

## بررسی اثر حداکثر شتاب پایه (PGA) بر مشخصات لرزه‌ای سطوح لغزش بحرانی سد مسجد سلیمان

مهدی شیردل

کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، باشگاه پژوهشگران جوان

M.Shirdel@email.com

### چکیده

به طور معمول جهت برآورد ایمنی پایداری سطوح لغزش سدهای خاکی از ۲ روش افزایش بارگذاری به صورت افزایش شتاب حداکثر رکورد زلزله و کاهش مقاومت مصالح بکار رفته در بدنه تا رسیدن به مرز بحران پایداری استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر، روش افزایش بارگذاری به صورت افزایش شتاب حداکثر رکورد زلزله (PGA) برای بررسی ایمنی سطوح لغزش بالقوه بکار برده شده است. در این روش شتاب ماکزیمم رکورد زلزله اعمالی طوری افزایش داده شده است تا معیارهای مورد نظر پایداری در کل حوزه زمان برای پارامترهایی همچون تغییرمکان رخ داده، ضریب اطمینان معادل دینامیکی، ضریب اطمینان کمینه در کل حوزه زمان به مرز بحران برسد. برای این کار از سد خاکی مسجد سلیمان به عنوان مطالعه موردی و از روش اجزاء محدود برای بررسی رفتار لرزه‌ای مدل استفاده شده است. در این مدل‌سازی از فرض رفتار الاستوپلاستیک مبتنی بر معیار موهرکولمب برای مصالح بدنه سد استفاده شده است. همچنین با استفاده از ۲ شتابنگاشت و با ساخت ۱۰ مدل بدون تغییر در محتوای فرکانسی برای حداکثر شتاب‌های اعمالی، سطوح لغزش بالقوه سد مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت نتایج از ۳ رویکرد تغییرمکان رخ داده در سطوح بالقوه لغزش، ضریب اطمینان معادل دینامیکی، ضریب اطمینان کمینه در کل حوزه زمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش شتاب پایه اعمالی، مقدار ضریب اطمینان معادل دینامیکی کاهش یافته ولی تغییرات رخ داده برای پارامترهای تغییرمکان ماندگار و ضریب اطمینان کمینه دینامیکی روند معناداری را داشته است.

**کلید واژگان:** سد مسجد سلیمان، حداکثر شتاب پایه، سطوح لغزش بحرانی، تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی

### ۱- مقدمه

بیشینه، پیرو ارتعاش، مدت زمان وقوع زلزله و فاصله سد از مرکز زلزله بر پاسخ دینامیکی آنها تأثیرگذار هستند. بنابراین بررسی دقیق و جزئی مولفه‌های تأثیرگذار بر پاسخ دینامیکی سدها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، در تحقیق حاضر با استفاده از روش اجزاء محدود به بررسی رفتار لرزه‌ای سد خاکی مسجد سلیمان به عنوان مطالعه موردی پرداخته شده است.

سدهای خاکی زیادی در اقصی نقاط جهان با اهدافی نظیر کشاورزی و آبیاری، تولید انرژی، کنترل سیلابها و انحراف آب رودخانه‌ها ساخته شده‌اند. در این میان یکی از مهمترین حوادث تأثیرگذار بر پایداری سدهای خاکی، وقوع زمین‌لرزه در ساختگاه سد می‌باشد که در برخی مواقع منجر به ایجاد صدمات جزئی و یا کلی جبران‌ناپذیری شده است. رفتار سدهای خاکی در برابر زلزله تابعی از مشخصات زلزله، رفتار مصالح تشکیل دهنده قسمتهای مختلف سد و نحوه تأثیر متقابل آنها بر یکدیگر است. همچنین مولفه‌های مختلفی از زلزله همچون شتاب

## ۲- سد مسجد سلیمان

برای مدل‌سازی سد مسجد سلیمان از مجموعه نرم افزاری (Geostudio - Geoslope 2007) استفاده شده است. در این مجموعه نرم افزاری برای انجام تحلیلهای استاتیکی از نرم افزار (Sigma/w) و برای انجام تحلیل‌های دینامیکی از (Quake/w) استفاده شده است. مقطع عرضی بحرانی بر اساس جانمایی و مقاطع ارائه شده در آلبوم نقشه‌های فنی بدنه سد استخراج گردیده است. مقطع بحرانی که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است شامل ناحیه‌بندی سد، اعم از هسته، فیلترها، پوسته، ناحیه انتقالی و قسمتی از پی آبرفتی در بالادست و پائین دست سد می‌باشد. در این مقطع ارتفاع مدل از پی برابر ۱۷۰ متر و عرض تاج معادل ۱۵ متر در نظر گرفته شده است. نمایی از سد مسجد سلیمان در شکل ۱ نشان داده شده است.

طرح سد و نیروگاه مسجد سلیمان در استان خوزستان و در ۲۵/۵ کیلومتری شمال شرقی شهر مسجد سلیمان، در ۲۶ کیلومتری پایین دست سد شهید عباسپور، بر روی رودخانه کارون احداث شده است. از لحاظ زمین‌شناسی پی سد روی سازندهای بختیاری و آغاچاری که متشکل از کنگلومرای سخت با میان لایه‌های رسی است، واقع شده است. حجم کل مخزن ۲۲۸ میلیون متر مکعب و حجم مفید برابر ۲۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. بدنه اصلی سد به حجم ۱۳/۵ میلیون متر مکعب، ارتفاع ۱۷۷ متر از پی، طول تاج ۴۸۰ متر، عرض تاج ۱۵ متر، عرض سد در پی ۷۸۰ متر و حجم حفاری ۱/۸ میلیون متر مکعب است [۱].



