

**به نام خالق اندیشه**

بسمه تعالی



دانشگاه مازندران

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته خاک و پی

موضوع:

بررسی ضریب لرزه‌ای در تحلیل شبه‌استاتیکی سدهای خاکی، با توجه به  
ویژگیهای لرزه‌خیزی استان مازندران

استاد راهنما:

دکتر رضا نورزاد

استاد مشاور :

دکتر عیسی شوش پاشا

نگارش:

ولی قاسمی نژاد

شهریور ۸۸

## چکیده

بررسی دقیق پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله، از پیچیده‌ترین مسائل در حوزه سازه‌های خاکی می‌باشد. تنوع ویژگیهای دینامیکی بدنه سدهای خاکی و تفاوت‌های اساسی ویژگیهای زلزله از قبیل محتوای بسامدی، بزرگا، مدت اثر زلزله و بیشینه دامنه، عواملی هستند که در واکنش دینامیکی سد نقش مهمی ایفا می‌کنند. اما از آنجائیکه در مطالعات مرحله اول یا توجیهی، به دلیل صرفه‌جویی در وقت و هزینه، استفاده از نتایج تحلیل‌های شبه استاتیکی به منظور ارزیابی پایداری لرزه‌ای این سازه‌ها در همه مراجع معتبر پیشنهاد می‌گردد، تعیین ضریب لرزه‌ای و همچنین ضریب اطمینان مناسب، گام مهمی در این تحلیل‌ها می‌باشد. در این پژوهش عواملی مانند اثرات ارتفاع سد (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر)، میرایی مصالح (دو، سه و پنج درصد)، ویژگیهای لرزه زمین ساخت استان مازندران (شتاب‌نگاشت ساختگی استفاده شده در سدهای البرز بابل، هراز آمل، تجن ساری و گلورد نکا)، در تحلیل دینامیکی با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS نسخه ۸/۲ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. بر اساس نتایج، مشاهده شد که برای سه ارتفاع، موقعیت رخداد بیشینه نشست، از ژرفای یک تا پنج متری تاج، متغیر است. همچنین با افزایش ارتفاع سد، برای شتاب‌نگاشت‌های گوناگون، از بیشینه شتاب افقی، به میزان ۰/۳۲ تا ۰/۵۲ کاسته می‌شود. بر مبنای ضرایب لرزه‌ای و اطمینان حاصل شده از تحلیل شبه استاتیکی با نرم‌افزار SLOPE/W، بازه‌هایی برای نشست و جابه‌جایی افقی پیش‌بینی و با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی مقایسه گردید. این ضرایب لرزه‌ای به بزرگا و بیشینه شتاب محتمل زلزله ارتباط داده شد.

واژگان کلیدی: سد خاکی، تحلیل شبه استاتیکی، تحلیل دینامیکی، شتاب‌نگاشت ساختگی، میرایی

سپاسگزاری :

سپاس بیکران یزدان پاک را  
که به ما قدرت تدبیر بخشید تا از جهالت رهایی یابیم  
و به ما اختیار عطا فرمود تا با انتخاب درست، سرنوشتمان را  
رقم بزنیم.

بر خود لازم میدانم از استاد گرانقدر، جناب دکتر نورزاد که  
دانسته‌هایم را مدیون ایشانم، تشکر و قدردانی ویژه  
نمایم.

همچنین از استاد گرامی، جناب دکتر شوش پاشا که مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند تشکر  
می‌نمایم.

در ضمن از آب منطقه‌ای مازندران و گلستان و شرکتهای مهندسی مشاور مهتاب قدس، منابع آب و  
خاک، تهران سحاب و آب و توسعه پایدار و از آقایان دکتر شاه‌قاسمی، زارع، غلامی و مهندسین مالکی،  
رضامند، روشناس، صائمان، سلیمی، صداقت و خانم کریمی و دیگر عزیزانی که به هر طریق، با اینجانب  
در تکمیل این پایان‌نامه همکاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

