع فشار برخاست آیین نامه FERC : ۱۴۳
۱۱- محاسبات پایداری با استفاده از روند المان محدود و توزیع فشار برخاست FERC : ۱۴۳
۱۲- مقایسه روش المان محدود و آیین نامه FERC : ۱۴۷

فصل ششم : ارزیابی پایداری سد در صفحه لغزش در اعماق پی ۱۴۹
۱- مقدمه : ۱۵۰
بخش اول : ارزیابی پایداری سد در صفحه لغزش معین در اعماق پی :
۲- مسئله نمونه سد وزنی بتنی : ۱۵۱
۳- محاسبه پایداری با استفاده از روند مهندسی آیین نامه USACE : ۱۵۲
۴- محاسبات پایداری با استفاده از روند المان محدود و توزیع فشار برخاست USACE : ۱۵۵
۴-۱- پیش پردازنده : ۱۵۶
۴-۱-۱- مدل سازی : ۱۵۶
۴-۱-۲- تعریف انواع المانهای مورد نیاز : ۱۵۶
۴-۱-۳- تعریف انواع مصالح موجود : ۱۵۶
۴-۲- تحلیل گر : ۱۵۷
۴-۳- پس پردازش : ۱۵۷
۵- مقایسه روش المان محدود و آیین نامه USACE : ۱۶۱
بخش دوم : ارزیابی پایداری سد در صفحه لغزش نامعین در اعماق پی :
۶- ارزیابی پایداری به روش تحلیل چند گوه ای : ۱۶۲
۷- مسئله نمونه سد وزنی بتنی : ۱۶۵

۸- محاسبه پایداری با استفاده از روند مهندسی آیین نامه USACE :	۱۶۶
۹- محاسبات پایداری با استفاده از روند المان محدود :	۱۷۲
۹-۱- تئوری روش کاهش مقاومت برشی :	۱۷۲
۹-۲- روند محاسبات به روش SSR :	۱۷۳
۹-۳- پیش پردازنده :	۱۷۳
۹-۳-۱- مدل سازی :	۱۷۳
۹-۳-۲- تعریف انواع المانهای مورد نیاز :	۱۷۴
۹-۳-۳- تعریف انواع مصالح موجود :	۱۷۴
۹-۴- تحلیل گر :	۱۷۶
۹-۵- پس پردازش :	۱۷۶
۱۰- مقایسه روش المان محدود و آیین نامه USACE :	۱۷۹
فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۸۰
۱- نتیجه گیری :	۱۸۱
۲- پیشنهادات :	۱۸۳
پیوست اول : روشهای تحلیل سدهای بتنی وزنی	۱۸۵
۱- مقدمه :	۱۸۶
۲- روش وزنی تحلیل پایداری و تنشی :	۱۸۶
۲-۱- تئوری روش :	۱۸۶
۲-۲- فرضیات روش وزنی :	۱۸۷
۲-۳- تعاریف مربوط به بارگذاری حالت نرمال در مخزن :	۱۸۷
۲-۴- تعاریف مربوط به بارگذاری زلزله افقی :	۱۹۰
۲-۵- نیروها و لنگرهایی که روی المان کنسول عمل می کنند :	۱۹۱
۲-۶- معادلات پایداری و تنشی :	۱۹۱
۳- روش تحلیل پیچشی بارآزمون در حالت درزهای غیر دوغابی :	۱۹۵
۳-۱- کلیات :	۱۹۵
۳-۲- تئوری :	۱۹۵

۳-۳- تعاریف : ۱۹۹

۳-۴- مقادیر ثابت پی : ۲۰۱

۳-۵- انتخاب المانها : ۲۰۷

۳-۶- بارها , نیروها و لنگرها : ۲۰۷

۳-۷- تغییر شکل های واحد و اولیه کنسول ها : ۲۰۸

۳-۸- چرخش های واحد المانهای عمودی از سازه پیچشی بدلیل کوپل پیچشی واحد : ۲۰۸

۳-۹- تغییر شکل های واحد المانهای افقی سازه پیچشی : ۲۱۲

۳-۱۰- بارهای آزمون : ۲۱۴

۳-۱۱- چرخش زاویه ای المان پیچشی عمودی در اثر بارهای آزمون روی المانهای افقی : ۲۱۴

