دانشگاه مازندران

دانشکده عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد گرایش خاک و پی

عنوان:

ارزیابی رفتار حدفاصل رویه بتنی و بدنه سنگریزه‌ای در سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی تحت زلزله های شدید

استاد راهنما:

دکتر رضا نورزاد

استاد مشاور:

دکتر عسکر جانعلیزاده چوب بستی

نگارش :

طهمورث نجفی

شهریور ۱۳۸۸

سپاسگذاری :

سپاس بیکران یزدان پاک را که به
من فرصت آزاد اندیشیدن بخشید.
بر خود لازم میدانم از استاد گرانقدر

آقای دکتر نورزاد

که با راهنماییهای خود، انجام این
پایان نامه را امکان پذیر ساختند،
نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از استاد گرامی، آقای دکتر جانعلیزاده که مشاوره این پایان‌نامه

را بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تقدیم به

مادرم

که آموخته هایم را مدیون فداکاری و محبت او می دانم

و

پدرم

که همواره مشوق و راهنمایم بوده است

چکیده

یکی از بهترین سدهای خاکی و سنگریزه‌ای، سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی می‌باشد که از دهه ۷۰ میلادی در دنیا گسترش روزافزونی داشته است. در کشور ما نیز، طرح و اجرای این نوع سدها در حال گسترش می‌باشد. با توجه به استعداد لرزه‌خیزی بالا در اکثر مناطق کشور، ضرورت مطالعه رفتار سدهای خاکی و سنگریزه‌ای تحت بارگذاری زلزله مهم به نظر می‌آید. رفتار دال رویه، به خصوص اختلاف سختی میان دال رویه و بدنه سنگریز، یکی از نگرانی‌های موجود در بررسی رفتار سد سنگریزه‌ای بارویه بتنی به هنگام زلزله، خصوصاً زلزله‌های شدید می‌باشد. امکان وقوع ترک‌خوردگی، بلندشدگی و شکست در دال رویه در این نوع سد تحت زلزله‌های شدید وجود دارد که می تواند موجب نشت آب مخزن در درون سد واحتمال به خطر افتادن پایداری سد گردد. در این پژوهش، با انجام مجموعه‌ای از تحلیل‌های دینامیکی دو بعدی با استفاده از روش اجزاء محدود ، رفتار سد به هنگام زلزله‌های شدید، بررسی می گردد و تغیر شکل های ایجاد شده در سد و نیروها و تنش‌های به وجود آمده در دال بتنی مطالعه می‌شود. تأثیر پارامترهایی مانند ارتفاع، نوع پی، سختی مصالح سنگریز و مشخصات تحریک ورودی مورد بررسی قرار می گیرند. به این منظور، الگوی سد سنگریزه‌ای با رویه بتنی با سه ارتفاع ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ متری تحت شتاب نگاشتهای زلزله طبس، بم، ناغان و منجیل مورد تحلیل قرار می گیرند. در این الگوسازی رفتار مصالح سنگریز، کشسان-مومسان، دال رویه به صورت کشسان و از معیارکولن، برای الگوسازی اندرکنش میان دال رویه و بدنه سنگریز استفاده شده است. بر اساس نتایج دیده می‌شود، بیشینه تغییر مکان های افقی و قائم در اثر زلزله در تاج سد مشاهده می‌شود ومقادیر بیان شده برای سدهای ساخته شده بر روی پی سنگی و صلب ، در زلزله های میدان نزدیک بیش از میدان دور می‌باشد. همچنین در زلزله های میدان دور و برای الگوهای ساخته شده بر روی پی سنگی، مشاهده می‌شود که تأثیر افزایش سختی بدنه بر روی کاهش تغییر شکل قائم تاج سد با افزایش ارتفاع سد بیشتر می‌شود. این مقدار کاهش تغییر شکل برای سد ۱۵۰ متری، تحت زلزله ناغان بیشینه می‌باشد و برابر با ۲۸ درصد است. با تغییر نوع پی سد از آبرفتی به سنگی، کاهش تغییر شکل قائم و افقی در تاج سد مشهود است و میزان این تغییرات با تغییر نوع پی از سنگی به صلب، کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع سد، مقدار تنش بیشینه فشاری و کششی در دال برای هردو پی سنگی و آبرفتی افزایش می‌یابد. نسبت تنش فشاری بیشینه در دال، برای سد برروی پی سنگی نسبت به پی آبرفتی، با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سد سنگریزه‌ای با رویه بتنی، تحلیل دو بعدی، زلزله شدید، تحلیل دینامیکی، رفتار غیر خطی