تقدیم به

مادر دلسوز و مهربانم

و

پدر پشتیبان و فداکارم

و

روح بزرگ برادر عزیزم

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
الف	فهرست جداول.....
ت	فهرست اشکال.....
	<b>فصل اول : دیباچه</b>
۱	۱-۱- کلیات.....
۱	۱-۲- ضرورت انجام پژوهش.....
۲	۱-۳- اهداف پژوهش.....
۳	۱-۴- ساختار پژوهش.....
	<b>فصل دوم : مروری بر متون فنی</b>
۵	۲-۱- دیباچه.....
۶	۲-۲- تحلیل شبه استاتیکی.....
۷	۲-۲-۱- تاریخچه تحلیل‌های شبه استاتیکی.....
۱۰	۲-۲-۲- نظر پژوهشگران و آیین‌نامه‌های گوناگون پیرامون ضریب شبه استاتیکی.....
۱۶	۲-۲-۳- مزایای روش تحلیل شبه استاتیکی.....
۱۷	۲-۲-۴- محدودیت‌های روش تحلیل شبه استاتیکی.....
۱۸	۲-۳- تحلیل تغییر مکان ماندگار (شبه دینامیکی).....
۱۸	۲-۳-۱- روش تحلیل بلوک لغزش نیومارک.....
۲۲	۲-۳-۲- روش تحلیل مکدیسی و سید اصلاح شده.....
۲۸	۲-۳-۳- روش هاینس گریفین و فرانکلین.....

صفحه	عنوان
۲۹	۲-۳-۴- روش یگین و همکاران.....
۳۳	۲-۴- تحلیل دینامیکی.....
۳۴	۲-۴-۱- روش استعداد تنجش (سید- لی - ادریس).....
۳۶	۲-۴-۲- روش کاهش سختی.....
۳۷	۲-۴-۳- روش تیر برشی.....
۳۹	۲-۴-۴- روش معادل خطی.....
۴۲	۲-۴-۵- روشهای غیر خطی.....
۴۳	۲-۴-۵-۱- تحلیل غیر خطی غیر ترکیبی.....
۴۴	۲-۴-۵-۲- تحلیل غیر خطی نیمه ترکیبی.....
۴۵	- الگوی تنش - تنجش هذلولی.....
۴۷	۲-۴-۵-۳- تحلیل غیر خطی کاملاً ترکیبی.....
۴۸	الف- الگوی مورکولن (نمونه دوخطی).....
۵۰	ب- الگوی ونگ.....
۵۱	ب-۱ الگوی شبه مومسان سطح مرزی برای ماسه.....
۵۴	۲-۴-۶- تحلیل دینامیکی سدهای خاکی، به کمک برنامه های رایانه ای.....
۵۸	۲-۵- نکات مهم قابل استفاده در تحلیلهای شبه استاتیک.....
<b>فصل سوم: مبانی نرم افزارهای <i>PLAXIS</i> و <i>SLOPE/W</i> و الگوسازی عددی</b>	
۶۸	۳-۱- دیباچه.....

صفحه	عنوان
۶۸	۲-۳- مبانی نرم افزار <i>PLAXIS</i> .....
۶۹	۳-۲-۱- زیر برنامه ورودی.....
۷۰	۳-۲-۱-۱- الگوهای تحلیلی.....
۷۱	۳-۲-۱-۲- ویژگیهای مصالح.....
۷۱	۳-۲-۱-۳- الگوهای رفتاری خاک.....
۷۲	الف- الگوی مور کولن.....
۷۲	الف-۱- ضریب کشسانی ( <i>E</i> ).....
۷۳	الف-۲- نسبت پواسون ( $\nu$ ).....
۷۴	الف-۳- چسبندگی ( <i>C</i> ).....
۷۴	الف-۴- زاویه اصطکاک ( $\phi$ ).....
۷۴	الف-۵- زاویه اتساع ( $\psi$ ).....
۷۵	۳-۲-۱-۴- شرایط مرزی.....
۷۵	۳-۲-۱-۵- تولید شبکه اجزاء محدود.....
۷۶	۳-۲-۱-۶- شرایط اولیه.....
۷۶	۳-۲-۲- زیر برنامه محاسبات.....
۷۷	۳-۲-۱- انواع تحلیلها در <i>PLAXIS</i> .....
۷۷	الف- محاسبات مومسان.....
۷۸	ب- تحلیل تحکیمی.....



