

بررسی اثر مدت زمان موثر بر روی تغییر شکل‌های ناشی از زلزله در نقاط مختلف سد خاکی

دکتر احمد رضا محبوبی اردکانی، استادیار دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور، گروه مهندسی آب

دکتر عباس مهدویان، استادیار دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور، گروه مهندسی آب

محمد حسن عبدی، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور

چکیده:

طراحی سدهای خاکی مقاوم در برابر زلزله، با توجه به زلزله خیز بودن کشور و هزینه بالای ساخت سدهای خاکی که در صورت تخریب تحت تاثیر بار زلزله، خسارت جانی و مالی فراوانی به بار می‌آورد، یکی از نیازهای حال حاضر کشورمان که سدهای خاکی فراوانی، در گوشه و کنار کشور، در حال مطالعه و اجرا هستند، می‌باشند. هر چند که تا به حال، هیچ سد خاکی در کشور تحت اثر زلزله، تخریب نشده است که شاید دلیل عمده آن هم تجربه نکردن زلزله شدید این سدها باشد، اما طراحی ایمن این سازه‌ها در مقابل زلزله، با توجه هزینه‌های نسبتاً بالای ساخت سدها، اهمیتی دو چندان می‌یابد. از آنجا که نیروی زلزله از جمله مهمترین عوامل تاثیرگذار بر سدها می‌باشند، لذا بررسی رفتار آنها پیش از احداث امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. همچنین لازم به ذکر است از نرم افزار FLAC برای انجام آنالیز دینامیکی و برآورد تغییر شکل‌ها، استفاده شده است و برای مدل کردن رفتار مصالح از مدل الاستو پلاستیک موهر-کولمب استفاده شده است.

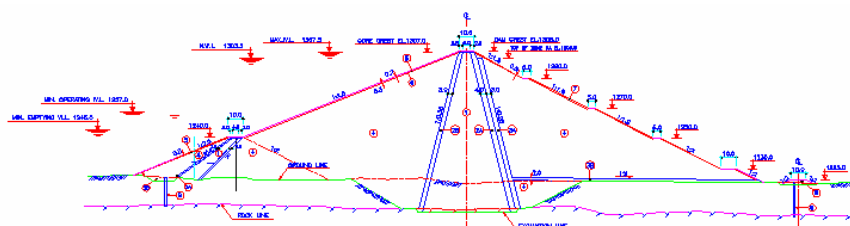
کلید واژه: سد خاکی، برآورد ایمنی، آنالیز دینامیکی، غیر خطی، لرزه‌ای.

۱- مقدمه: آنالیز دینامیکی غیر خطی سد خاکی مستلزم تعریف یک داده ورودی لرزه‌ای که شامل چندین

پارامتر است، می‌باشد. ورودی‌های لرزه‌ای باید در قالب چندین شتابنگاشت یک زلزله واقعی (زلزله طرح) باشد. این امر به خاطر مدل کردن رفتار مصالح تشکیل دهنده و مسیر تنش و وابستگی آنها، پیچیده می‌باشد و معمولاً منجر به انتخاب چندین شتابنگاشت (برای این نوع آنالیز) می‌شود. رکوردهای طبیعی باید برای یک سری شرایط ویژه اصلاح شود و در بعضی از حالت‌ها از شتابنگاشت‌های مصنوعی برای مدل کردن حرکت زمین استفاده شود. همچنین پارامترهای ویژه هر شتابنگاشت ممکن است منجر به اختلاف فاحشی در پیشگویی پاسخ سازه شود. این تحقیق بر روی تاثیر یکی از پارامترهای منحنی شتابنگاشت (مدت زمان موثر)، بر روی تغییر شکل‌ها در تحلیل دینامیکی سد خاکی می‌باشد.

۲- مشخصات مدل: برای بررسی تاثیر مدت زمان موثر زلزله روی تغییر شکل‌های ناشی از زلزله، سد ماملو به

عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. سد ماملو، سد خاکی با هسته رسی و با ارتفاع ۸۶ متر از بستر رودخانه و طول تاج نیز ۸۰۷ متر می‌باشد. ارتفاع نرمال آب در تراز حدود ۸۱/۵ متری سد می‌باشد و سد در بزرگترین مقطع دارای عرض ۲۰۰ متر می‌باشد. در شکل ۱ مقطع عرضی سد ماملو و در جدول ۱ نیز خصوصیات مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح آورده شده است.