۳-۱۲- تغییر شکل های سازه پیچشی : ۲۱۴

۳-۱۳- تغییر شکل های سازه کنسول : ۲۱۵

۳-۱۴- ضرایب تنشی و پایداری : ۲۱۵

۴- روش المان محدود : ۲۱۵

۴-۱- تئوری : ۲۱۵

۴-۲- انواع المان : ۲۱۷

۴-۲-۱- المان های مثلثی , منشوری و چهارضلعی : ۲۱۹

۴-۲-۲- المان جامد سازه ای دو بعدی PLANE42 : ۲۲۰

۴-۲-۳- المان جامد دومیدانی دوبعدی PLANE13 : ۲۲۱

۴-۲-۴- المان جامد دومیدانی (مکانیکی-فشار منفذی) دوبعدی CPT213 : ۲۲۱

پیوست دوم : خلاصه دستورات برنامه ANSYS جهت انجام محاسبات ۲۲۳

۱- مقدمه : ۲۲۴

۲- پیش پردازنده (Preprocessor) : ۲۲۴

۲-۱- مدل سازی (شکل هندسی) Modeling : ۲۲۴

۲-۲- تعریف انواع المان های مورد نیاز : ۲۲۶

۲-۳- تعریف انواع مصالح موجود (بتن سد ، سیال مخزن ، سنگ پی) : ۲۲۶

۲-۴- شبکه بندی و تعیین نوع المان و نوع مصالح برای هر یک از اجزاء شبکه : ۲۲۷

۲-۵- ریز کردن المانهای اطراف سطح تماس : ۲۲۸

۳- تحلیل گر (Solution) : ۲۲۸
۱-۲-۴- تحلیل استاتیکی سد تحت بار گذاری وزن و نیروی هیدرواستاتیک مخزن : ۲۲۸
۳-۴- پس پردازش (post processing) : ۲۳۱

واژه نامه : ۲۳۲

منابع : ۲۳۶
منابع انگلیسی : ۲۳۷
منابع فارسی : ۲۴۱

عنوان **صفحه**

فصل اول : کلیات ۱

۱-۱ : آرم اداره مهندسی ارتش آمریکا USACE ۵
۱-۲ : آرم اداره عمران آمریکا USBR ۷
۱-۳ : آرم کمیسیون فدرال سیاستگزاری انرژی FERC ۹

فصل دوم : معیارهای پایداری سدهای بتنی وزنی بر اساس آیین نامه های USACE , USBR FERC

۲-۱ : حالت های مختلف واژگونی ۱۴
۲-۲ : حالت های مختلف لغزش ۱۴
۲-۳ : نیروهای برآیند که روی مقطع سد عمل می کنند ۱۶
۲-۴ : نحوه محاسبه توزیع تنش ۱۷
۲-۵ : ارتباط بین توزیع فشار و محل برآیند بر اساس آیین نامه USACE ۱۸
۲-۶ : معیار تنش موهر – کلمب ۱۹
۲-۷ : برآیند کل نیروها که روی مقطع سد با فرض سطح تماس کامل , عمل می کند ۲۴
۲-۸ : ارتباط بین توزیع فشار و محل برآیند بر اساس آیین نامه USBR ۲۶
۲-۹ : محل برآیند طبق آیین نامه FERC ۳۰
۲-۱۰ : توزیع تنش موثر بر اساس آیین نامه FERC ۳۱

فصل سوم : معیار فشار برخاست و سطح ترک خورده برای سدهای بتنی وزنی

۳-۱ : توزیع فشار برخاست بدون زهکش ۳۵
۳-۲ : توزیع فشار برخاست با زهکش ۳۶
۳-۳ : توزیع فشار برخاست با زهکش نزدیک سطح بالادست ۳۷
۳-۴ : توزیع فشار برخاست با زهکش که ترک از آن عبور نکرده است . ۳۹
۳-۵ : توزیع فشار برخاست با زهکش که ترک از آن عبور کرده است . ۴۰
۳-۶ : دیاگرام فشار برخاست در حالتی که صفحه لغزش در اعماق پی باشد ۴۲
۳-۷ : دیاگرام فشار برخاست در حالتی که صفحه لغزش در اعماق پی باشد ۴۲