شکل ۱- نمایی از سد مسجد سلیمان

هسته و نهایتا پی به طور جداگانه در مدل منظور شده و در هر یک از نواحی و لایه‌ها برای مدل‌سازی دقیق‌تر از خصوصیات مصالح مربوط به آن ناحیه و لایه استفاده شده است [۲].

## ۳- تحلیل استاتیکی

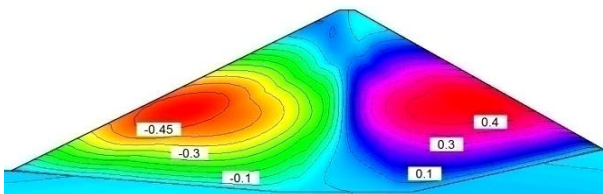
طور کلی انجام تحلیل‌ها در شرایط استاتیکی با استفاده از نرم افزار (Sigma/w) انجام شده است. این نرم افزار قابلیت محاسبه تنش‌ها و کرنش‌ها با در نظرگیری خاکبرداری یا خاکریزی تدریجی در سازه مذکور را دارا می‌باشد که این ویژگی زمینه را برای مدل‌سازی اجرایی لایه‌به‌لایه سدهای خاکی فراهم می‌کند. رفتار در نظر گرفته شده برای انجام تحلیل استاتیکی در دو حالت لایه‌به‌لایه و آنالیز تراوش پایدار،

همچنین برای جلوگیری از ناهنجاریهای ناشی از بازتاب امواج در تحلیل‌های دینامیکی، مرزهای مدل به اندازه کافی دور انتخاب شده است. فاصله مذکور در جهت افق ۳ برابر بیشترین مقطع عرضی بدنه و در جهت قائم ۳ برابر ارتفاع سد در نظر گرفته شده است. مدل‌های عددی ساخته شده با در نظر گرفتن کرنش صفحه‌ای (Plain Strain) با المانهای مثلثی و مستطیلی شبیه‌سازی شده است. در ساخت مدل‌ها سعی شده تا ابعادی مناسب برای المانها انتخاب گردد. لذا با توجه به توصیه محققین مختلف از جمله (Kuhlmeyer and Lysmer (1973) در مدلسازی از المانهایی با ابعاد کمتر از  $(\lambda/10)$  استفاده شده است.  $(\lambda)$  طول موج مربوط به بالاترین فرکانس ورودی محرک زلزله می‌باشد. نهایتا مصالح پوسته بالادست و پایین دست، فیلترهای بالا و پایین دست،

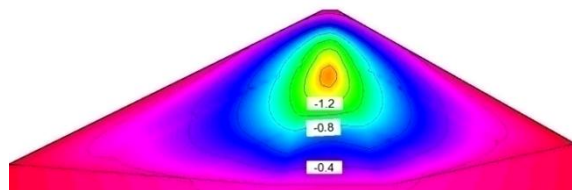
مدل اصلی در شکل ۲ نشان داده شده است. مرحله تراوش پایدار پس از برقرار شدن جریان دائمی آب ایجاد می‌شود و در این حالت تنش‌های مؤثر و فشارهای آب حفرة‌ای در مقادیر حدی ثابت می‌شوند. جهت انتخاب مشخصات مکانیکی خاک از جمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مصالح بدنه در مرحله تراوش پایدار (با فرض اینکه زمان کافی برای زهکشی کامل موجود باشد) رفتار مصالح زهکشی شده در نظر گرفته شده است. این شرایط در سدهای بزرگ معمولاً پس از گذشت چند سال حاصل می‌گردد. در این مرحله با در نظر گرفتن تحلیل لایه‌به‌لایه، تنشهای اولیه در مدل مشخص شده و به عنوان شرایط اولیه برای تحلیل تراوش پایدار در نظر گرفته شده است تا هر چه دقیقتر شرایط ساخت واقعی سد مسجد سلیمان مدل‌سازی گردد. در این مرحله سطح آب و همینطور وزن مخزن به مدل محاسباتی افزوده شده است. پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی مصالح در مرحله تراوش پایدار نیز مطابق جدول ۱ می‌باشد، تنها با این تفاوت که میزان چسبندگی برای هسته ۴۰ کیلوپاسکال و زاویه اصطکاک داخلی برابر ۱۹ درجه می‌باشد. در نهایت نتایج بدست آمده از این مرحله از تحلیل در شکل ۳ نشان داده شده است.

رفتار الاستیک و سپس کاملاً پلاستیک مبتنی بر معیار موهرکولومب می‌باشد [۳]. همچنین برای شبیه‌سازی ساخت سد به صورت لایه‌به‌لایه، ابتدا باید تنش‌های موجود در پی سد مشخص گردد. پس از تشخیص تنش‌های برجای در پی سد با صفر منظور کردن جابجایی پی ناشی از وزن خود پی، در جهت مدل‌سازی لایه‌های مورد نظر اقدام شده است. در این مرحله تعداد لایه‌هایی که برای مدل‌سازی درست ساخت لایه‌به‌لایه باید استفاده شود، اهمیت می‌یابد. در این جهت محققان مختلفی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند.