صفحه	عنوان
۷۸	.....۳-۲-۳- زیر برنامه خروجی
۷۹	.....۳-۲-۴- زیر برنامه منحنی ها
۷۹	.....۳-۳- تحلیل دینامیکی نرم افزار <i>PLAXIS</i>
۸۰	.....۳-۳-۱- زیر برنامه ورودی
۸۰	.....۳-۳-۱- تنظیمات عمومی
۸۰	.....- مسائل زلزله
۸۱	.....۳-۳-۱-۲- بارها و شرایط مرزی
۸۱	.....- شرایط مرزی استاندارد
۸۱	.....۳-۳-۱-۳- مرزهای جذبی
۸۱	.....۳-۳-۱-۴- مرزهای زلزله استاندارد
۸۲	.....۳-۳-۲- زیر برنامه محاسبات
۸۲	.....۳-۳-۱-۱- نیومارک آلفا و بتا
۸۳	.....۳-۳-۱-۲- مرز $C_1$ و $C_2$
۸۳	.....۳-۳-۳- زیر برنامه خروجی
۸۴	.....۳-۳-۴- زیر برنامه منحنی ها
۸۴	.....۳-۴-۴- روشهای تعیین ضریب میرایی
۸۸	.....۳-۵- مراحل الگوسازی
۸۸	.....۳-۵-۱- تشکیل هندسه الگو

صفحه	عنوان
۹۲	۳-۵-۲- تولید تنشهای اولیه در پی.....
۹۲	۳-۵-۳- ساخت مرحله‌ای خاکریز سد و آبرگیری مخزن.....
۹۳	۳-۵-۴- تحلیل دینامیکی سد خاکی.....
۹۴	۳-۶- انتخاب انواع تحلیل.....
۹۷	۳-۷- شتاب‌نگاشتهای ساختگی.....
۱۰۶	۳-۸- اعتباربخشی به روشهای الگوسازی.....
۱۱۰	۳-۹- مبانی و مشخصات نرم افزار $SLOPE/W$ .....
۱۱۱	۳-۹-۱- مراحل کلی کار با نرم افزار $SLOPE/W$ .....

### فصل چهارم: تحلیل دینامیکی سد خاکی و پیشنهاد ضریب لرزه‌ای

۱۲۰	۴-۱- دیباچه.....
۱۲۰	۴-۲- نمودارهای نشست تاج و بدنه سد.....
۱۳۹	۴-۳- نمودارهای جابه‌جایی افقی تاج و بدنه سد.....
۱۵۴	۴-۴- نمودارهای شتاب افقی تاج و بدنه سد.....
۱۷۴	۴-۵- تحلیل شبه استاتیکی.....
۱۷۵	۴-۶- پیشنهاد ضریب لرزه‌ای براساس نتایج تحلیل دینامیکی.....

### فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱۹۹	۵-۱- دیباچه.....
-----	------------------

صفحه	عنوان
۱۹۹	۲-۵- نتیجه گیری .....
۲۰۱	۳-۵- ارائه پیشنهادات .....
۲۰۱	۴-۵- منابع .....

## فهرست جداول

صفحه	جدول
۹	جدول (۱-۲) : نتایج تحلیل شبه استاتیکی سدها و آثار به جا مانده از آنها بر اثر زلزله
۱۱	جدول (۲-۲) : معیار طراحی برای سدهای خاکی انتخاب شده (گزارش ICOLD)
۱۳	جدول (۳-۲) : ضریب اهمیت ارائه شده توسط آیین نامه هند
۱۴	جدول (۴-۲) : ضرایب لرزه ای و اطمینان پیشنهادی (گردآوری شده توسط آیین نامه هند)
۵۶	جدول (۵-۲) : نرم افزارهای تحلیل پاسخ غیرخطی یک بعدی زمین
۹۰	جدول (۱-۳) : پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مصالح پی و خاکریز سد در نرم افزار <i>PLAXIS</i>
۱۰۷	جدول (۲-۳) : ویژگیهای عمومی مصالح سد مهاباد
۱۱۵	جدول (۳-۳) : ویژگیهای مصالح بدنه و پی سد در نرم افزار <i>SLOPE/W</i>
۱۱۵	جدول (۴-۳) : ویژگیهای مصالح هسته سد در نرم افزار <i>SLOPE/W</i>
۱۶۶	جدول (۱-۴) : نتایج تحلیل دینامیکی برای شتاب نگاشت سد هراز
۱۶۷	جدول (۲-۴) : نتایج تحلیل دینامیکی برای شتاب نگاشت سد البرز
۱۶۸	جدول (۳-۴) : نتایج تحلیل دینامیکی برای شتاب نگاشت سد تجن
۱۶۹	جدول (۴-۴) : نتایج تحلیل دینامیکی برای شتاب نگاشت سد گلورد
۱۷۰	جدول (۵-۴) : ضرایب افزایش یا کاهش بیشینه نشست و جابه جایی افقی تاج، به ازای میرایی دو تا پنج درصد، برای شتاب نگاشتهای گوناگون
۱۷۲	جدول (۶-۴) : ضرایب افزایش یا کاهش بیشینه نشست و جابه جایی افقی تاج، به ازای تغییرات ارتفاع، برای شتاب نگاشتهای گوناگون

