بررسی تأثیر آبگیری مخزن در انتخاب ضریب شىبەاستاتىكى سدھاى خاكى

محمد داودی^{*}؛ پژوهشگاه بینالمللی زلزلهشناسی و مهندسی زلزله، پژوهشکدهٔ مهندسی ژئوتکنیک علی قنبری؛ دانشگاه خوارزمی، دانشکدهٔ *فنی و مهندسی*، سعید عابدینی؛ شرکت سپاسد (تابان)، لرستان تاریخ: دریافت ۸۹/۸/۸ پذیرش ۹۲/۱۰/۹

چکیدہ

تحلیل شبه استاتیکی، از روش های متداول در طراحی سدهای خاکی است و کمیسیون بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD)، استفاده از این روش را پیش از انجام تحلیل های دینامیکی نهایی توصیه کرده است. در این تحقیق، با استفاده از مشخصات مصالح سد مسجد سلیمان تحلیل های استاتیکی، شبه استاتیکی و دینامیکی انجام شده و با استفاده از نتایج تحلیل های دینامیکی ضریب اطمینان دینامیکی و شبه استاتیکی بحرانی ترین گوه مستعد لغزش محاسبه شده است. تغییر مکان ماندگار بحرانی ترین گوه لغزشی محاسبه شده و سپس ضرایب اطمینان محاسبه شده در مراحل قبل با یک دیگر مقایسه شد و برای ترازهای مختلف آب مخزن، ضریب شتاب افقی متغیر در ارتفاع سد با استفاده از روشی پیشنهادی بررسی شد.

واژەھاي كليدى: سدھاي خاكى، ضريب شتاب افقى، تحليل شبەاستاتيكى، تحليل ديناميكى

* نویسنده مسئول m-davood@iiees.ac.ir

مقدمه

سابقهٔ تحلیل شبهاستاتیکی سازههای خاکی به اوایل دههٔ ۱۹۲۰ میلادی برمیگردد. در این $F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W$ و قائم $F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$ و قائم $F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W$ و قائم $F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$ و و قائم $F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$ و و قائم $F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$ و و و قائم a_h و و قائم a_h و و و و قائم a_h و و و و قائم، a_h و a_h و a_h و و و قائم a_h و و و قائم، a_h و a_h و a_h و و و قائم a_h و و و قائم، a_h و a_h و a_h و و و قائم a_h و و و قائم a_h و و و قائم a_h و و و قائم، a_h و a_h e a_h (a_h e a_h e a_h) و a_h e a_h

الف) نظراتی که این ضریب را برای تمام ارتفاع بدنه سد یکسان فرض میکنند. در این راستا، جانسن بر مبنای نواحی چهارگانهٔ خطر زلزله در آمریکا، ضریب لرزهای را از ۰/۰۰ تا برای پیشنهاد کرده است [۱]. پایک بر اساس بررسیهای سید و مکدیسی که مبتنی بر روش نیومارک است، با فرضیات منطقی در بارهٔ بزرگی زلزله و شتاب حداکثر، گرافی برای تخمین نیومارک است، با فرضیات منطقی در بارهٔ بزرگی زلزله و شتاب حداکثر، گرافی برای تخمین ضریب زلزله در خاکریزهای با ارتفاع حداکثر ۲۰۰ فوت (۲۷ متر) ارائه کرد. این گراف تا صریب زلزله در خاکریزهای با ارتفاع حداکثر ۲۰۰ فوت (۲۱ متر) ارائه کرد. این گراف تا محدودی مبتنی بر میزان تغییر شکلهای مجاز است و بر اساس آن برای زلزله به بزرگی ترافی برای تخمین ریشتر، اگر تحلیل شبه استاتیکی با شتاب افقی معادل نصف شتاب حداکثر انجام شود، خرابی روش برای تمام ضرایب شتاب افقی، مقدار ضریب اطمینان قابل قبول، معادل یک بیان شده است [۲]. انستیتو تکنولوژی کانپور هند مقدار ضریب لرزهای آنالیز شبه استاتیک را برابر <u>3</u>