۳-۸ : گسترش فشار برخاست مضر در طول شکاف های پی ۴۳
۳-۹ : تاثیر شکاف های پی اگر مصالح نفوذپذیر باشد و ناحیه نفوذپذیر با نشیمنگاه سد یا شکاف نفوذناپذیر متقاطع شود . ۴۴
۳-۱۰ : پروفیل برخاست با گالری زهکش در زیر تراز پایاب و سطح تماس کامل سد و پی ۴۶
۳-۱۱ : پروفیل برخاست با گالری زهکش بالای تراز پایاب و سطح تماس کامل سد و پی ۴۷
۳-۱۲ : پروفیل برخاست با گالری زهکش در زیر تراز پایاب و سطح تماس ناقص سد و پی ۴۹
۳-۱۳ : پروفیل برخاست با گالری زهکش بالای تراز پایاب و سطح تماس ناقص سد و پی ۵۰
۳-۱۴ : توزیع فشار برخاست طبق FERC هنگامی که ترک بعد از خط زهکش باشد و اندازه گیری ها نشان دهنده تاثیر زهکش می باشد . ۵۳
۳-۱۵ : ضریب زهکش P برابر ۱ ۵۹
۳-۱۶ : ضریب زهکش P برابر ۰/۴ ۶۰
۳-۱۷ : محاسبات ضریب زهکش P با سطح تماس کامل و وجود پایاب ۶۱

فصل چهارم : معرفی نرم افزارهای به کار برده شده

۴-۱ : روند محاسبه ترک در نرم افزار CADAM ۷۴
۴-۲ : ساختار برنامه CADAM ۷۶
۴-۳ : نحوه دادن مشخصات هندسه سد به برنامه CADAM ۷۷
۴-۴ : نحوه اعمال مشخصات مصالح سد به برنامه ۷۸
۴-۵ : شرایط بارهای مختلف ۷۸
۴-۶ : نحوه انتخاب فشار برخاست با تعیین آیین نامه در برنامه CADAM ۷۹
۴-۷ : حالتهای ترک ۷۹
۴-۸ : ترکیب بارگذاری در برنامه CADAM ۸۰
۴-۹ : ساختار برنامه ANSYS ۸۴
۴-۱۰ : ارتباط بین سه بخش برنامه PHASE2 ۸۸
۴-۱۱ : توسعه ناحیه شکست با افزایش مقدارSRF ۹۰
۴-۱۲ : حالات کاهش مقاومت ۹۰
۴-۱۳ : کرنش برشی ماگزیمم ۹۱
۴-۱۴ : تعیین SRF بحرانی ۹۱

۴-۱۵ : وارد کردن فایلهای برنامه SLIDE به برنامه PHASE2 ۹۲

فصل پنجم : ارزیابی پایداری بر اساس معیارهای آیین نامه های سه گانه و مقایسه آن با روش المان محدود