- جدول (۷-۴) : ضرایب افزایش یا کاهش بیشینه شتاب و ضریب بزرگنمایی تاج، به ازای تغییرات ارتفاع، برای شتاب‌نگاشتهای گوناگون  
۱۷۳
- جدول (۸-۴) : ضرایب لرزه ای و اطمینان حاصل از تحلیل شبه استاتیکی سدهای ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری  
۱۷۴
- جدول (۹-۴) : مقادیر نشست و جابه‌جایی افقی متناظر با ضرایب لرزه‌ای و اطمینان برای سد ۵۰ متری  
۱۷۶
- جدول (۱۰-۴) : مقادیر نشست و جابه‌جایی افقی متناظر با ضرایب لرزه‌ای و اطمینان برای سد ۱۰۰ متری  
۱۷۷
- جدول (۱۱-۴) : مقادیر نشست و جابه‌جایی افقی متناظر با ضرایب لرزه‌ای و اطمینان برای سد ۱۵۰ متری  
۱۷۸
- جدول (۱۲-۴) : نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد گلورد و میرایی پنج درصد  
۱۸۲
- جدول (۱۳-۴) : نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد هراز و میرایی پنج درصد  
۱۸۳
- جدول (۱۴-۴) : نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد البرز و میرایی پنج درصد  
۱۸۴
- جدول (۱۵-۴) : نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد تجن و میرایی پنج درصد  
۱۸۵

- جدول (۴-۱۶): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۸۶ گلورد و میرایی سه درصد
- جدول (۴-۱۷): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۸۷ هراز و میرایی سه درصد
- جدول (۴-۱۸): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۸۸ البرز و میرایی سه درصد
- جدول (۴-۱۹): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۸۹ تجن و میرایی سه درصد
- جدول (۴-۲۰): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۹۰ گلورد و میرایی دو درصد
- جدول (۴-۲۱): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۹۱ هراز و میرایی دو درصد
- جدول (۴-۲۲): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۹۲ البرز و میرایی دو درصد
- جدول (۴-۲۳): نتایج تحلیلهای دینامیکی و شبه استاتیکی بر اساس شتاب نگاشت سد  
 ۱۹۳ تجن و میرایی دو درصد

## فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل (۱-۲): روش متداول بررسی اثر زلزله بر پایداری شیروانی (ترزاقی ۱۹۵۰)	۷
شکل (۲-۲): نتایج تحلیل شبه استاتیکی پایداری خاکریز برای سد سانفرناندوی پایینی	۸
شکل (۳-۲): نتایج تحلیل شبه استاتیکی پایداری خاکریز برای سد سانفرناندوی بالایی	۸
شکل (۴-۲): نتایج تحلیل شبه استاتیکی پایداری خاکریز برای سد شفیلد	۹
شکل (۵-۲): شبیه‌سازی (الف) توده مستعد لغزش با (ب) بلوک ساکن بر روی یک سطح شیب‌دار	۱۹
شکل (۶-۲): انتگرال‌گیری از تاریخچه زمانی شتاب مؤثر برای تعیین سرعتها و جابه‌جاییها	۲۰
شکل (۷-۲): گسترش جابه‌جاییهای دائم در یک شتاب‌نگاشت واقعی (ویلسون و کیفر ۱۹۸۵)	۲۱
شکل (۸-۲): روش تقریبی برای محاسبه بیشینه شتاب تاج (مکدیسسی و سید ۱۹۷۸)	۲۴
شکل (۹-۲): تغییرات $G/G_{max}$ و نسبت میرایی با تنجش برشی	۲۵
شکل (۱۰-۲): تغییرات نسبت شتاب بیشینه با ژرفای توده لغزشی (مکدیسسی و سید ۱۹۷۸)	۲۷
شکل (۱۱-۲): تغییرات $[u/k_{max}gT_0]$ با $[k_y/k_{max}]$ (مکدیسسی و سید ۱۹۷۸)	۲۷
شکل (۱۲-۲): جابجایی دائم $u$ نسبت به $N/A$ (هاینس گریفین و فرانکلین ۱۹۸۴)	۲۹
شکل (۱۳-۲): تحلیل بلوک لغزش برای حرکت پایه مثلثی	۳۰
شکل (۱۴-۲): تابع تغییر شکل دائم بی‌بعد شده، برای حرکات پایه ساده	۳۱
شکل (۱۵-۲): تغییر شکل‌های دائم بی‌بعد شده از ۸۶ نگاشت زلزله واقعی و تابع حاصل از آن	۳۲