ب) نظراتی که ضریب شتاب افقی را در ارتفاع سد متغیر در نظر میگیرند. در این راستا، کریشنا استفاده از منحنیهایی که بر اساس معادهٔ گوتنبرگ و ریشتر تهیه شدهاند را توصیه کرده است. بر این اساس برای تعیین حداکثر شتاب زمین لازم است که حداکثر بزرگای محتمل و فاصلهٔ ساختگاه از کانون سطحی زلزله برآورد شود، سپس میتوان حداکثر شتاب زمین را بر حسب درصدی از شتاب ثقل قرائت کرد. وی برای به دست آوردن عکس العمل سد، استفاده از منحنی های هاوزنر را که بر اساس اندازه گیری واقعی عکس العمل سد نسبت به زلزله ثبت شده در کالیفرنیای آمریکا تهیه شده اند، پیشنهاد می کند. در این روش بر اساس زمان تناوب و نسبت میرایی بحرانی، شتاب عکس العمل در تاج سد تعیین شده و برای زلزله های مختلف اصلاح می شود. این شتاب در بالای سد منظور شده و به سمت قاعده بر اساس جدول ۱ کاهش پیدا می کند. در جدول مذکور، H ارتفاع سد و Z عمق نقطهٔ بررسی شده از مبداً تاج سد است [٤].

١	۰/٩	• /V	•/0	۰/٣	۰/۱	•/•	Z/H
•	•/1٣	• / ٤ ١	•/٦٧	•/AV	٠/٩٩	١	شتاب ماکزیمم نسبی

جدول ۱. مقادیر ضرایب تقلیل شتاب تاج [٤]

استاندارد طراحی لرزهای سدهای خاکی ژاپن برای طراحی سدهای خاکی همگن، سنگریزهای و ناحیهبندی شده با ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر روش شبهاستاتیک اصلاح شده را پیشنهاد کرده است. مطابق این روش، برای بررسی پایداری مقطع اصلی، ضریب لرزهای برای هر گوه لغزشی یک عدد ثابت است و از روابط (۱) و (۲) قابل محاسبه است:

$$(0 < \frac{y}{h} \le 0.4) \qquad \qquad K_h = K_f (2.5 - 1.85(\frac{y}{h})) \tag{1}$$

$$(0.4 < \frac{y}{h} \le 1) \qquad \qquad K_h = K_f (2 - 0.6(\frac{y}{h})) \qquad (1)$$

که *h* ارتفاع خاکریز، y فاصله عمودی بین تاج و انتهای گوه لغزشی و *K_f ض*ریب لرزهای طراحی در پی است. در این آیین نامه بیان شده که اگر شرایط غیر معمولی در وضعیت نیروهای لرزهای، توپوگرافی، پی، سازه و یا مصالح وجود داشته باشد، لازم است از روشهای دیگر نظیر تحلیل دینامیکی استفاده شود [۵].

کمکپناه و معقولی مقدار ضریب لرزهای را برای پایداری شیبهای طبیعی، بر اساس درصدی از نسبت شتاب محتمل (شتاب محتمل تقسیم بر شتاب ثقل)، بهصورت رابطهٔ (۳) پیشنهاد کردند: K_h= (ضریب اهمیت)× (ضریب عمق سنگ بستر)× (ضریب نوع خاک)× (ضریب اهمیت) = K_h

که در این رابطه، هرکدام از ضرایب با استفاده از روابط جداگانهای معرفی شدهاند [۲]. در سال ۲۰۰۸ قنبری و همکاران برای بررسی اثر انعطاف پذیری سدهای خاکی در انتخاب دقیق تر ضریب شتاب افقی، روی سد مسجدسلیمان؛ به عنوان بلندترین سد خاکی ایران؛ تحلیل های شبه استاتیکی و دینامیکی تحت دو زلزلهٔ منجیل و قاین انجام دادند. در ادامه با مقایسهٔ ابتکاری تاریخچهٔ زمانی ضرایب اطمینان گوههای مستعد لغزشی حاصل از تحلیل دینامیکی با ضرایب اطمینان حاصل از تحلیل شبه استاتیکی و با توجه به تغییر مکان ماندگار گوه لغزشی، ضریب شتاب افقی متغیر در ارتفاع را در سد مذکور معرفی کردند و با تکرار بررسی ها در سدهایی با ارتفاعهای مختلف، نتایج را توسعه دادند [۷]. در ادامهٔ بررسی مذکور، تحقیق حاضر [۸] به گونه ای پایه گذاری شد که دقت روش شبه استاتیکی با استفاده از تحلیل بیش تری استخراج شود.