۵-۱ : نمونه سد وزنی بتنی ۹۵
۵-۲ : توزیع فشار برخاست اولیه مقطع سد نمونه در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۹۷
۵-۳ : توزیع نیروهای وارد بر مقطع سد نمونه با فرض سطح تماس کامل سد و پی ۹۸
۵-۴ : محاسبات پایداری نهایی سد وزنی با طول ترک T = 8.23 ft ۱۰۲
۵-۵ : مدل سد نمونه در برنامه CADAM ۱۰۴
۵-۶ : محاسبات نهایی پایداری و محل برآیند با استفاده از برنامه CADAM ۱۰۴
۵-۷ : محاسبات نهایی تنش موثر با استفاده از برنامه CADAM ۱۰۵
۵-۸ : روند انجام مراحل محاسبه طول ترک با استفاده از برنامه ANSYS ۱۰۸
۵-۹ : شبکه بندی مدل ۱۱۰
۵-۱۰ : ریز کردن المانهای اطراف سطح تماس سد و پی ۱۱۱
۵-۱۱ : اعمال شرایط مرزی تکیه گاه ۱۱۲
۵-۱۲ : فشار برخاست اولیه روی سد با فرض سطح تماس کامل سد و پی ۱۱۲
۵-۱۳ : تغییر شکل سازه در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۱۳
۵-۱۴ : کانتور تغییر شکلها در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۱۳
۵-۱۵ : تنش در جهت Y در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۱۴
۵-۱۶ : نحوه شکستگی منحنی تنش ۱۱۴
۵-۱۷ کانتور تنش درون پی در محل سطح تماس سد و پی ۱۱۵
۵-۱۸ : نمودار توزیع تنش زیر نشیمنگاه سد در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۱۵
۵-۱۹ : نحوه مدل سازی ترک در پاشنه سد ۱۱۶
۵-۲۰ : تغییر شکل سازه با ترک نهایی ۱۱۷
۵-۲۱ : تنش در جهت Y با ترک نهایی ۱۱۷
۵-۲۲ : نمودار توزیع تنش زیر نشیمنگاه سد در حالت نهایی ۱۱۸
۵-۲۳ : توزیع تنشهای عمودی در سطح تماس سد و پی به ازای مقادیر مختلف طول ترک ۱۱۸
۵-۲۴ : تنش در جهت Y ۱۲۰

۵-۲۵ : توزیع فشار برخاست اولیه مقطع سد نمونه در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۲۳
۵-۲۶ : توزیع نیروهای اولیه روی مقطع سد نمونه با فرض سطح تماس کامل سد و پی ۱۲۴
۵-۲۷ : نحوه محاسبه σ_{zu} با استفاده از فشار برخاست اولیه ۱۲۷
۵-۲۸ : توزیع تنش برآیند در حالت سطح تماس کامل سد و پی ۱۲۸
۵-۲۹ : توزیع تنش در حالت نهایی ۱۳۰
۵-۳۰ : محاسبات نهایی پایداری و محل برآیند با استفاده از برنامه CADAM ۱۳۲
۵-۳۱ : محاسبات نهایی تنش موثر با استفاده از برنامه CADAM ۱۳۲
۵-۳۲ : فشار برخاست اولیه روی سد با فرض سطح تماس کامل سد و پی ۱۳۴
۵-۳۳ : تغییر شکل سازه ۱۳۵
۵-۳۴ : کانتور تغییر شکلها ۱۳۵
۵-۳۵ : تنش در جهت Y ۱۳۶
۵-۳۶ کانتور تنش درون پی در محل سطح تماس سد و پی ۱۳۶
۵-۳۷ : نمودار توزیع تنش زیر نشیمنگاه سد ۱۳۷
۵-۳۸ : تغییر شکل سازه با ترک نهایی ۱۳۸
۵-۳۹ : تنش در جهت Y با ترک نهایی ۱۳۸
۵-۴۰ : نمودار تنش زیر نشیمنگاه سد در حالت نهایی ۱۳۹
۵-۴۱ : توزیع تنشهای عمودی در سطح تماس سد و پی به ازای مقادیر مختلف طول ترک ۱۳۹
۵-۴۲ : تنش در جهت Y ۱۴۱
۵-۴۳ : تغییر شکل سازه با ترک نهایی ۱۴۵
۵-۴۴ : تنش در جهت Y با ترک نهایی ۱۴۵
۵-۴۵ : کانتور تنش درون پی ۱۴۶
۵-۴۶ : نمودار توزیع تنش زیر نشیمنگاه سد در حالت ترک نهایی ۱۴۶

فصل ششم : ارزیابی پایداری سد در صفحه لغزش در اعماق پی

۶-۱ : نمونه سد وزنی بتنی ۱۵۲
۶-۲ : توزیع فشار برخاست برای مقطع سد وزنی نمونه ۱۵۳
۶-۳ : شبکه بندی مدل ۱۵۷
۶-۴ : تغییر شکل سازه ۱۵۸