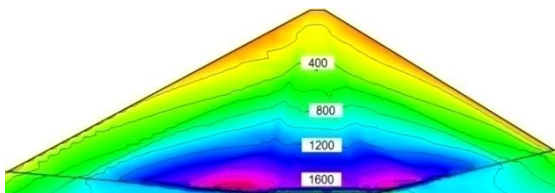
Eisentein et al. (1972) نشان دادند که ده لایه برای یکسان ماندن تقریبی میزان تنش‌ها و تغییرشکلها نسبت به افزایش تعداد لایه‌ها کفایت می‌کند [۴]. Elgamal et al. (1987) با بررسی سدهای خاکی و مدل‌سازی آنها، ۸ لایه را برای رسیدن به نتایج مطلوب کافی دانستند [۵]. در نهایت با توجه به مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف، جهت مدل‌سازی از تعداد ده لایه به منظور مدل‌سازی تحلیل لایه‌به‌لایه استفاده شده است. همچنین برای انجام تحلیل لایه‌به‌لایه از مشخصات مصالح ارائه شده در جدول ۱ در حالت تحلیل تنش مؤثر استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده از این مرحله از تحلیل برای



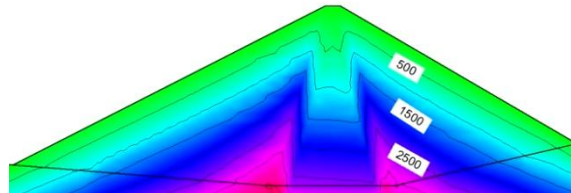
تغییر مکان افقی (متر)



تغییر مکان قائم (متر)

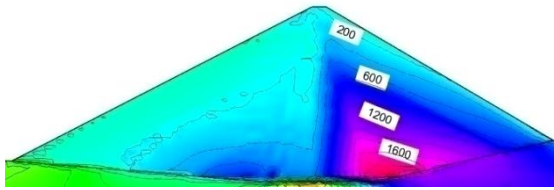


تنش مؤثر افقی (کیلوپاسکال)

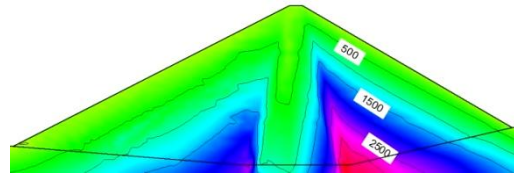


تنش مؤثر عمودی (کیلوپاسکال)

شکل ۲- کانتور پارامترهای مختلف بدست آمده در مرحله پایان ساخت



تنش موثر افقی (کیلوپاسکال)



تنش موثر عمودی (کیلوپاسکال)

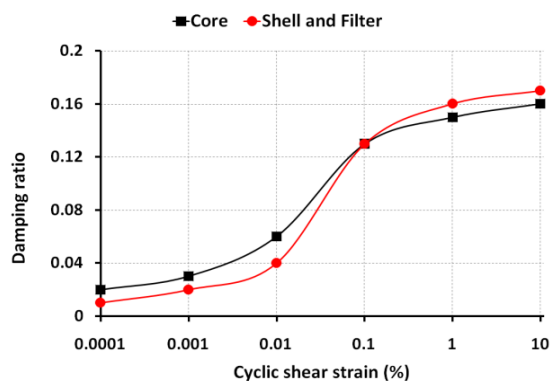
شکل ۳- کانتور پارامترهای مختلف بدست آمده در مرحله تراوش پایدار

جدول ۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در آنالیز لایه به لایه مدل سد خاکی مسجد سلیمان [۱]

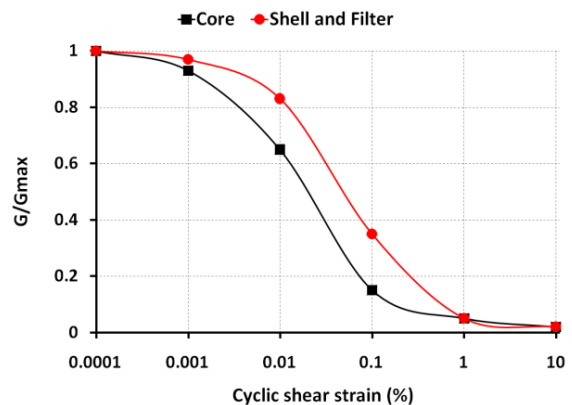
مدول الاستیسیته در ارتفاع (متر)					زاویه اتساع	جرم مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی (kpa)	مناطق مختلف بدنه
۱۴۸	۹۳	۴۳	۳۱	۱۲						
۱/۶	۰/۷	-	۰/۳	-	۰	۲۰۵۰	۰/۳۴	۱۰	۵۰	هسته
۱/۳۳	۱/۰۹	-	۰/۶۴	-	۲۲	۲۳۵۰	۰/۴	۴۵	۰	پوسته بالادست
۱/۳	۱/۰۲	۰/۷	-	-	۱۸	۲۲۰۰	۰/۳۸	۳۷	۰	پوسته پایین دست
۱/۴۴	۰/۹۴	-	۰/۴۹	-	۰	۲۳۵۰	۰/۳۶	۴۰	۰	فیلتر اشباع
۱/۵۵	۱/۰۶	-	۰/۷	-	۰	۲۲۰۰	۰/۳۶	۴۰	۰	فیلتر مرطوب
۳/۸۷۳۲					-	۲۵۰۰	۰/۳	۳۰	۷۰۰	فونداسیون