فهرست مطالب

عنـــــــــــوان	صفحه
چکیده	الف
فصل اول: دیباچه	
۱-۱- کلیات	۱
۱-۲- ضرورت انجام پژوهش	۱
۱-۳- اهداف پژوهش	۲
۱-۲- ساختار پایان نامه	۳
فصل دوم: مروری بر متون فنی	
۲-۱- دیباچه	۵
۲-۲- قسمت های گوناگون سد سنگریزه‌ای با رویه بتنی(CFRD)	٦
۲-۲-۱- بدنه سنگریزه ای	٦
۲-۲-۱-۱- منطقه یک	۷
۲-۲-۱-۲- منطقه دو	۸
۲-۲-۱-۳- منطقه سه	۹
الف) ناحیه 3A	۹
ب) ناحیه 3B , 3C	۹
۲-۲-۱-٤- دانه بندی سنگریز و کیفیت سنگها	۱۰
۲-۲-۲- دال پاشنه	۱۱
۲-۲-۳- رویه بتنی	۱۲
۲-۲-۳-۱- آرماتور گذاری در دال بتنی	۱٤
۲-۲-۳-۲- درز محیطی	۱۵
۲-۲-٤- دیوار جان پناه و گرده	۱٦
۲-۲-۵- تحلیل پایداری سدهای CFR و نشست پس از ساخت	۱۷
۲-۳- مروری بر روشهای تحلیل دینامیکی سدهای خاکی و سنگریزه ای	۱۹

۲-۳-۱- روش شبه استاتیک ۱۹
۲-۳-۲- روشهای تحلیل تغییر شکل ماندگار ۲۰
۲-۳-۳- روشهای عددی ۲۳
۲-۳-۳-۱- نرم افزارهای تنش کل ۲٤
۲-۳-۳-۲- نرم‌افزارهای تنش موثر ۲٦
۲-٤- پژوهشهای انجام شده در زمینه تحلیل دینامیکی سد CFR ۲۸

فصل سوم: الگوسازی عددی

۳-۱- دیباچه ۵۰
۳-۲- آشنایی با نرم افزار PLAXIS ۵۰
۳-۲-۱- زیر برنامه ورودی ۵۲
۳-۲-۱-۱- الگوهای تحلیلی ۵۲
الف- الگوی کرنش صفحه‌ای ۵۲
ب- الگوی تقارن محوری ۵۳
۳-۲-۱-۲- اجزاء ۵۳
۳-۲-۱-۳- ویژگی‌های مصالح ۵٤
۳-۲-۱-٤- الگوهای رفتاری خاک ۵۵
الف- الگوی خطی کشسان ۵۵
ب- الگوی مور کولن(MC) ۵٦
پ- الگوی خاک سخت شونده (HS) ۵٦
ت- الگوی نرم شوندگی- خزش خاک (SSC) ۵۷
ث- الگوی خاک نرم شونده (SS) ۵۸
ج- الگوی سنگ درزه‌دار (JR) ۵۸
۳-۲-۱-۵- شرایط مرزی ۵۹
۳-۲-۱-٦- تولید شبکه اجزاء محدود ۵۹
۳-۲-۱-۷- شرایط اولیه ٦۰
۳-۲-۲- زیربرنامه محاسبات ٦۰
۳-۲-۲-۱- محاسبات مومسان ٦۱
۳-۲-۳- زیربرنامه خروجی ٦۲