شکل (۱۶-۲) : ضریب برشی اولیه و کاهش یافته در روش کاهش سختی (سرف و همکاران

۳۶

(۱۹۷۶)

۳۸

شکل (۱۷-۲) : هندسه سد و توزیع تنشهای برشی در قطعه افقی طویل

۴۶

شکل (۱۸-۲) : منحنی اسکلت هذلولی تنش - تنجش

۴۹

شکل (۱۹-۲) : منحنی هیستریزیس حاصل از الگوی غیرخطی مور کولن

۵۰

شکل (۲۰-۲) : منحنی هیستریزیس حاصل از الگوی غیرخطی مور کولن با سخت شوندهگی

۵۲

شکل (۲۱-۲) : نمایش منحنیهای کاهش ضریب برای انواع الگوهای غیرخطی

۵۳

شکل (۲۲-۲) : نتایج شبیه سازی الگوی ونگ با آزمایش پیچشی دوره ای

۷۰

شکل (۱-۳) : الگوهای تحلیلی نرم افزار *PLAXIS* الف) الگوی تقارن محوری و ب) الگوی

تنجش صفحه ای

۷۳

شکل (۲-۳) : تفاوت ضریب کشسانی اولیه و ضریب کشسانی قاطع در آزمایش سه

محوری

۷۵

شکل (۳-۳) : دواير تنش تسليم کولن

۸۷

شکل (۴-۳) : مقایسه نشست سد ۵۰ متری با استفاده از روابط میرایی (۵-۳) و (۶-۳) و اثر

ندادن میرایی

۸۷

شکل (۵-۳) : مقایسه جابه جایی افقی سد ۵۰ متری با استفاده از روابط میرایی (۵-۳) و

(۶-۳) و اثر ندادن میرایی



- شکل (۳-۶) : پنجره مربوط به واحدهای ورودی نرم افزار *PLAXIS* ۸۹
- شکل (۳-۷) : پنجره مربوط به تعریف ویژگیهای مسئله ۹۰
- شکل (۳-۸) : پنجره مربوط به زیربرنامه محاسبات ۹۴
- شکل (۳-۹) : شمای سد ۵۰ متری ۹۶
- شکل (۳-۱۰) : شمای سد ۱۰۰ متری ۹۶
- شکل (۳-۱۱) : شمای سد ۱۵۰ متری ۹۶
- شکل (۳-۱۲) : شمای ساخت مرحله‌ای سد ۵۰ متری ۹۷
- شکل (۳-۱۳) : شمای ساخت مرحله‌ای سد ۱۰۰ متری ۹۷
- شکل (۳-۱۴) : شمای ساخت مرحله‌ای سد ۱۵۰ متری ۹۷
- شکل (۳-۱۵) : تاریخچه زمانی (الف) - شتاب، (ب) - سرعت و (پ) - جابجایی اعمال شده در سد البرز ۱۰۰
- شکل (۳-۱۶) : تاریخچه زمانی (الف) - شتاب، (ب) - سرعت و (پ) - جابجایی اعمال شده در سد هراز ۱۰۱
- شکل (۳-۱۷) : تاریخچه زمانی (الف) - شتاب، (ب) - سرعت و (پ) - جابجایی اعمال شده در سد تجن ۱۰۲
- شکل (۳-۱۸) : تاریخچه زمانی (الف) - شتاب، (ب) - سرعت و (پ) - جابجایی اعمال شده در سد گلورد ۱۰۳