#### ۴- تحلیل دینامیکی

پاسخ به کرنش‌های برشی سیکلیک تمایل به نرم‌شدگی دارد. نرم‌شدگی اغلب با نسبتی از مدول برشی ماکزیمم بیان می‌شود که تابع کاهش مدول برشی نامیده می‌شود. در مطالعه حاضر نسبت مدول برشی مصالح پوسته، هسته و همچنین نسبت میرایی مصالح به صورت تابع نشان داده شده در شکل ۴ در نظر گرفته شده است [۶].



نسبت میرایی در مقابل کرنش برشی سیکلیک



نسبت میرایی در مقابل کرنش برشی سیکلیک

شکل ۴- مشخصات دینامیکی مصالح با اعمال بارگذاری دینامیکی در حالت نرم‌شدگی مصالح [۱]

Northridge - 1994 در حوزه دور به عنوان زلزله ورودی جهت تحلیل دینامیکی در بستر سنگی در نظر گرفته شده است. قابل توجه است که رکورد زلزله‌های فوق به ماکزیمم شتاب  $0.2g$ ،  $0.3g$ ،  $0.4g$ ،  $0.5g$ ، جهت بررسی اثر بیشینه شتاب ساختگاه مقیاس شده‌اند. مشخصات رکوردهای زلزله و طیف پاسخ در جدول ۳ و در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

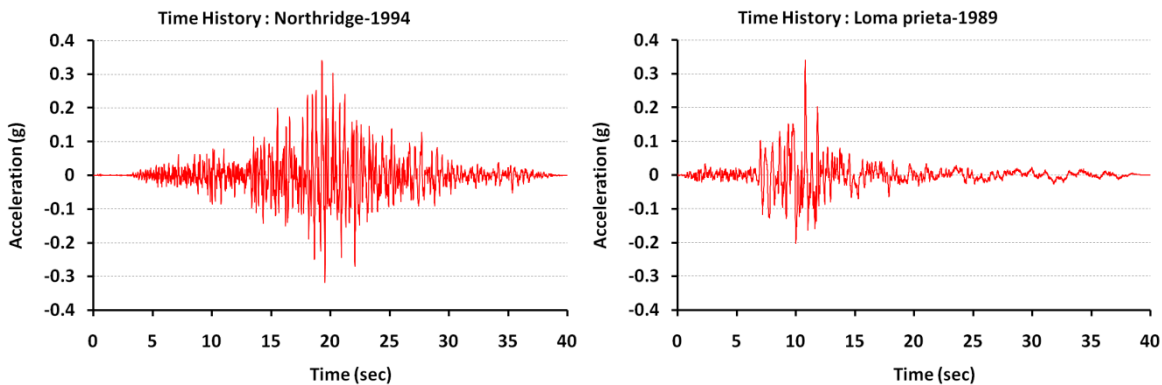
روند کلی انتخاب خصوصیات مصالح به این صورت است که ابتدا با استفاده از نتایج آزمایشهای سه محوری تناوبی و ستون تشدید و همچنین مقادیر معرفی شده توسط مشاور طراح سد، مقادیر حداکثر مدول برشی و ضریب پواسون در قسمتهای مختلف مصالح بدنه و فونداسیون سد انتخاب شده و بدین ترتیب تحلیل‌های دینامیکی صورت گرفته است. مشخصات مصالح بدست آمده در جدول ۲ آورده شده است. در تحقیق حاضر رکورد زلزله‌های Loma prieta - 1989 و

جدول ۲- مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل دینامیکی سد مسجد سلیمان [۱]

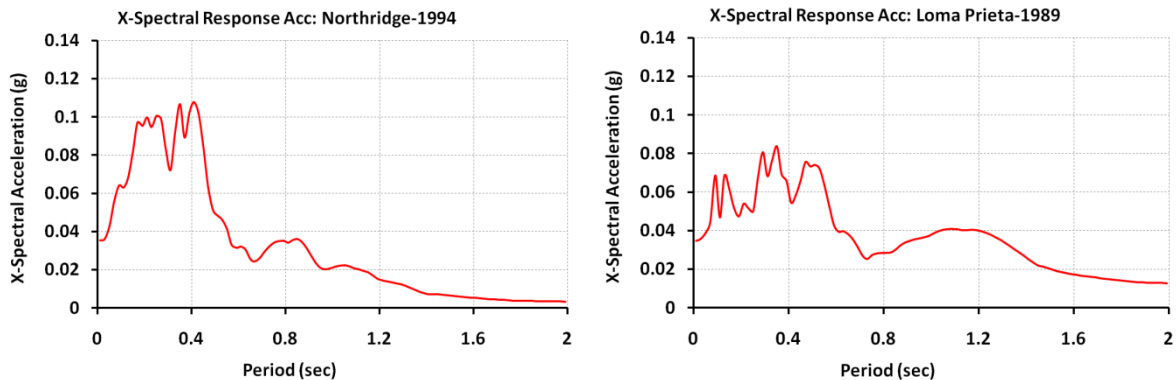
مدول الاستیسیته در ارتفاع (متر) (*10 <sup>6</sup> kPa)					زاویه اتساع	جرم مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی (kpa)	مناطق مختلف بدنه
۱۴۸	۹۳	۴۳	۳۱	۱۲						
۴/۲۱	۳/۸۵	-	۲/۲۳	-	۰	۲۲۰۰	۰/۴۵	۱۹	۴۰	هسته
۳/۱۵	۲/۹۵	-	۲/۳۵	-	۲۲	۲۳۵۰	۰/۴	۴۵	۰	پوسته بالادست
۵/۸	۵/۴	۳/۸	-	-	۱۸	۲۲۰۰	۰/۴	۳۷	۰	پوسته پایین دست
۱/۸۲	۱/۷۱	-	۱/۳۴	-	۰	۲۳۵۰	۰/۴	۴۰	۰	فیلتر اشباع
۳/۳	۳/۰۷	-	۱/۷۴	-	۰	۲۲۰۰	۰/۴	۴۰	۰	فیلتر مرطوب
		۱۰/۹۲			-	۲۵۰۰	۰/۳	۳۰	۷۰۰	فونداسیون