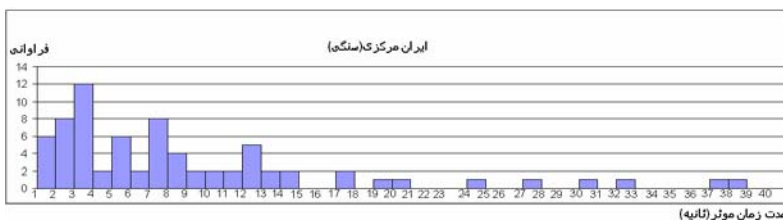
(شکل ۱) - مقطع عرضی سد ماملو

جدول ۱- خصوصیات گروه های مختلف مصالح

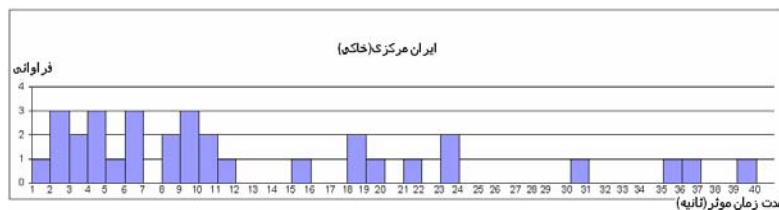
مصالح	ویژگی	پوسته	پی	هسته	زهکش
وزن مخصوص مرطوب (kN/m^3)	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۰/۵	۲۰
مدول الاستیسیته (MPa)	۱۰۰	۸۰	۸۰	۷۵	۸۰
نسبت پواسون	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳
چسبندگی (kPa)	۰	۰	۰	۲۰	۰
زاویه اصطکاک داخلی	۴۲	۳۶	۳۶	۲۶	۳۶
زاویه اتساع	۰	۰	۰	۰	۰
تخلخل	۰/۳	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳	۰/۳۸

در اینجا منظور از مدت دوام موثر، عبارت است از زمان مورد نیاز برای بوجود آوردن شدتی موسوم به شدت آریاس در حد فاصل بین ۵ تا ۹۵ درصد کل شدت آریاس یک شتابنگاشت انتخاب شده است. برای بررسی اثر مدت زمان موثر زلزله روی تغییر شکلها، ابتدا باید یک سری شتابنگاشت انتخاب شود که این امر (با توجه و با بررسی مدت زمان موثر زلزله-های ثبت شده و توجه به این نکته که شتابنگاشتهای انتخابی باید دارای مدت زمان موثر شبیه به زلزله های رخ داده در ایران باشد) انجام پذیرفته است. همانطور که می دانیم ایران از لحاظ لرزه خیزی به دو استان لرزه زمین ساخت زاگرس و ایران مرکزی تقسیم می شود در شکلهای ۲ و ۳ و ۴ و ۵ نمودار فراوانی زلزله های ثبت شده، نشان داده شده است و همچنین برای این دو استان بازه مدت زمان موثر زلزله های ثبت شده در جدول (۲) آمده است.

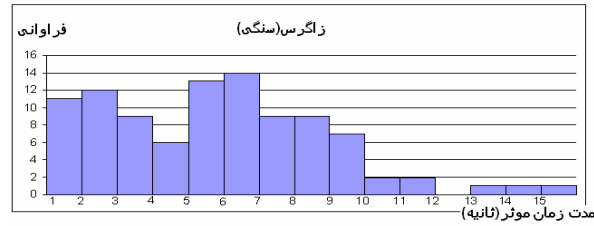
لازم به ذکر است که به منظور اهداف مقایسه ای، لازم است که از نگاشتهایی با ماکزیمم شتاب و محتوی فرکانسی و انرژی تقریباً یکسان و مدت زمانهای موثر مختلف استفاده شود. به همین منظور با اعمال تصحیحات لازم (به طور مصنوعی) برای یکسان کردن مشخصه های ذکر شده، شتابنگاشتها تهیه گردید. همچنین برای تمیز دادن تغییر شکلهای ناشی از مدت زمان موثر زلزله از تغییر شکلهای ناشی از افزایش فشار آب حفره ای، در ابتدای این قسمت فشار آب را ثابت نگه می داریم.