۳-۲-٤- زیربرنامه منحنی‌ها ٦٢
۳-۳- ویژگی‌های الگوسازی عددی ٦٣
۳-۳-۱- هندسه الگوها ٦٣
۳-۳-۲- الگوسازی مصالح ٦٤
۳-۳-۲-۱- الگوسازی بدنه سنگریز و پی ٦٤
الف- معیار تسلیم ٦٨
ب- رفتار پس از تسلیم ٦٨
پ- الگوهای کشسان- مومسان ٦٩
پ-۱- ضریب کشسانی (E) ٧٤
پ-۲- ضریب پواسون (υ) ٧٧
پ-۳- چسبندگی (C) ٧٧
پ-٤- زاویه اصطکاک (ϕ) ٧٧
پ-۵- زاویه اتساع (ψ) ٧٨
۳-۳-۲-۲- الگوسازی دال رویه ٧٩
۳-۳-۲-۳- الگوسازی اجزاء حد فاصل ٨٢
۳-۳-۳- شرایط مرزی استاتیکی ٨۵
۳-۳-٤- شبکه اجزاء محدود ٨٦
۳-۳-۵- ایجاد شرایط اولیه ٨٧
۳-۳-٦- ساخت مرحله‌ای سد ٨٧
۳-۳-۷- بارگذاری دینامیکی ٨٩
۳-۳-۸- شرایط مرزی دینامیکی ٨٩
۳-۳-۹- میرایی ٩١
۳-۳-۱۰- بارگذاری زلزله ٩٣
۳-۳-۱۱- نحوه انجام تحلیل دینامیکی ٩٧
۳-٤- مراحل الگوسازی سد CFR در PLAXIS ١٠٠
۳-٤-۱-تشکیل هندسه الگو ١٠١
۳-٤-۲- تولید تنشهای اولیه در پی ١٠٤
۳-٤-۳- ساخت مرحله‌ای خاکریز سد و آبگیری مخزن ١٠٤
۳-٤-٤- تحلیل دینامیکی سد CFR ١٠۵

۳-۵- اعتبار بخشی به الگوسازی ۱۰۵

فصل چهارم: نتایج تحلیل دینامیکی

٤-۱- دیباچه ۱۱۱
٤-۲- تغییر شکل‌های تاج سد ۱۱۱
٤-۳- تاریخچه شتاب ۱٤۲
٤-٤- تنشهای فشاری و کششی بیشینه در دال رویه ۱۵۲
٤-۵- تنش برشی در محیط حد فاصل ۱٦۵

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱- دیباچه ۱٦٦
۵-۲- خلاصه نتایج تحلیل های عددی ۱٦٦
۵-۲- پیشنهادات برای پژوهشهای بعدی ۱٦۹

مراجع ۱۷۰
چکیده انگلیسی ۱۷٦

فهرست اشکال و نمودارها

شکل(۲-۱): منطقه بندی بدنه CFRD با سنگهای سالم ۷

شکل(۲-۲): قالب لغزان که برای اجرای دال بتنی در سد خائولائم استفاده شد ۱٤

شکل(۲-۳): مقطع عرضی و جزئیات مربوط به دال پاشنه و درز محیطی ۱٤

شکل (۲-٤): جزئیات تاج برای الف) سد گولیلاس ، ب) سد ماکاکوا ۱۷

شکل(۲-۵): مقایسه نشست تاج برای سدهای سنگریزه ای با سنگریز ریختنی و متراکم ۱۸

شکل(۲-٦): انتگرال گیری از تاریخچه شتاب-زمان برای تعیین سرعتها و جا به جایی ها ۲۳

شکل(۲-۷): محاسبه نشست تاج در سدهای سنگریز ۳۲

شکل(۲-۸): تاثیر نیروی هیدرودینامیک بر روی شتاب ایجاد شده در بدنه و دال ۳٤

شکل(۲-۹): تغییرات ضریب برشی ومیرایی نسبت به تنجش برشی دوره ای ، مربوط به مصالح سنگریز استفاده شده در سد ۳۷

شکل(۲-۱۰): شبکه تفاضل محدود الگو شده ٤۱

شکل(۲-۱۱): توزیع مقادیر زاویه اصطکاک بعد از اتمام آبگیری مخزن ٤۲

شکل(۲-۱۲): توزیع ضریب اطمینان در بدنه سد ، حین زلزله ٤۳

شکل (۳-۱): الگو های تحلیلی نرم افزارPLAXIS. الف) الگوی تقارن محوری و ب) الگوی کرنش صفحه ای ۵۳

شکل (۳-۲): وضعیت قرار گیری گره ها و نقاط تنش در اجزاء خاک ۵٤

شکل (۳-۳): هندسه سد الگوسازی شده در پژوهش ٦٤

شکل (۳-٤): تغییرات تنش – کرنش را برای یک مصالح کشسان- مومسان ٦۷

شکل (۳-۵): قوانین سخت شوندگی الف) سینماتیک ب) همسانگرد ۷۱

شکل(۳-٦): سطح تسلیم مور کولن در فضای تنشهای اصلی ۷۳

شکل(۳-۷): تعریف E_i و E_{50} ۷۵

شکل(۳-۸): نمودار تعیین ضریب کشسانی سکانت برای مصالح سنگریز متراکم بر اساس اندازه دانه ۷٦