جدول ۳- مشخصات رکورد زلزله‌های حوزه دور مورد استفاده [۷]

شتابنگاشت	ایستگاه	سال وقوع	بزرگی	فاصله از گسل (km)	شتاب بیشینه (g)	سرعت بیشینه (cm/sec)	جابجایی بیشینه (cm)
Loma Prieta	CDMG58338	۱۹۸۹	۶/۹۳	۹۲/۲۱	۰/۰۷۲۶	۷/۹۸	۳/۰۱
Northridge	CDMG23572	۱۹۹۴	۶/۶۹	۸۲/۲۲	۰/۰۷۵۸	۴/۰۷	۰/۴۳



شکل ۵- شتابنگاشت‌های زلزله‌های حوزه دور مورد استفاده در این تحقیق

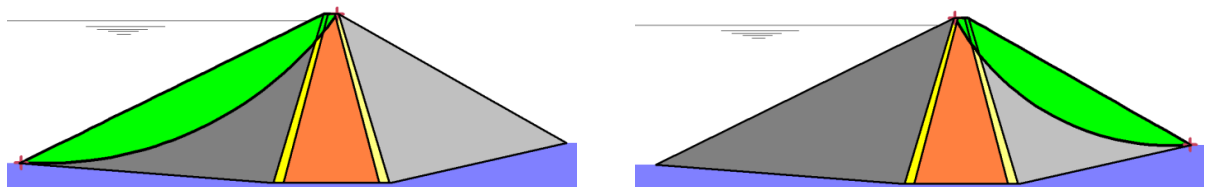


شکل ۶- طیف پاسخ شتاب برای زلزله‌های حوزه دور مورد استفاده در این تحقیق

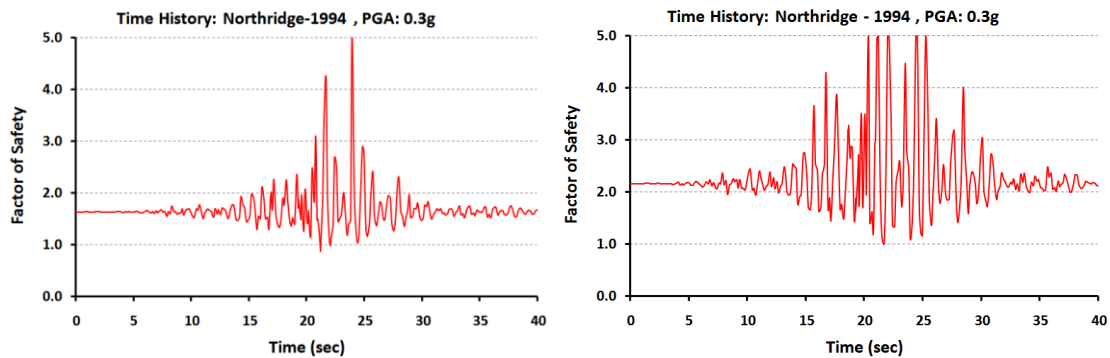
## ۵- تحلیل نیومارک

افزار (Slope/w) انجام شده است. در این مرحله موقعیت سطوح  
محتمل لغزش با استفاده از مشخصات ارائه شده توسط مشاور طرح در  
نظر گرفته شده است. نحوه قرارگیری سطح لغزش محتمل در بالادست  
و پایین دست سد در شکل ۷ نشان داده شده است. تحت اثر زلزله در  
گوه‌های مستعد لغزش، ضریب اطمینان در کل حوزه زمان دچار تغییر و  
تحول می‌گردد. به این ترتیب میزان ضریب اطمینان دینامیکی در کل  
حوزه زمان مقدار متفاوتی را در هر لحظه به خود می‌گیرد. در شکل ۸  
نحوه تغییر ضریب اطمینان در کل حوزه زمان برای مدل‌هایی با شتاب  
بیشینه  $g/3$ ، تحت اثر شتابنگاشت Northridge - 1994 و برای ۲  
گوه محتمل گسیختگی نشان داده شده است.