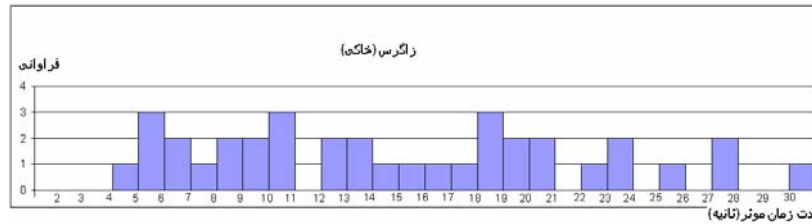
(شکل ۲) - منحنی فراوانی زلزله های ثبت شده در منطقه ایران مرکزی (سنگی) [Mahdavian, 1997]



(شکل ۳) - منحنی فراوانی زلزله های ثبت شده در منطقه ایران مرکزی (خاکی) [Mahdavian, 1997]



(شکل ۴) - منحنی فراوانی زلزله‌های ثبت شده در منطقه زاگرس (سنگی) [Mahdavian, 1997]

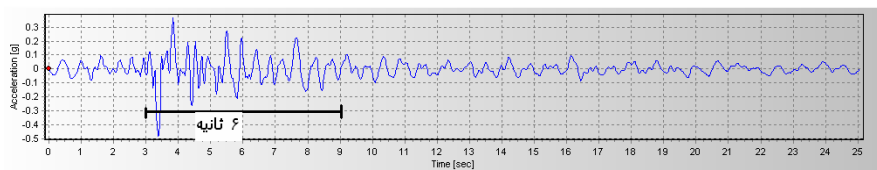


(شکل ۵) - منحنی فراوانی زلزله‌های ثبت شده در منطقه زاگرس (خاکی) [Mahdavian, 1997]

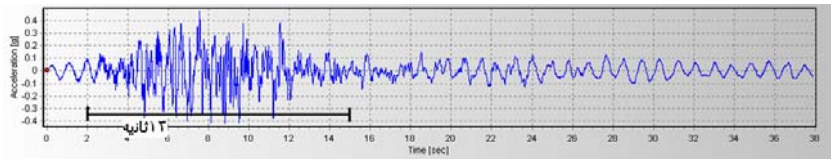
(جدول ۲) - مدت زمان موثر زلزله‌های رکورد شده در ایران (مولفه طولی) [Mahdavian, 1997]

منطقه	ساختگاه	بازه مدت زمان موثر (ثانیه) *
ایران مرکزی	سنگی	۱ تا ۱۵
	خاکی	۴ تا ۴۰
زاگرس	سنگی	۱ تا ۱۲
	خاکی	۴ تا ۳۰

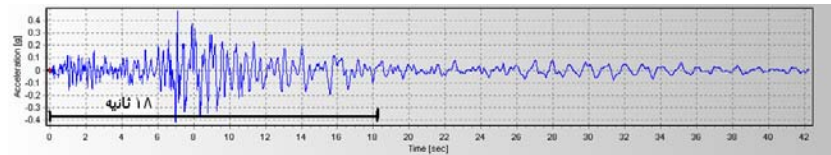
شتابنگاشتهایی با مدت زمانهای موثر ۶ ثانیه و ۱۳ ثانیه و ۱۸ ثانیه و ۳۰ ثانیه تهیه و اعمال شد که در شکل‌های (۶) تا (۹) ، این شتابنگاشتها نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، تمامی شتابنگاشتها دارای ماکزیمم شتاب $0.48g$ می باشند.



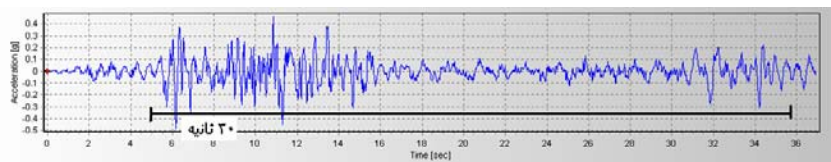
(شکل ۶) - پیشینه شتاب ورودی (تصحیح شده) با مدت دوام موثر ۶ ثانیه