شکل (۳-۹): دایره مور و پوش گسیختگی در الگوی رفتاری مور- کولن ۷۸

شکل (۳-۱۰): موقعیت گره ها و نقاط تنش در جزء تیر سه و پنج گره‌ای ۸۰

شکل (۳-۱۱): موقعیت گره ها و نقاط تنش در جزء حد فاصل و اتصال آنها به جزءخاک ۸۲

شکل (۳-۱۲): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، جابه‌جایی(زلزله طبس) ۹٤
شکل (۳-۱۳): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، جابه‌جایی (زلزله بم) ۹۵
شکل (۳-۱٤): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، جابه‌جایی (زلزله ناغان) ۹٦
شکل (۳-۱۵): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، جابه‌جایی (زلزله منجیل) ۹۷
شکل (۳-۱٦): پنجره مربوط به انتخاب نوع الگو و جزء در نرم افزار PLAXIS ۱۰۱
شکل(۳-۱۷): پنجره مربوط به انتخاب و تعریف گروه مصالح در نرم افزار PLAXIS ۱۰۲
شکل(۳-۱۸): الگوی اجزاء محدود سد ۱۵۰ متری ۱۰۳
شکل(۳-۱۹): سد الگوسازی شده توسط اددین ۱۰٦
شکل(۳-۲۰): طیف پاسخ زلزله های استفاده شده در پژوهش اددین ۱۰۸
شکل(۳-۲۱): تغییرات بیشینه شتاب افقی مطلق در ارتفاع بر روی خط مرکزی سد (مورگان هیل) ۱۰۸
شکل(۳-۲۲): تغییرات بیشینه جابه جایی افقی کشسان در ارتفاع بر روی خط مرکزی سد (مورگان هیل) ۱۰۹
شکل(۳-۲۳): تغییرات بیشینه شتاب افقی مطلق در ارتفاع بر روی خط مرکزی سد (کوالینگا) ۱۰۹
شکل(۳-۲٤): تغییرات بیشینه جابه جایی افقی کشسان در ارتفاع بر روی خط مرکزی سد (کوالینگا) ۱۱۰
شکل(٤-۱): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱۱۳
شکل(٤-۲): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۱۳
شکل(٤-۳): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱۱٤
شکل(٤-٤): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱۱٤
شکل(٤-۵): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱۱۵
شکل(٤-٦): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۱۵

شکل(٤-٧): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱۱٦
شکل(٤-٨): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱۱٦
شکل(٤-٩): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱۱۷
شکل(٤-١٠): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۱۷
شکل(٤-١١): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی صلب تحت زلزله طبس ۱۱۸
شکل(٤-١٢): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱۱۸
شکل(٤-١٣): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱۱۹
شکل(٤-١٤): تاریخچه جابه‌جایی افقی نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی صلب تحت زلزله منجیل ۱۱۹
شکل(٤-١٥): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱۲۰
شکل(٤-١٦): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۲۰
شکل(٤-١٧): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی صلب تحت زلزله طبس ۱۲۱
شکل(٤-١٨): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱۲۱
شکل(٤-١٩): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱۲۲
شکل(٤-٢٠): تاریخچه جابه‌جایی قائم نقطه میانی تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو، بر روی پی صلب تحت زلزله منجیل ۱۲۲

شکل(٤-٢١): تغییرات تغییر شکل افقی در ارتفاع، برای سدهای ۵۰،۱۰۰ و ۱۵۰ متری بر روی پی سنگی و تحت زلزله طبس ۱۲۳
شکل(٤-٢٢): تغییرات تغییر شکل افقی در ارتفاع، برای سدهای ۵۰،۱۰۰ و ۱۵۰ متری بر روی پی سنگی و تحت زلزله منجیل ۱۲۳
شکل(٤-٢٣): تغییرات تغییر شکل افقی در ارتفاع، برای سدهای ۵۰،۱۰۰ و ۱۵۰ متری بر روی پی آبرفتی و تحت زلزله طبس ۱۲٤
شکل(٤-٢٤): تغییرات تغییر شکل قائم در ارتفاع، برای سدهای ۵۰،۱۰۰ و ۱۵۰ متری بر روی پی سنگی و تحت زلزله طبس ۱۲٤
شکل(٤-٢٥): تغییرات تغییر شکل قائم در ارتفاع، برای سد ۵۰ متری بر روی پی سنگی و تحت زلزله های طبس،بم،ناغان و منجیل ۱۲۵
شکل(٤-٢٦): تغییرات تغییر شکل قائم در ارتفاع، برای سد ۵۰ متری بر روی پی آبرفتی و تحت زلزله های طبس،بم،ناغان و منجیل ۱۲۵
شکل(٤-٢٧): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۲۹
شکل(٤-٢٨): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله بم ۱۲۹
شکل(٤-٢٩): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله ناغان ۱۳۰
شکل(٤-٣٠): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱۳۰
شکل(٤-٣١): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله طبس ۱۳۱
شکل(٤-٣٢): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله بم ۱۳۱
شکل(٤-٣٣): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله ناغان ۱۳۲