از آنجایی که کارایی یک شیروانی بعد از زلزله به وسیله تغییرشکل‌های  
ماندگار رخ داده کنترل می‌شود، لذا تحلیل‌هایی که قادر به تعیین  
تغییرشکل‌ها هستند، شاخص‌های قابل قبولتری از پایداری لرزه‌ای ارائه  
می‌دهند. Newmark (1965) ثابت کرد که در صورتیکه نیروهای موثر  
بر یک توده لغزشی به اندازه‌ای بزرگ گردند که کل نیروهای محرک  
(استاتیکی + دینامیکی) از نیروهای مقاوم خاک تجاوز کنند، ضریب  
اطمینان کوچکتر از ۱ خواهد شد و به این ترتیب تغییرمکان ماندگار در  
گوه محتمل گسیختگی رخ خواهد داد [۸]. لذا پس از تحلیل دینامیکی  
برای دستیابی به مقادیر ضریب اطمینان معادل دینامیکی، ضریب  
اطمینان کمینه و تغییرمکان ماندگار، تحلیل نیومارک با استفاده از نرم



شکل ۷- موقعیت سطوح لغزش واقع در پایین دست سد و بالادست سد

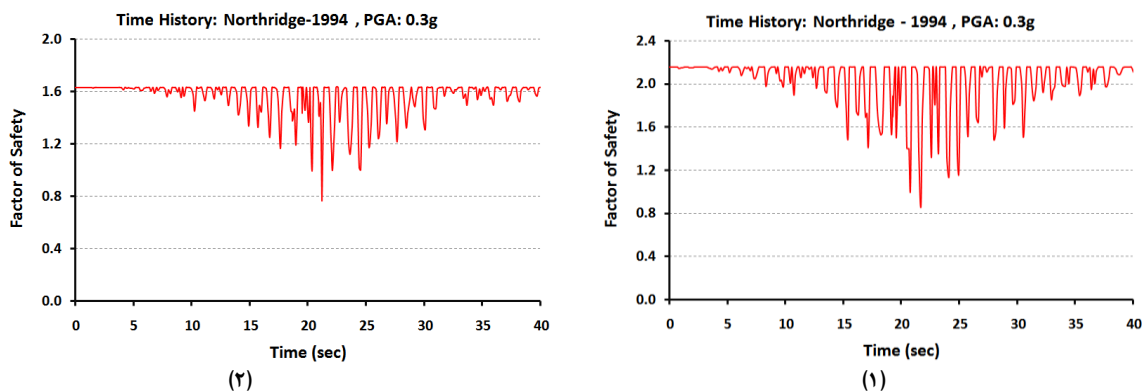


شکل ۸- نحوه تغییر ضریب اطمینان برای سطوح لغزش محتمل در حوزه زمان (۱) بالادست (۲) پایین‌دست

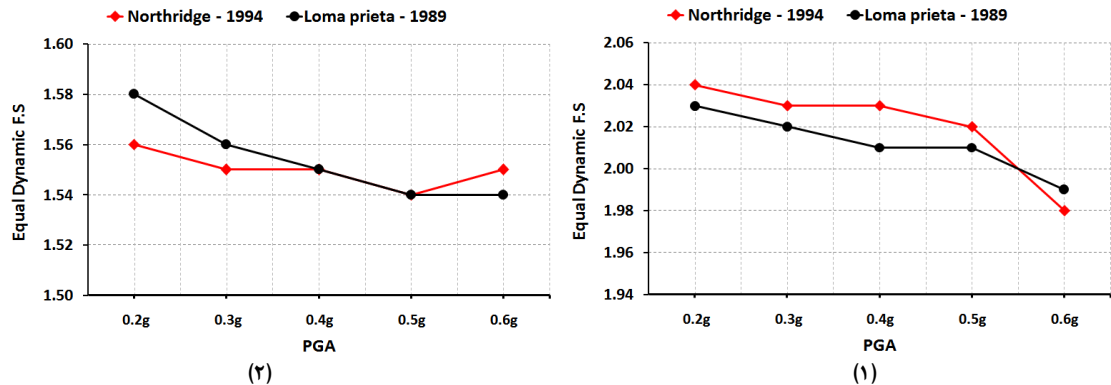
### ۶- ضریب اطمینان معادل دینامیکی

می‌کند. نهایتاً برای ۱۰ مدل مورد بررسی مقدار ضرایب اطمینان معادل دینامیکی برای سطوح لغزش بادست و پایین‌دست با اعمال ۲ زلزله Northridge - 1994 و Loma prieta - 1989 تعیین شده است و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده برای هر ۲ زلزله و برای هر ۲ سطح لغزش متناسب بوده است بطوریکه در سطح لغزش بالقوه بالادستی برای هر ۲ زلزله کاهش ضریب اطمینان معادل دینامیکی مشاهده شده است. در حالیکه در سطح لغزش بالقوه پایین‌دست تا مقدار شتاب پایه 0.5g، ضریب اطمینان معادل دینامیکی به صورت یکنواخت کاهش یافته ولیکن برای مقادیر شتاب پایه از مقدار 0.5g تا مقدار 0.6g روند کاهشی متوقف شده و روند ثابتی دنبال شده است.