روش استفاده شده برای تعیین ضریب شتاب افقی

در تحقیق حاضر، ضریب شتاب افقی در ارتفاع سد بر اساس تجارب حاصل از تحلیل دینامیکی سدهای مختلف و نحوهٔ تغییر منحنیهای بزرگنمایی شتاب طبق رابطهٔ (٤) پیشنهاد می شود [۸].

$$K_h(z) = K_{hB} \cdot (1 + \beta \cdot Z) \tag{5}$$

که در این رابطه، β بیانگر میزان تغییر شتاب در ارتفاع سد است و باید مستقیماً از نتایج تحلیل دینامیکی بهدست آید. در واقع، پارامتر مذکور اثرات هندسهٔ سد و رفتار انعطاف پذیر بدنهٔ سد در بزرگنمایی ضریب لرزهای پایه را بیان میکند و به طور معمول بین صفر تا ۱/۵ متغیر است. در رابطهٔ $\frac{y}{h} = Z$ ، که بیانگر موقعیت نقطهٔ مورد نظر در ارتفاع سد است، مرکز مختصات برای پارامتر y روی پایهٔ سد تعریف شده است و h نیز ارتفاع بخش غیرمدفون سد در نظر گرفته شده است. با توجه به توضیحات مذکور، حداکثر ضریب لرزهای در تاج ، ۲/۵ برابر ضریب شتاب افقی در پایهٔ سد بهدست میآید که در آیین نامههای مختلف مانند آیین نامهٔ بررسی تأثیر آبگیری مخزن در انتخاب ضریب شبهاستاتیکی سدهای خاکی

طراحی سدهای خاکی مقاوم در برابر زلزله در کشور ژاپن نیز این مقدار (حداکثر شتاب تاج به شتاب پایه) برابر ۲/۵ منظور شده است.

در رابطهٔ مذکور، ضریب شبهاستاتیکی شتاب افقی در پایهٔ سد (K_{hB}) که وابسته به شرایط لرزهخیزی ساختگاه و اثرات پی سد است، بهصورت رابطهٔ (۵) معرفی می شود. $K_{hB} = lpha A$ (۵)

در این رابطه، پارامتر A معادل حداکثر شتاب مبنای طراحی (MDE) با دورهٔ بازگشت ٤٧۵ سال است و α ضریب شتاب مبنای طرح است که با توجه به اثرات ساختگاه از ۰/۳ تا ۲/۰ تغییر میکند.

محاسبهٔ پارامتر Ω در سه مرحله انجام میشود: در مرحلهٔ اول، لازم است تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان گوهٔ لغزشی که از تحلیل دینامیکی بهدست آمده است با ضریب اطمینان حاصل از تحلیل شبه استاتیکی مقایسه شود. برای انجام این کار، تحلیل دینامیکی با شتاب نگاشتهای مقیاس شده به مقادیر مختلف PGA انجام شده و مقدار تغییر مکان گوه از روش نیومارک محاسبه میشود تا زلزلهای که حداکثر تغییر مکان مجاز ۳۰ سانتی متر را در گوه لغزشی ایجاد میکند تعیین شود و تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان گوه لغزشی در این حالت محاسبه و معادل ضریب اطمینان شبه استاتیکی یک فرض شود. در واقع با انجام محاسبات مذکور، پارامتر واسطهٔ *K* به گونهای محاسبه می شود که تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان را به یک عدد ثابت تبدیل کند. در این جا لازم است به این نکته اشاره شود که استفاده از معیار تغییر مکان مجاز ۳۰ سانتی متر برای گوه لغزشی دارای ضریب اطمینان یک بر اساس نتایج

در مرحلهٔ دوم، تحلیل دینامیکی سد با زلزله طرح انجام می شود و بر اساس الگوریتم ذکر شده در مرحلهٔ اول، تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان به عدد ثابت تبدیل می شود. از طرف دیگر با انجام تحلیل شبه استاتیکی با _ا K های مختلف، ضرایب اطمینان گوهٔ مورد نظر محاسبه می شود. از مقایسهٔ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی و شبه استاتیکی، ضریب افقی زلزله (نشان داده شده در سمت راست شکل ۱) به گونه ای انتخاب می شود که ضریب اطمینان حاصل از دو روش یک سان شود. در مرحلهٔ سوم، با مساوی قرار دادن مساحت حاصل از توزیع شتاب افقی متناظر با ضریب اطمینان مذکور (مساحت مستطیل) با توزیع خطی شتاب افقی پیشنهادی در این تحقیق (مساحت ذوزنقه) و با استفاده از مقدار معلوم β، پارامتر α مطابق شکل ۱ محاسبه می شود.