شکل(٤-٣٤): اثر ارتفاع سد(سختی یک) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله منجیل ١٣٢
شکل(٤-٣٥): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله طبس ١٣٣
شکل(٤-٣٦): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله بم ١٣٣
شکل(٤-٣٧): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله ناغان ١٣٤
شکل(٤-٣٨): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله منجیل ١٣٤
شکل(٤-٣٩): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله طبس ١٣٥
شکل(٤-٤٠): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله بم ١٣٥
شکل(٤-٤١): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله ناغان ١٣٦
شکل(٤-٤٢): اثر ارتفاع سد(سختی دو) بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی، آبرفتی و صلب تحت زلزله منجیل ١٣٦
شکل(٤-٤٣): اثر سختی بدنه سد بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی تحت زلزله طبس ١٣٨
شکل(٤-٤٤): اثر سختی بدنه سد بر روی تغییر شکل قائم تاج برای پی سنگی تحت زلزله ناغان ١٣٨
شکل(٤-٤٥): اثر سختی بدنه سد بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی تحت زلزله طبس ١٣٩
شکل(٤-٤٦): اثر سختی بدنه سد بر روی تغییر شکل افقی تاج برای پی سنگی تحت زلزله ناغان ١٣٩
شکل(٤-٤٧): اثر نوع پی بر روی تغییر شکل قائم تاج برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله بم ١٤٠

شکل(٤-٤٨): اثر نوع پی بر روی تغییر شکل قائم تاج برای سد با ارتفاع ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متر تحت زلزله ناغان ١٤٠
شکل(٤-٤٩): اثر نوع پی بر روی تغییر شکل افقی تاج برای سد با ارتفاع ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متر تحت زلزله بم ١٤١
شکل(٤-٥٠): اثر نوع پی بر روی تغییر شکل افقی تاج برای سد با ارتفاع ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متر تحت زلزله ناغان ١٤١
شکل(٤-٥١): تاریخچه شتاب تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک ، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ١٤٤
شکل(٤-٥٢): تاریخچه شتاب تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه یک ، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ١٤٤
شکل(٤-٥٣): تاریخچه شتاب تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو ، بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ١٤٥
شکل(٤-٥٤): تاریخچه شتاب تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو ، بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ١٤٥
شکل(٤-٥٥): تاریخچه شتاب تاج سد ۱۰۰،۵۰ و ۱۵۰ متری با سختی بدنه دو ، بر روی پی صلب تحت زلزله منجیل ١٤٦
شکل(٤-٥٦): اثر ارتفاع سد با سختی بدنه یک بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله طبس ١٤٦
شکل(٤-٥٧): اثر ارتفاع سد با سختی بدنه یک بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله بم ١٤٧
شکل(٤-٥٨): اثر ارتفاع سد با سختی بدنه دو بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله طبس ١٤٧
شکل(٤-٥٩): اثر ارتفاع سد با سختی بدنه دو بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی و آبرفتی تحت زلزله بم ١٤٨
شکل(٤-٦٠): اثر سختی بدنه سد بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی تحت زلزله طبس ١٤٨
شکل(٤-٦١): اثر سختی بدنه سد بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی تحت زلزله بم ١٤٩