۶-۵ : تنش در جهت نرمال بر سطح AC ۱۵۸
۶-۶ : تغییرات ضریب اطمینان لغزشی در امتداد صفحه لغزش AC با Er = 10 GPa ۱۵۹
۶-۷ : تنش در جهت نرمال بر صفحه AC با Er = 2.74 GPa ۱۶۰
۶-۸ : تغییرات ضریب اطمینان لغزشی در امتداد صفحه لغزش AC با Er = 2.74 GPa ۱۶۰
۶-۹ : تغییرات ضریب اطمینان لغزشی در امتداد صفحه لغزش AC با Er = 15 GPa ۱۶۱
۶-۱۰ : هندسه سیستم پی سازه ۱۶۲
۶-۱۱ : سیستم پی سازه ,گوه های سازه ای , محرک و مقاوم ۱۶۲
۶-۱۲ : مسئله نمونه سد وزنی ۱۶۵
۶-۱۳ : گوه محرک و مقاوم در معادله کلی ۱۶۶
۶-۱۴ : خلاصه محاسبه نیروهای گوه ای با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان آزمایشی ۱۷۰
۶-۱۵ : نمودار محاسبه ضریب اطمینان ۱۷۱
۶-۱۶ : شبکه بندی مدل اجزاء محدود ۱۷۵
۶-۱۷ : فشار خلل و فرج درون پی ۱۷۶
۶-۱۸ : کانتور کرنش برشی پلاستیک با FS = 1 ۱۷۷
۶-۱۹ : کانتور کرنش برشی پلاستیک با FS = 1.3 ۱۷۸
۶-۲۰ : کانتور کرنش برشی پلاستیک با FS = 1.5 ۱۷۸

پیوست اول : روشهای تحلیل سدهای بتنی وزنی

A-1 : مقطعی از یک کنسول کناری موازی با ترکیب بارگذاری عادی ۱۸۸
A-2 : فرمولهای تنش برای سد وزنی بتنی ۱۹۲
A-3 : تنش ها در سد وزنی مستقیم ۱۹۳
A-4 : نمای شماتیک سازه بتنی . تبدیل سد وزنی به بلوک های عمودی ۱۹۶
A-5 : سیستم سازه کنسولی و پیچشی , درزهای غیر دوغابی ۱۹۸
A-6 : جهت مثبت حرکات , نیروها , لنگرها و بارها ۲۰۰
A-7 : تغییر شکل پی – مقادیر K1 در معادله A-3 ۲۰۲
A-8 : تغییر شکل پی – مقادیر K_3 در معادله A-5 ۲۰۳
A-9 : تغییر شکل پی – مقادیر K_4 در معادله A-6 ۲۰۴
A-10 : تغییر شکل پی – مقادیر K_5 در معادله A-4 ۲۰۵

A-11 : سطح بارگذاری شده پی ۲۰۶
A-12 : بارهای نرمال واحد روی یک کنسول ۲۰۹
A-13 : بارهای پیچشی واحد روی یک کنسول ۲۱۰
A-14 : منحنی محاسبه ضریب J بدلیل پیچش یک شافت از مقطع عرضی مستطیلی ۲۱۲
A-15 : بارها روی یک المان افقی ۲۱۳
A-16 : نمونه هایی از توابع شکل مورد استفاده برای المان خطی i-j ۲۱۶
A-17 : هندسه المان PLANE42 ۲۲۰
A-18 : هندسه المان PLANE13 ۲۲۱
A-19 : هندسه المان CPT213 ۲۲۲

پیوست دوم : خلاصه دستورات برنامه ANSYS جهت انجام محاسبات

B-1 : تعریف نقاط کلیدی ۲۲۴
B-2 : تعریف خطوط ۲۲۵
B-3 : تعریف سطوح ۲۲۶
B-4 : شبکه بندی مدل ۲۲۷
B-5 : ریز کردن المانهای اطراف سطح تماس سد و پی ۲۲۸
B-6 : اعمال شرایط مرزی تکیه گاه ۲۲۹
B-7 : فشار برخاست اولیه روی سد با فرض سطح تماس کامل سد و پی ۲۳۰
B-8 : تغییر شکل سازه ۲۳۱