مشخصات مدل عددى

در تحقیق حاضر، سد سنگریزهای مسجدسلیمان با ارتفاع ۱۷۷ متر از پی سنگی، طول تاج 2۹۲ متر، هستهٔ رسی قائم و پوستهٔ سنگریزهای، که بر روی رودخانهٔ کارون بنا شده، بهعنوان مطالعهٔ موردی با استفاده از نرمافزار Plaxis مدل شد [۱۰]. مدل عددی سد مذکور، با ۱۷۷۱ گره، ۸۲٦ المان، ضخامت فونداسیون ۳ برابر ارتفاع سد و بحرانی ترین گوه لغزشی در شکل ۲ به نمایش در آمده است. همان گونه که در شکل ۲ الف مشاهده می شود، مخزن سد در حالت پر مدل شده است لیکن در تحقیق حاضر، تأثیر مخزن فقط به صورت تغییر تنش مؤثر در پوستهٔ بالادست و هستهٔ سد لحاظ شده و از تأثیر نیروهای هیدرودینامیک مخزن صرفنظر شده است.

برای مدلسازی بدنهٔ سد از مدل موهر کلمب و برای فونداسیون سنگی از مدل الاستیک خطی استفاده شده است. مشخصات استاتیکی مصالح استفاده شده در مدل شامل دانسیته ρ ، ضریب پواسون U، چسبندگیC، زاویهٔ اصطکاک داخلی ϕ ، زاویه اتساع Ψ و مدول یانگ E مطابق جدول ۲ معرفی شده است [۱۱]. برای مصالح لازم به ذکر است مقادیر پارامترهای مصالح بدنه سد مسجدسلیمان بر اساس تحقیق صورت گرفته در مرجع ۱۱ انتخاب شده است. در این تحقیق، پارامترهای استاتیکی و دینامیکی خاک بر مبنای گزارش ارائه شده از طرف مهندسین مشاور طراح سد (مشارکت نیپون-کوئه ژاپن، لامایر آلمان و مشانیر ایران) انتخاب شده و بر اساس نتایج آزمایشهای فیلد تدقیق شده است.

نتایج تحلیلهای استاتیکی و شبهاستاتیکی و دینامیکی

با انجام تحلیل استاتیکی، ضریب اطمینان گوه مستعد لغزش برابر ۱/٦٥ محاسبه شد. همچنین تحلیلهای شبهاستاتیک مدل سد مسجدسلیمان با استفاده از مقادیر ضریب شتاب افقی مختلف انجام گرفت. نتایج ضریب اطمینان گوه مستعد لغزش در تحلیل شبه استاتیکی در جدول ۳ قابل مشاهده است. جهت انتخاب پارامترهای مقاومتی مورد نیاز در تحلیل دینامیکی، پارامتر چسبندگی ۱/۵ برابر حالت استاتیکی و زاویهٔ اصطکاک ۲ واحد کمتر از حالت استاتیکی معرفی شده است [۱۲].

برای برآورد پارامترهای میرایی رایلی مورد نیاز تحلیل دینامیکی، فرکانسهای اول و دوم مودی بدنهٔ سد بر اساس نتایج بررسیهای قبلی [۱۳] معادل٤ /۱ و۱/۹ هرتز انتخاب شد و با فرض نسبت میرایی ۵ درصد، مقادیر ۵/۰۰ه و ۵۰/۰۰ ج ۹ بهدست آمد.



شکل ۱. تناظر بین توزیع خطی شتاب افقی و مقدار ثابت آن

E (* ۱۰ [^] N/m ²) عمق (m)				Ψ (deg)	ø (deg)	N/m ²)	υ	ρ (Kg/m ³)	سالح	20	
١٤٨	٩٣	٤٣	۳١	١٢	Ś	(ucg)	C (*		(Rg/III)		
۲/۱	• /V	_	۰/٣	_	•	١٩	• / ٤	• /٣٤	۲۲۰۰	اشباع(٣)	ھىر تە
1/28	۱/۱۳	۰/۸٦	-	•//\٦	77	٤٥	•/••٢	•/٤	***•	خشک (۷و ۸)	
1/72	•/٩٥	•/٦٧	-	_	١٨	٣٧	•/••٢	• /٣٨	****	خشک (٦)	پوسر تە
١/٣٣	۱/•۹	I	•/٦٤	I	77	٤٥	•/••٢	•/٤	۲۳۵۰	اشباع(۱)	
١/٥٥	١/٠٦	-	• /V	_	•	٤٠	•/••٢	• /٣٦	****	مرطوب (عو ٥)	فيلتر
1/22	•/٩٤	_	•/٤٩	_	*	٤٠	•/••٢	• /٣٦	1000	اشباع(٢)	: •
	۱.				-	-	-	۰/٣	70	بستر	سنگ