شکل(٤-٦٢): اثر سختی بدنه سد بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی تحت زلزله ناغان ١٤٩
شکل(٤-٦٣): اثر سختی بدنه سد بر روی شتاب بیشینه تاج برای پی سنگی تحت زلزله منجیل ١٥٠
شکل(٤-٦٤): اثر نوع پی بر روی شتاب بیشینه تاج برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله طبس ١٥٠
شکل(٤-٦٥): اثر نوع پی بر روی شتاب بیشینه تاج برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله بم ١٥١
شکل(٤-٦٦): اثر نوع پی بر روی شتاب بیشینه تاج برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله ناغان ١٥١
شکل(٤-٦٧): اثر نوع پی بر روی شتاب بیشینه تاج برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله منجیل ١٥٢
شکل(٤-٦٨): تغییرات تنش فشاری و کششی بیشینه در دال رویه با ستبرای یک در ارتفاع برای پی سنگی تحت زلزله طبس ١٥٥
شکل(٤-٦٩): تغییرات تنش فشاری و کششی بیشینه در دال رویه با ستبرای یک در ارتفاع برای پی آبرفتی تحت زلزله طبس ١٥٥
شکل(٤-٧٠): تغییرات تنش فشاری و کششی بیشینه در دال رویه با ستبرای دو در ارتفاع، برای پی سنگی تحت زلزله طبس ١٥٦
شکل(٤-٧١): تغییرات تنش فشاری و کششی بیشینه در دال رویه با ستبرای دو در ارتفاع، برای پی آبرفتی تحت زلزله طبس ١٥٦
شکل(٤-٧٢): اثر ارتفاع بر روی تنش فشاری بیشینه دال برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله طبس ١٥٧
شکل(٤-٧٣): اثر ارتفاع بر روی تنش فشاری بیشینه دال برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله ناغان ١٥٧
شکل(٤-٧٤): اثر ارتفاع بر روی تنش کششی بیشینه دال برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله طبس ١٥٨
شکل(٤-٧٥): اثر ارتفاع بر روی تنش کششی بیشینه دال برای سد با ارتفاع ١٠٠،٥٠ و ١٥٠ متر تحت زلزله ناغان ١٥٨

شکل(٤-٧٦): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو ستبرای دال بر روی پی سنگی و تحت زلزله طبس ۱۵۹
شکل(٤-٧٧): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو ستبرای دال بر روی پی سنگی و تحت زلزله طبس ۱۵۹
شکل(٤-٧٨): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو ستبرای دال بر روی پی آبرفتی و تحت زلزله طبس ۱٦۰
شکل(٤-٧٩): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو ستبرای دال بر روی پی آبرفتی و تحت زلزله طبس ۱٦۰
شکل(٤-٨٠): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱٦۱
شکل(٤-٨١): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱٦۱
شکل(٤-٨٢): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱٦۲
شکل(٤-٨٣): تنش فشاری بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱٦۲
شکل(٤-٨٤): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی سنگی تحت زلزله طبس ۱٦۳
شکل(٤-٨٥): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی سنگی تحت زلزله منجیل ۱٦۳
شکل(٤-٨٦): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی آبرفتی تحت زلزله طبس ۱٦٤
شکل(٤-٨٧): تنش کششی بیشینه برای سد با ارتفاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ و دو مقدار سختی برای مصالح سنگریز بر روی پی آبرفتی تحت زلزله منجیل ۱٦٤

فهرست جداول

جدول(۲-۱): شیب های توصیه شده توسط سید و همکاران برای سد CFR برای مناطق لرزه خیز ۲۹

جدول(۲-۲): ویژگی های نسبت داده شده به الگو برای تحلیل ٤٧

جدول(۳-۱): پارامترهای مکانیکی بدنه سنگریز و پی ۷۹

جدول(۳-۲): پارامترهای مکانیکی مربوط به دال رویه ۸۱

جدول(۳-۳): مشخصات زلزله های استفاده شده در پژوهش اددین ۱۰۷

فصل اول : دیباچه

۱-۱- کلیات

با توجه به محدودیت منابع آب در مقایسه با جمعیت، نقش انکار ناپذیر توسعه صنعت سد سازی در پیشرفت هر چه بیشتر کشور را نمی‌توان نادیده گرفت. سدهای سنگریزه ای[۱] یا پاره سنگی، یکی از انواع سدهای خاکی[۲] می‌باشند، که قسمت عمده ای از حجم بدنه آنها، از سنگریزه‌ها و قطعات سنگی تشکیل شده است. در سدهای سنگریزه ای وجود نوعی عضو آب بند ضروری می-باشد و بر اساس روش ساخت ، سیر تکاملی سریعی داشته اند. سد سنگریزه ای با رویه بتنی[۳] یکی از شاخص‌ترین سدهای سنگریزه‌ای می باشد که رویه بتنی ، نقش عضو آب بند را در سد انجام می‌دهد.