(شکل ۷) - پیشینه شتاب ورودی (تصحیح شده) با مدت دوام موثر ۱۳ ثانیه



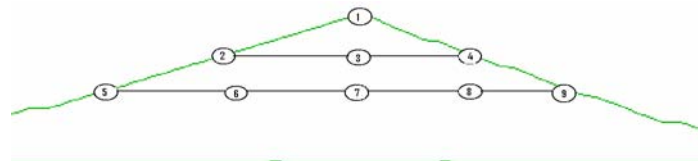
(شکل ۸) - پیشینه شتاب ورودی (تصحیح شده) با مدت دوام موثر ۱۸ ثانیه



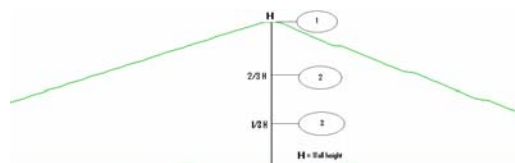
(شکل ۹) - پیشینه شتاب ورودی (تصحیح شده) با مدت دوام موثر ۳۰ ثانیه

۲-۱ - معرفی نقاط مشخص شده روی سد برای بررسی تغییر شکلهای

در این قسمت یکسری نقاط روی سد مشخص می‌کنیم (این نقاط در قسمتهایی از سد که تغییر شکل آنها مهم و کنترل کننده رفتار سد در هنگام زلزله می‌باشد مانند تاج سد، وسط ارتفاع سد و در نقاطی روی شیبهای پائین دست و بالا دست سد انتخاب شده‌اند). در شکل (۱۰) نقاط مشخص شده برای مقایسه تغییر شکلهای افقی و در شکل (۱۱) نقاط مشخص شده برای مقایسه تغییر شکلهای عمودی نشان داده شده‌اند.



(شکل ۱۰) - نقاط مشخص شده روی سد برای کنترل تغییر شکلهای افقی



(شکل ۱۱) - نقاط مشخص شده روی سد برای کنترل تغییر شکلهای عمودی

۳- روش تحلیل:

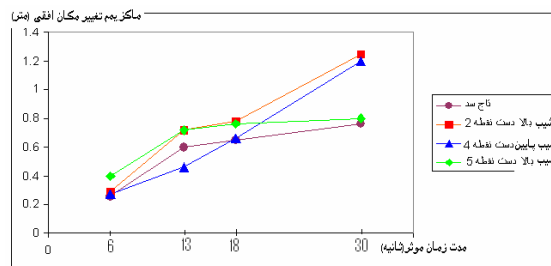
بطور کلی انجام آنالیز را در ۳ گام می‌توان خلاصه نمود:

- ۱- برقراری حالت اولیه تنش در سد خاکی و پی آن پس از ساخت اولیه
- ۲- برقراری حالت اولیه تنش وقتی که ارتفاع آب مخزن در بالاترین مقدار حالت بهره برداری است.
- ۳- انجام آنالیز لرزه‌ای با مدت زمانهای موثر انتخاب شده

مدل رفتاری ساده الاستو پلاستیک مبتنی بر معیار موهر- کولمب برای بیان رابطه تنش - کرنش خاک و نیز میرایی رایلی برای افزایش سطح میرایی هیسترتیک و جبران کمبود میرایی هیسترتیک در تحلیل‌ها به کار گرفته شده‌اند. برای تخصیص پارامترهای میرایی از نتایج آنالیز مودال که با استفاده از نرم افزار SAP 2000 انجام شده، استفاده شده است و f_{min} سد مذکور برابر با $0/98\text{Hz}$ بدست آمد. فاز محاسبات دینامیکی در حالت کرنش‌های بزرگ انجام می‌شود، چرا که ایجاد تغییر شکل‌ها و اعوجاج‌های زیاد، در مسایلی از این دست مورد انتظار است