جدول۲. پارامترهای استفاده شده در تحلیل استاتیکی سد مسجدسلیمان [۱۱]

•/٢٩	• / ٢	•/١٣	•/١	k _h
۱/۰۱	1/19	1/29	١/٤٨	ضريب اطمينان

جدول ۳. نتایج ضرایب اطمینان گوه مستعد لغزش با شتابهای افقی مختلف در تحلیل شبهاستاتیکی

با توجه به قرارگیری سد مسجدسلیمان در حوزهٔ نزدیک گسل اندیکا، در پژوهش حاضر از دو نگاشت مشهور زلزله حوزهٔ نزدیک طبس و چیچی بهعنوان محرک ورودی در تحلیل دینامیکی استفاده شد. تاریخچهٔ زمانی شتابنگاشتهای مذکور در شکلهای ۳ و ٤ نشان داده شده است. با اعمال شتابنگاشتهای مذکور، تاریخچهٔ زمانی ضرایب اطمینان گوه مستعد لغزشی در تحلیل دینامیکی مطابق شکلهای ٥ و ٦ محاسبه شد. لازم به ذکر است با توجه به افزایش ضریب اطمینان در طول زلزله و نیاز به انجام محاسباتی که در ادامه بیان میشود، تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان با اعمال فیلتر بالاگذر (۲/ هرتز) و تصحیح خط مبنا اصلاح



شکل ۲.الف) مقطع سد مسجدسلیمان به همراه نواحی مختلف مصالح ب) شبکهٔ اجزا محدود بدنه و فونداسیون سد مسجدسلیمان ج) قسمت بزرگ شدهٔ بدنهٔ سد و بحرانی ترین گوه مستعد لغزش







شکل ۵. تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان گوه مستعد لغزش در حالت تحریک با زلزله طبس الف) قبل از اعمال فيلتر بالاگذر



شکل ٦. تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان گوه مستعد لغزش در حالت تحریک با زلزله چی چی الف) قبل از اعمال فیلتر بالاگذر ب) پس از اعمال فیلتر بالا گذر

β روند محاسبه ضریب

با توجه به توضیحات ارائه شده برای رابطهٔ ٤، پارامتر β نحوهٔ توزیع شتاب در ارتفاع سد را مشخص میکند. بنا بر این در این قسمت با انجام تحلیل دینامیکی، منحنی تغییرات دامنه شتاب در قسمت میانی هسته مطابق شکل ۷ محاسبه شد. با فرض خطی بودن شتاب حداکثر در ارتفاع، چنانکه در شکل ۷ مشاهده می شود، مقدار نسبت شتاب حداکثر در تاج به شتاب حداکثر در پایهٔ سد برای زلزله های طبس و چی چی به ترتیب برابر ۱/۳٤ و ۱/۳۸ به دست می آید. بنا بر این مقدار β را در مدل عددی مذکور می توان به صورت میانگین برابر ۰٫۳۰ در نظر گرفت.

در ادامه، برای تعیین اثر تغییرات تراز آب مخزن در مقدار پارامتر β، محاسبات تحلیل دینامیکی در ٦ تراز مختلف آب مخزن تکرار و نتایج محاسبات بهصورت شکل ۸ استخراج شد. چنانکه در شکل مشاهده می شود با افزایش سطح آب مخزن تا اواسط ارتفاع سد، پارامتر β کاهش و با افزایش بیشتر ارتفاع آب به تدریج افزایش می یابد. روند مذکور را می توان به صورت یک معادلهٔ درجه دو با ضریب هم بستگی ۸۵/۰=R بیان کرد.