ضریب اطمینان دینامیکی معادل در این تحقیق مطابق روش ارائه شده توسط Ghanbari et al, (2008) مورد ارزیابی قرار گرفته است [9]. در روش ارائه شده با در نظر گرفتن میانگین ضرایب اطمینان کمتر از ضریب اطمینان حالت استاتیکی (برای گوه پایین‌دست و بالادست به ترتیب ۱/۶۳ و ۲/۱۶ می‌باشد) در کل حوزه زمان، ضریب اطمینان معادل دینامیکی بدست آمده است. به این ترتیب با تعریف ضریب اطمینان معادل دینامیکی، می‌توان یک معیار جهت مقایسه ضرایب اطمینان معادل دینامیکی در کل حوزه زمان در گوه‌های محتمل گسیختگی بالادست و پایین‌دست نشان داده شده است. ضریب اطمینان معادل دینامیکی معیاری مناسب برای بررسی رفتار سطوح لغزش بعد از اعمال زلزله می‌باشد چرا که معیار واحدی از رفتار لرزه‌ای سد در حوزه زمان ارائه



شکل ۹- نحوه تعیین ضریب اطمینان معادل دینامیکی برای سطوح لغزش محتمل در حوزه زمان (۱) بالادست (۲) پایین‌دست

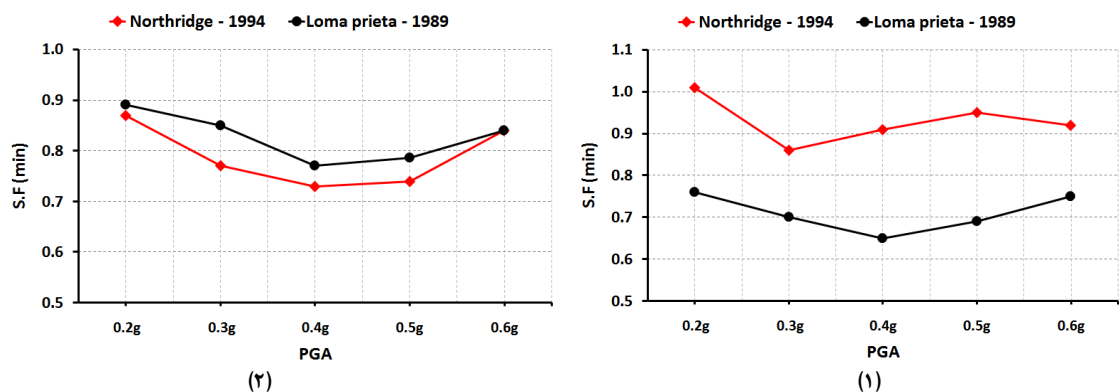


شکل ۱۰- تغییر ضریب اطمینان معادل دینامیکی برای سطوح لغزش محتمل همراه با تغییر PGA (۱) بالادست (۲) پایین دست

### ۷- ضریب اطمینان کمینه دینامیکی

Northridge - 1994 و Loma prieta - 1989 تا مقدار 0.3g برای زلزله - Northridge می باشد. همچنین کاهش مقدار ضریب اطمینان کمینه دینامیکی در سطح لغزش بالقوه پایین دست تا مقدار 0.4g برای هر ۲ زلزله اعمالی ثبت شده است. بعد از مقادیر ذکر شده مقدار ضریب اطمینان کمینه دینامیکی علارغم افزایش شتاب پایه، رو به افزایش گذاشته است.

ضریب اطمینان کمینه دینامیکی مقدار کمترین ضریب اطمینانی است که سطوح لغزش بالقوه تحت تاثیر تحریک ورودی در حوزه زمان تجربه می کند. این مقدار نیز به عنوان معیاری برای بررسی مشخصات دینامیکی سطوح بالقوه لغزش بکار گرفته شده است. نتایج بدست آمده برای بررسی ضریب اطمینان کمینه در حوزه زمان در شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج حاکی از کاهش مقدار ضریب اطمینان کمینه دینامیکی در سطح لغزش بالقوه بالادست تا مقدار 0.4g برای زلزله



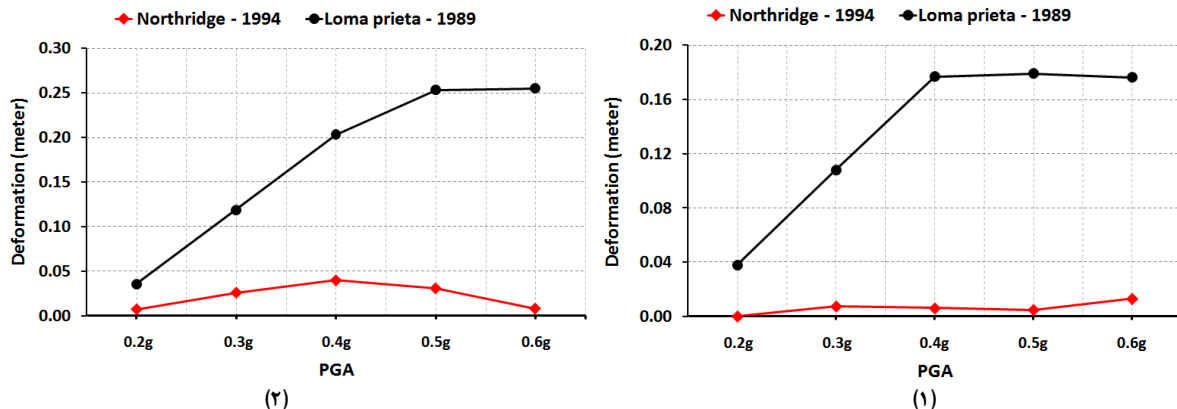
شکل ۱۱- تغییر ضریب اطمینان دینامیکی کمینه برای سطوح لغزش محتمل همراه با تغییر PGA (۱) بالادست (۲) پایین دست

### ۸- تغییر مکان ماندگار رخ داده

است. برای مقادیر بیشتر از 0.4g در گوه بالادست این مقدار ثابت و در گوه پایین دست برای زلزله Loma prieta - 1989 مقدار مذکور روند افزایشی و برای زلزله Northridge - 1994 روند کاهشی با افزایش شتاب پایه داشته است.