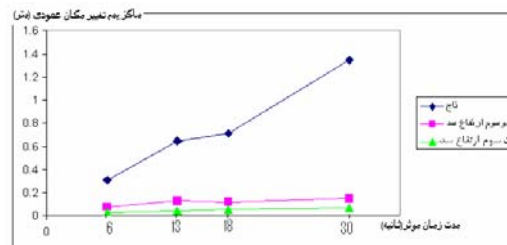
۴- تفسیر تغییر شکلهای بدست آمده

۱. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش مدت زمان موثر زلزله، به طور کلی تغییر شکلهای در تمامی نقاط افزایش یافت. البته این روند افزایشی تغییر شکلهای، از مدت زمان موثر ۶ ثانیه به ۱۳ ثانیه و ۱۸ ثانیه به ۳۰ ثانیه نمود بیشتری داشت و از مدت زمان موثر ۱۳ ثانیه به ۱۸ ثانیه نمود بسیار کمتری داشت. در شکل (۱۲) مقایسه بین تغییر مکان افقی ماکزیمم در نقاطی مانند تاج و شیبهای بالا دست و پایین دست، انجام شده است. ملاحظه می‌شود که در ۶ ثانیه تغییر شکل ماکزیمم در شیب بالا دست (در نقطه شماره ۵) اتفاق می‌افتد و با بالا رفتن مدت زمان موثر تغییر شکل در نقطه شماره ۲ بیشتر می‌شود به طوری که در ۳۰ ثانیه دارای بیشترین تغییر شکل افقی ماکزیمم است.



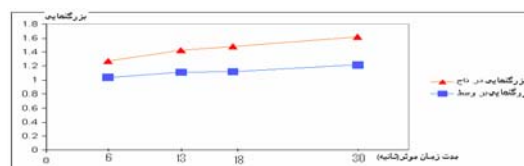
(شکل ۱۲) - مقایسه تغییر مکان افقی ماکزیمم در نقاط ۱ و ۲ و ۵ (نقاط مهم برای بررسی رفتار سد)، برای مدت زمانهای موثر مختلف

۲. در شکل (۱۳) مقایسه تغییر مکان عمودی ماکزیمم در نقاط ۱ و ۲ و ۳ برای مدت زمانهای موثر مختلف، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش مدت زمان موثر به طور کلی نشستها بیشتر می‌شود و برای همه زمانهای مختلف، تاج سد بیشترین نشست را دارا می‌باشد.



(شکل ۱۳) - مقایسه تغییر مکان عمودی ماکزیمم در نقاط ۱ و ۲ و ۳ برای مدت زمانهای موثر مختلف

۳. مقایسه بین بزرگنمایی حاصل در تاج و وسط سد برای مدت زمانهای موثر مختلف، در شکل (۱۴) آورده شده است. ماکزیمم بزرگنمایی در تاج و در مدت زمان موثر ۳۰ ثانیه رخ داده است.



(شکل ۱۴) - مقایسه بزرگنمایی در تاج و وسط سد به ازای مدت زمانهای موثر مختلف

۵- نتیجه گیری:

۱- ملاحظه شد که به طور کلی با افزایش مدت زمان موثر زلزله، علاوه بر افزایش عمومی تغییر شکل‌های ناشی از زلزله، رژیم تغییر شکلها در نقاط مختلف سد و جایی که تغییر شکل (افقی) ماکزیمم اتفاق می افتد، نیز تغییر می کند. همچنین به طور کلی نشستها بیشتر می شود و برای همه زمانهای مختلف، تاج سد بیشترین نشست را دارا می باشد

۲- در بررسی مدت زمانهای موثر، مشخص گردید که با افزایش مدت زمان، تغییر شکلها به طور کلی (هم عمودی و هم افقی) افزایش پیدا می کند، بنابراین می توان نتیجه گرفت ماکزیمم شتابی که باعث گسیختگی سد می شود، کمتر می شود.

۶- منابع و مأخذ

1. Ambraseys, N. N., "On the shear response of a two-dimensional truncated wedge subjected to an arbitrary disturbance," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 50. No. 1, pp. 45-56, 1960.
2. Das, B. M., "Principles of soil dynamics," Pws-Kent Publishing Co., Boston, 1993.
3. Finn, W. D. L., "Dynamic analysis in geotechnical engineering," Earthquake Engineering and soil Dynamics II: Recent Advances in Ground-motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, ASCE, New York, pp. 523-591, 1988.
4. Gazetas, G., "Seismic response of earth dams: some recent developments," Journal of Soil Dynamic and Earthquake. Eng., Vol. 6, No. 1, pp. 2-47, 1987.
5. Idriss, I. M. & Seed, H. B., "An analysis of ground motions during the 1957 San Francisco earthquake," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, No. 6, pp. 2013-2032, 1968.
6. Itasca Consulting Group, Inc, "Fast Lagrangian Analysis of Continua Ver. 4.0, User'S Guide," Minnesota, USA, 2001.