شکل ۷. تغییرات شتاب حداکثر در ارتفاع سد (عبوری از مرکز هسته) با اعمال زلزله طبس و چیچی

α روند محاسبهٔ ضریب

با توجه به توضیحات ارائه شده برای رابطهٔ (۵)، در مرحلهٔ اول محاسبهٔ پارامتر α، برای یافتن زلزلهای که تغییر مکان مجاز را در گوهٔ مورد نظر ایجاد میکند و بهمنظور بررسی تأثیر بزرگی زلزله در نتایج تحلیل، شتابنگاشتهای استفاده شده در آنالیزهای دینامیکی به مقادیر g ۰/۲ الی ۱g (با فاصلهٔ ۰/۷۵) مقیاس و با هر کدام از شتابنگاشتهای مقیاس شده برای گوه مستعد لغزش یک تحلیل دینامیکی انجام شد. با استفاده از نتایج بهدست آمده و بهکمک رابطهٔ ۲، شتابنگاشت متوسط گوه مستعد لغزش بهدست آمد.



$$\overline{a}(t) = \frac{\sum a_i(t).A_i}{\sum A_i} \tag{1}$$

شکل ۹. نحوهٔ محاسبهٔ تغییرمکان ماندگار ۳۰ cm در گوه مستعد لغزش با اعمال: الف) زلزله طبس مقیاس شده به شتاب ۰/٦٤g ب) با اعمال زلزله چی چی مقیاس شده به شتاب ۰/٥٩g از بالا به پایین بهترتیب: تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییرمکان.

در این محاسبات گوهٔ لغزشی به سطوح مختلف Ai تقسیم شد و (ai(t) مقدار تاریخچهٔ زمانی شتاب در مرکز هر سطح به دست آمد. با استفاده از روش بلوک لغزشی نیومارک و به کمک نرمافزار تهیه شده در محیط Matlab [۹]، تغییر مکان ماندگار گوه مستعد لغزش به روش نیومارک محاسبه شد. در شکل ۹ مقایسهٔ شتاب نگاشت متوسط گوه با شتاب تسلیم، نحوهٔ انتگرال گیری از مقادیر شتاب متوسط گوه و در نتیجه تغییرات سرعت و تغییر مکان ماندگار برای هر دو زلزلهٔ طبس و چی چی ارائه شده است.

چنانکه مشاهده می شود تغییر مکان مجاز ۳۰ سانتی متری گوهٔ مستعد لغزش با اعمال زلزلهٔ طبس در شتاب مقیاس شده به ۱۰۶۵ و با اعمال زلزلهٔ چی چی در شتاب مقیاس شده به g ۱۰٫۷۰ حاصل شده است. با اعمال شتابنگاشتهای معادل تغییر مکان مجاز به مدل عددی، تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان گوهٔ مستعد لغزش با استفاده از روابط مربوط مطابق شکلهای ۱۰ و ۱۱ محاسبه شد.



شکل ۱۰. تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان معادل تغییر مکان مجاز گوه در زلزله طبس مقیاس شده به ۲٤g/ ۱۰لف) قبل از اعمال فیلتر بالاگذر ب) پس از اعمال فیلتر بالاگذر



شکل ۱۱. تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان معادل تغییر مکان مجاز گوه در زلزله چی چی مقیاس شده به ۰/۵۹g الف) قبل از اعمال فیلتر بالا گذر ب) پس از اعمال فیلتر بالاگذر

برای تبدیل ضرایب اطمینان گوه لغزشی در حالت دینامیکی به ضریب اطمینان معادل شبهاستاتیکی از رابطهٔ ۷، تابع *۸*، استخراج شده و با اعمال این ضریب بر ضرایب اطمینان دینامیکی ناشی از شتابنگاشتهای مقیاس شده به MDE، ضریب اطمینان معادل بهدست آمد.

$$\lambda. \ \overline{f}_{s}(t)_{30} = 1 \tag{(Y)}$$

در رابطهٔ ۰۲، $f_s(t)_{30}$ تغییرات ضریب اطمینان گوه لغزشی بر اثر زلزلهای است که تغییر مکان ۳۰ سانتیمتر را ایجاد میکند. از آن جا که در نمودار تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان دینامیکی، لحظاتی که مقدار مذکور به مقدار کمتر از ضریب اطمینان استاتیکی میرسد حائز اهمیت خاصی است از این رو، تابع f مطابق شکل ۱۲ برای در نظر گرفتن مقادیر کمتر از ضریب اطمینان استاتیکی (ضریب اطمینان در لحظه (t=0) به تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان اعمال شد. با بهدست آوردن تابع $f_s(t)_{30}$ برای گوه مورد نظر در زلزلههای طبس و چیچی، متوسط ضریب اطمینان \overline{f} محاسبه شد و در نتیجه، مقادیر مختلف Λ مطابق جدول ٤ بهدست آمد. پس از استخراج ضریب Λ و محاسبهٔ مقادیر $(t)_s \overline{f}$ ، ضریب اطمینان معادل دینامیکی \mathbf{S}_E با استفاده از رابطهٔ ۸ مطابق جدول ٤ محاسبه شد. از آنجا که مقدار مذکور در گوهٔ بررسی شده برای دو زلزله، نزدیک بههم بهدست آمد از این رو، متوسط این دو مقدار برابر ۱/۱۳۵ به عنوان ضریب اطمینان معادل دینامیکی سد مسجدسلیمان در دو زلزلهٔ بررسی شده منظور شد.