شکل	صفحه
شکل (۳-۱۹) : طیف فوریه شتاب‌نگاشت زلزلهٔ مربوط به سد البرز	۱۰۴
شکل (۳-۲۰) : طیف فوریه شتاب‌نگاشت زلزلهٔ مربوط به سد هراز	۱۰۴
شکل (۳-۲۱) : طیف فوریه شتاب‌نگاشت زلزلهٔ مربوط به سد تجن	۱۰۵
شکل (۳-۲۲) : طیف فوریه شتاب‌نگاشت زلزلهٔ مربوط به سد گلورد	۱۰۵
شکل (۳-۲۳) : سد خاکی و سنگریزه‌ای مه‌آباد (الف) - ناحیه بندی مصالح و شرایط مرزی (ب) - شبکهٔ اجزای محدود (پ) - زلزلهٔ سال ۱۹۷۸ طبس	۱۰۷
شکل (۳-۲۴) : تغییرات بیشینه جابه‌جایی افقی نسبت به محور عرضی سد	۱۰۸
شکل (۳-۲۵) : تغییرات بیشینه جابه‌جایی افقی نسبت به ارتفاع از بستر	۱۰۹
شکل (۳-۲۶) : تغییرات بیشینه نشست نسبت به محور عرضی سد	۱۰۹
شکل (۳-۲۷) : تغییرات بیشینه نشست نسبت به ارتفاع از بستر	۱۱۰
شکل (۳-۲۸) : شمایی از هندسهٔ اولیه در $SLOPE/W$	۱۱۲
شکل (۳-۲۹) : انتخاب روشهای تحلیل پایداری	۱۱۲
شکل (۳-۳۰) : پنجرهٔ تعریف ویژگیهای مصالح	۱۱۳
شکل (۳-۳۱) : تعیین پارامترهای مصالح هسته بر اساس الگوی دو خطی	۱۱۴
شکل (۳-۳۲) : شمای هندسی سد پس از ترسیم خطوط پیژومتریک و اختصاص وزن آب به بالادست سد	۱۱۶
شکل (۳-۳۳) : شمای هندسی سد پس از مشخص کردن شعاع سطح لغزش و ترسیم شبکه لغزش	۱۱۷

شکل	صفحه
شکل (۳-۳۴) : شمای هندسی سد پس از تعریف محورها	۱۱۷
شکل (۳-۳۵) : در نظر گرفتن اثر نیروی زلزله در نرم افزار <i>SLOPE/W</i>	۱۱۸
شکل (۴-۱) : مقطع عرضی زده شده در بخش مرکزی سد خاکی	۱۲۰
شکل (۴-۲) : تغییرات نشست در برابر زمان برای شتاب‌نگاشت سد هراز در سد ۵۰ متری	۱۲۱
شکل (۴-۳) : تغییرات نشست در برابر زمان برای شتاب‌نگاشت سد هراز در سد ۱۰۰ متری	۱۲۲
شکل (۴-۴) : تغییرات نشست در برابر زمان برای شتاب‌نگاشت سد هراز در سد ۱۵۰ متری	۱۲۲
شکل (۴-۵) : تغییرات نشست تاج در برابر زمان برای شتاب‌نگاشتهای گوناگون در سد ۵۰ متری	۱۲۳
شکل (۴-۶) : تغییرات نشست تاج در برابر زمان برای شتاب‌نگاشتهای گوناگون در سد ۱۰۰ متری	۱۲۴
شکل (۴-۷) : تغییرات نشست تاج در برابر زمان برای شتاب‌نگاشتهای گوناگون در سد ۱۵۰ متری	۱۲۴
شکل (۴-۸) : تغییرات نشست در برابر ارتفاع از بستر، برای شتاب‌نگاشت هراز در سد ۵۰ متری	۱۲۶
شکل (۴-۹) : تغییرات نشست در برابر ارتفاع از بستر، برای شتاب‌نگاشت هراز در سد ۱۰۰ متری	۱۲۶

- شکل (۴-۱۰) : تغییرات نشست در برابر ارتفاع از بستر، برای شتاب نگاشت هراز در سد ۱۲۷  
۱۵۰ متری
- شکل (۴-۱۱) : تغییرات نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز و ۱۲۸  
میرایی پنج درصد
- شکل (۴-۱۲) : تغییرات نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز و ۱۲۹  
میرایی سه درصد
- شکل (۴-۱۳) : تغییرات نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز و ۱۲۹  
میرایی دو درصد
- شکل (۴-۱۴) : تغییرات درصد نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت ۱۳۰  
هراز و میرایی پنج درصد
- شکل (۴-۱۵) : تغییرات درصد نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز ۱۳۱  
و میرایی سه درصد
- شکل (۴-۱۶) : تغییرات درصد نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز ۱۳۱  
و میرایی دو درصد
- شکل (۴-۱۷) : تغییرات نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت هراز ( تکرار ۱۳۳  
شکل ۴-۸)
- شکل (۴-۱۸) : تغییرات نشست در برابر نسبت تراز ارتفاع برای شتاب نگاشت البرز ۱۳۳