مقدار تغییر مکان ماندگار سطح لغزش بالقوه با استفاده از تحلیل نیومارک بدست آمده و به عنوان معیاری مهم در بررسی رفتار لرزه ای سطوح لغزش بکار رفته است. نتایج بدست آمده از مدل سازی های انجام شده در شکل ۱۲ ارائه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از افزایش مقدار تغییر مکان ماندگار تا 0.4g برای هر ۲ گوه محتمل لغزش بوده





شکل ۱۲- میزان تغییر مکان ماندگار رخ داده برای سطوح لغزش محتمل همراه با تغییر PGA (۱) بالادست (۲) پایین دست

### ۹- نتیجه گیری

حالت ناشی از تغییر مد حرکتی سد بوده و به این ترتیب در مقدار ضریب اطمینان کمینه تاثیر غیرقابل انتظاری را بوجود آورده است. مقدار تغییر مکان ماندگار نیز تا یک مقدار حدی با روند صعودی مواجه بوده است ولیکن از مقدار حدی به بعد این روند کاملاً متفاوت بوده بطوریکه ۳ روند ثابت، نزولی و صعودی در این پارامتر مشاهده شده است. شرایط حاضر به معنای تحت تاثیر بودن شدید مشخصات لرزه‌ای سطوح بالقوه لغزش سدهای خاکی از مد غالب حرکتی سد می‌باشد.

تحقیق حاضر با در نظر گرفتن سد مسجد سلیمان به عنوان مطالعه موردی و انجام آنالیزهای عددی به روش اجزاء محدود بر روی ۱۰ مدل با شتاب پایه متفاوت جهت بررسی تاثیر شتاب پایه بر رفتار لرزه‌ای سد خاکی انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش شتاب پایه اعمالی مقدار ضریب اطمینان معادل دینامیکی کاهش می‌یابد. ضریب اطمینان کمینه نیز تا حدی با افزایش شتاب پایه روند نزولی داشته است ولی از یک مقدار حدی تغییر رفتار ایجاد شده است. این

### ۱۰- مراجع

Prevost, J. H., 2-D Elasto plastic Seismic Shear Response of Earth Dam, ASCE, Journal of the Engineering Mechanics, Vol. 113, No. 5, 1987, pp 702-719.

6- Krahn, J., Dynamic modeling with quake/w, Geo-slope International ltd, Calgary, Alberta, Canada, 2007.

7- www.peer.berkeley.edu

8- Newmark. N. M., Effect of earthquake on dams and embankments, Geotechnique, V. 15, 1964, pp 135-160.

9- Ghanbari, A., Davoodi, M. Ahmadi, B., Pseudo-static analysis for the masjed Soleiman Dam, International Water Power and Dam Construction, Dam Engineering, Vol. XIX, Issue 2, 2008, pp 123-144.

1- Davoodi, M., Evaluating dynamic characteristics of embankment dams using ambient and forced vibration tests, PhD thesis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, 2003.

2- Kuhlemeyer, R., Lysmer, J., Finite element method accuracy for wave propagation problems, Journal of Soil Mechanics and Foundation, Div, ASCE, 99, 1973, pp 421-427.

3- Krahn, J., Stress and deformation modeling with sigma/w, Geo-slope International ltd, Calgary, Alberta, Canada, 2007.

4- Eisenstein, Z., Computer analyses in earth dam Engineering, Computers in Soil Mechanics: present and future, R. L. 1979.

5- Elgamal, A. W. M., Abdel-Ghaffar, A. M.,

## **Evaluation of the Peak Ground Acceleration on Seismic Characteristic of Critical Slice Surface on Embankment dams**

**M.Shirdel**

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Iran

### **Abstract:**

Usually, safety of slip surfaces in embankment dams have been evaluated with 2 methods: peak ground acceleration increasing method and stuff resistance decreasing method are 2 main methods for evaluation of critical bound. In this research, peak ground acceleration increasing method has been used to evaluate stability safety of slip surfaces. In this method, peak ground acceleration has been increased to receiving critical bounds for parameters in time domain (for example permanent deformation, equal dynamic factor of safety, and minimum dynamic factor of safety). To evaluate the effect of this parameter, Masjed Soleiman dam has been selected for a case study. 10 Finite Element model of Masjed Soleiman dam has been constructed considering the Mohr-Coulomb failure criterion for the body of the dam. The 2 earthquake records have been applied horizontally to the bedrock as the input for dynamic analysis without any change in frequency content. Results show that, in critical sliding surface on downstream, with increasing of peak ground acceleration, equal dynamic factor of safety decreased but changing of minimum dynamic factor of safety and permanent deformation have meaningful process.

**Keywords:** Embankment Dams, Masjed Soleiman Dam, Dynamic Analyses, Peak Ground Acceleration