$$S_E = \lambda . \overline{f}_S(t) \tag{A}$$

در مرحلهٔ دوم محاسبهٔ پارامتر α، با مقایسهٔ مقادیر ضرایب اطمینان شبهاستاتیکی (جدول۳) با ضریب اطمینان معادل دینامیکی ۱/۱۳۵، نزدیکترین مقدار ضریب شتاب افقی برابر ۲/۰ بهدست آمد.



 \overline{f} شکل ۱۲. قسمتی از تاریخچهٔ زمانی ضریب اطمینان دینامیکی در نظر گرفته شده برای محاسبهٔ \overline{f}

1900

مطابق مرحلهٔ سوم، با مشخص شدن مقدار ضریب شتاب افقی ثابت در ارتفاع و همچنین مقدار β، با برقراری تناظر یکبهیک بین دو قسمت شکل ۱، مقدار α در پایهٔ سد برابر ۰/۰ محاسبه شد.

جدول ٤. ضرایب تبدیل λ و ضریب اطمینان معادل دینامیکی محاسبه شده در دو زلزلهٔ بررسی شده

$S_{\rm E}$	$\overline{f}_{s}(t)$	λ	$\overline{f}_{s}(t)_{30}$	زلزله
1/12	1/02	۰/V٤	١/٣٥	طبس
۱/۱۳	١/٦٥	•/W	١/٤٦	چىچى

به منظور بررسی دقت روش ارائه شده در تحقیق حاضر، نحوهٔ تغییرات خطی شتاب در ارتفاع سد (که مورد نیاز تحلیل شبه استاتیکی سدهای خاکی نیز است) با حالت واقعی تغییرات غیر خطی شتاب در ارتفاع سد (حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی) در ترازهای مختلف آب مخزن ارزیابی و مقایسه شد. به عنوان نمونه، چنان که در شکل ۱۳ برای تراز m ۳۱۹ آب مخزن مشاهده می شود در همهٔ ارتفاع های بررسی شده، مقادیر شتاب افقی زلزله حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی همواره کوچک تر از حالت خطی فرض شده است. به عبارت دیگر با اطمینان می توان نتیجه گیری کرد که در روش مذکور (استفاده از تحلیل شبه استاتیکی با ضریب افقی متغیر خطی در ارتفاع) همواره طراحی سد به صورت دست بالا انجام می شود.

برای مقایسه بین نتایج حاصل از تحقیق حاضر با بررسیهای دیگر محققان و آیین نامههای دنیا، همهٔ نتایج در شکل ۱۶ ترسیم شده است. براساس این شکل، تأثیر لحاظ کردن انعطاف پذیری بدنهٔ سد با توجه به ترازهای مختلف آب مخزن بر روی ضریب شتاب افقی زلزله قابل مشاهده است به طوری که مقادیر پیشنهادی، از مقدار ۱۷/۰ در ترازهای پایین بدنهٔ سد شروع می شود و در تراز تاج سد به حداکثر ۲۳/۰ می رسد. چنان که در شکل مشاهده می شود، پهنای باند ارائه شده در این تحقیق به گونه ای است که در ترازهای پایین بدنهٔ سد، تأثیر تغییرات تراز آب مخزن بر ضریب شتاب افقی زلزله ناچیز است در حالی که در ترازهای بالاتر، این تأثیر بیش تر است. مقایسهٔ نتایج این پژوهش با نتایج دیگران نیز نشان می دهد که در نظر گرفتن انعطاف پذیری بدنهٔ سد، منجر به افزایش ضریب شتاب افقی در ترازهای بالاتر بدنهٔ سد می شود. بنا بر این، معیار ضریب شتاب ثابت در ارتفاع سد (که در طراحیهای مرسوم سدهای خاکی به وفور استفاده می شود) باعث می شود گوههای مستعد لغزش واقع در ترازهای بالای سد، زمین لرزههای ضعیف تری طراحی کنند. در ادامهٔ این بررسیها، تحلیل های مشابه روی سدهای با ارتفاع مختلف و با تعداد بیش تر نگاشت های زلزله های حوزه دور و نزدیک در حال انجام است.