با توجه به استعداد لرزه‌خیزی بالا در اکثر مناطق کشور، ضرورت مطالعه رفتار سدهای خاکی و سنگریزه‌ای تحت بارگذاری زلزله مهم به نظر می‌آید و بنابراین ارزیابی دینامیکی این نوع سد برای بررسی هر چه بهتر و دقیقتر رفتار آن به منظور طراحی و اجرا، اجتناب ناپذیر می‌باشد. در نظر گرفتن رفتار غیر خطی و غیر کشسان برای مصالح سنگریزه‌ای می‌تواند ارزیابی دقیق‌تری از رفتار این نوع سد، به هنگام زلزله و بعد از آن نتیجه دهد. بررسی دقیق پایدارهای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای در برابر زلزله، از پیچیده‌ترین مسایل در حوزه سدهای خاکی می‌باشد که علت این پیچیدگی و عدم قطعیت در نتیجه‌گیری، تنوع و گوناگونی معلومات و روابط بین آنها در تحلیل این مسأله است.

۱-۲- ضرورت انجام پژوهش

بر اساس نظر پژوهشگران، در صورت اجرای صحیح، سد CFR مشکلی از نظر پایداری در حالت استاتیکی نخواهد داشت و در هنگام زلزله، به علت نفوذ پذیری بالای بدنه، فشار منفذی

---

[۱] - Rockfill Dams
[۲] - Embankment Dam
[۳] - Concrete Face Roch fill Dam (CFRD)

اضافی در بدنه سد به وجود نمی‌آید و پایداری سد، کمتر به خطر می‌افتد. اما بایستی درنظر داشت که دال رویه بتنی به عنوان جزء آب‌بند در سد CFR نقش مهمی در بررسی رفتار سد بـه هنگـام زلزلـه، خصوصاً زلزله‌های شدید، ایفاء می‌کند.

سختی دال رویه به مراتب بیشتر از سختی بدنه سنگریزه می‌باشد و انـدرکنش قابـل ملاحظـه‌ای میان دال رویه و بدنه سنگریزه‌ای وجود دارد. رفتار دال رویه، به خصوص اختلاف سختی بیـان شـده میان دال و بدنه سنگریز، یکی از نگرانی‌های موجود در بررسی رفتار سد سنگریزه‌ای با رویه بتنی به هنگام زلزله، خصوصاً زلزله‌های شدید، می‌باشد. اندرکش یاد شـده نقـش مهمـی در مقـدار و جهـت تنشهای به وجود آمده در دال رویه دارد که وجود این تنشها و نیروهای داخلی در دال رویه، می‌تواند موجب وقوع ترک خوردگی، بلند شدگی و شکست در دال رویه شود. قابل بیـان اسـت کـه احتمـال وقوع پدیده‌های فوق به هنگام زلزله‌های شدید، بیشتر می‌باشد که می‌تواند موجب نـشت آب مخـزن در درون سد و احتمال به خطر افتادن پایداری سد گردد. با توجه به زلزله‌خیز بودن ایران و گـسترش روزافزون ساخت این نوع سد در کشور، بررسی رفتار لرزه‌ای آن تحت زلزله‌های شدید، به خصوص تنشها و تغییرشکلهای دال رویه، اهمیت پیدا می‌کند.

۱-۳- اهداف پژوهش

هدف از این پژوهش، ارزیابی رفتار دینامیکی سد CFR تحت زلزله‌هـای شـدید، بـه خـصوص تنشها و تغییرشکلهای ایجاد شده در دال رویه - لغزش و جداشدگی نسبت به بدنه سنگریز – تحت اثر زلزله می‌باشد. همچنین تأثیر پارامترهایی مانند ارتفاع سد، ویژگی‌های دینامیکی مصالح بدنه، نـوع پی، ستبرای دال رویه و مشخصات تحریک ورودی – زلزلـه میـدان نزدیـک و میـدان دور – در ایـن ارزیابی مدنظر قرار می‌گیرد. در یک ساختگاه هم رخداد زلزله میدان دور و هـم وقـوع زلزلـه میـدان