شکل ۱٤. مقایسهٔ k_h بهدست آمده در ترازهای مختلف بدنهٔ سد بر اساس معیار این تحقیق با معیارهای دیگر

نتيجه گيري

در این تحقیق، اثر تغییرات تراز آب مخزن، لرزهخیزی ساختگاه، مشخصات هندسی و انعطافپذیری سد بهعنوان عوامل مؤثر در تعیین ضریب شتاب افقی در طراحی شبهاستاتیکی سدهای خاکی بررسی شد. بهاین منظور با انجام تحلیلهای استاتیکی و شبهاستاتیکی، تحلیل دینامیکی سد مسجدسلیمان با استفاده از شتابنگاشت زلزلههای چیچی و طبس انجام شد. سیس ضریب اطمینان معادل دینامیکی بر اساس روش پیشنهادی و با محاسبهٔ تغییر مکان مجاز گوهٔ لغزشی با روش نیومارک بهدست آمد و با مقدار شبهاستاتیکی مقایسه شد. در ادامهٔ تحقیقات، ضریب شتاب افقی ثابت و متغیر در ارتفاع، در ترازهای مختلف آب مخزن بهدست آمد و مشاهده شد با افزایش سطح آب مخزن تا اواسط ارتفاع سد، پارامتر eta کاهش و با افزایش بیشتر ارتفاع آب بهتدریج افزایش مییابد. با مقایسهٔ معیار ارائه شده در این پژوهش با معيارهاي ارائه شده محققان ديگر و آييننامههاي مختلف مي توان نتيجه گرفت روش پيشنهادي منجر به افزایش ضریب شتاب افقی در ترازهای بالاتر بدنهٔ سد می شود. بنا بر این، معیار ضریب شتاب ثابت در ارتفاع سد منجر خواهد شد گوههای مستعد لغزش واقع در ترازهای بالای سد، به زمینلرزههای ضعیفتری طراحی شوند. بدیهی است نتایج بهدست آمده، صرفاً بر اساس تحلیل های دینامیکی و شبهاستاتیکی سد مسجدسلیمان و با تعداد نگاشتهای محدود زلزله بهدست آمده است و توسعه و کاربردی کردن نتایج به حالت عمومی سدهای خاکی، نیاز به تحقيقات تكميلي دارد.

- Jansen R.B, "Advanced dam engineering", A Van Nostrand Reinhold Book (1988).
- Pyke R., "Selection of Seismic Coefficients for Use in Pseudo-Static Slope Stability Analysis", Consulting Engineer, Lafayette (1991) from: www.tagasoft.com.

منابع

- Indian Institute of Technology Kanpur, "IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Earth Dam and Embankments" (2004).
- 4. Jai Krishna, "Earthquake Resistant Design of Earth Dam", Symp. on Earthquake Eng, University of Roorkee, Poorkee, U.P, India (1962).
- 5. "The Seismic design standard for embankment dam (Draft)", Japan (1992).
- Komak-Panah A., Maagholy A., "determining the horizontal seismic coefficients in pseudo-static analysis of slops", Third Iranian international conference of Geotechnical Engineering and soil mechanics, Tehran (2002).
- Ghanbari A., Davoodi M., Ahmadi B, "A new equation to calculate the seismic coefficient of pseudo-static analysis for Masjed Soleiman Dam", Dam Engineering, Volume XIX, Issue 2, Sept., (2008) 123-144.
- Abedini S., "Using Dynamic Analysis of Embankment Dams for Developing the Pseudo Static Approach", MS thesis, Zanjan Islamic Azad University, Iran (2008).
- Bray J.D. Rathje E.R., "Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills", Jornal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE, 124(3) 242-253 (1998).
- 10. PLAXIS, Version 8.2, Reference Manual, Web:http://www.plaxis.nl.com.
- Davoodi M. "Dynamic characteristic evaluation of embankment dams by forced and ambient vibration tests", Ph.D. thesis, International Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, I.R. Iran (2003).
- Braja M.D., "Foundamentals of Soil Dynamics", New York, Amsterdam Oxford (1985).

 Davoodi M., Amel Sakhi M., Jafari M.K., "Comparing Classical and Modern Signal Processing Techniques in Evaluating Modal Frequencies of Masjed Soleiman Embankment Dam during Earthquakes". Asian Journal of Applied Sciences, 2 (1) (2009) 36-49.