



بررسی رفتار سد های خاکی همگن رسی و ماسه ای با پریودهای مختلف در زلزله های حوزه نزدیک گسل

حبیب شاه نظری^۱، محمد حسن بازیار^۲، حسن نگهدار^۳

۱- استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران

۲- استاد دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران

۳- دانشجوی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران

Email: hassan_negahdar@yahoo.com

خلاصه

سازه های با فرکانس های مختلف در اثر اعمال زلزله های نزدیک گسل-که دارای محتوای فرکانسی بالایی هستند- رفتار متفاوتی از خود نشان میدهند. در این مقاله رفتار سدهای خاکی همگن رسی (CL) و ماسه ای (SC) با ارتفاع های ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ متر، تحت اثر اعمال مجموعه ای از شتابنگاشت های زلزله های نزدیک گسل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بر حسب ارتفاع، جنس سدها و حداکثر شتاب ثبت شده در تاج سدها در اثر اعمال زلزله های نزدیک گسل بررسی شده است.

کلمات کلیدی: سدهای خاکی همگن، زلزله های نزدیک گسل، بزرگنمایی شتاب.

مقدمه

کنترل پایداری سدها تحت اثر شرایط بارگذاری های مختلف اهمیت زیادی دارد. یکی از بحرانی ترین شرایط بارگذاری سد، بارگذاری زلزله می باشد. این نوع بارگذاری بخاطر عدم اطمینان دقیق از بزرگا و زمان وقوع آن مشکلات جدی را برای سدها می تواند بوجود آورد. رفتار و عکس العمل یک سد خاکی در مدت زمان اعمال زلزله دقیقا مشخص نیست. یکی از عوامل موثر بر روی رفتار سدهای خاکی خصوصیات غیر الاستیک و غیر خطی مصالح خاکی است. در مدت زمان اعمال زلزله های ضعیف رفتار مصالح خاکی سد به صورت الاستیک است ولی اگر زلزله های قویتر اعمال شود، رفتار مصالح خاک به حالت پلاستیک خواهد شد. علاوه بر خصوصیات مصالح تشکیل دهنده سد فاکتورهای متعددی از قبیل اثر ساختگاه سد و مشخصات زلزله اعمالی می توانند بر رفتار دینامیکی سد اثر گذار باشند [۱].

در این مقاله یکی از مشخصات زلزله اعمالی که ناشی از تفاوت رکوردهای زلزله در نزدیکی و دور از مرکز زلزله است بر رفتار دینامیکی سد های خاکی همگن بررسی شده است. می شود گفت که مطالعات انجام شده بر روی بررسی رفتار سدهای خاکی در اثر زلزله های نزدیک گسل بسیار محدود است، با وجود این مطالعاتی بر روی بررسی رفتار بعضی از سازه ها همچون پلها و ساختمان ها در اثر اعمال زلزله های نزدیک گسل انجام شده است. اثرات زلزله های نزدیک گسل در زلزله های کوبه ۱۹۹۵ و نورث ریج ۱۹۹۴ به خوبی دیده شده است. علوی و کراونیکلر [۲] رفتار الاستیک و غیر الاستیک قابهای سازه ای را بر اثر زلزله های نزدیک گسل بررسی کردند. آنها نشان دادند که برای سازه های با پریود T در مقایسه با پریود پالس رکورد زلزله Tp در صورتی که ($T > T_p$) باشد، نیروهای برشی الاستیک طبقات در ارتفاع قاب به نسبت پریود طبیعی سازه به مدت زمان پالس بستگی دارد. در این مقاله به بررسی رفتار دو نوع سدهای خاکی همگن با بدنه رسی با خمیرایی کم (در سیستم طبقه بندی خاک متحد، CL می باشد) و ماسه ای (در سیستم طبقه بندی خاک متحد، SC است)، در برابر اعمال زلزله های با فاصله دور و نزدیک گسل پرداخته شده است. برای بررسی دامنه وسیعی از پریود سدهای خاکی در اثر زلزله های نزدیک و دور از گسل از سدهایی که ارتفاع تاج آنها از سطح زمین ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ متر می باشد، استفاده شده است. شیب بالا دست و پایین دست سدهای ۱:۲/۵ انتخاب شده و خصوصیات استاتیکی و دینامیکی مصالح نیز بر مبنای دستورالعمل USBR برای سدهای خاکی همگن انتخاب گردیده است [۳].

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران



برای انتخاب زلزله های اعمالی از زلزله های رخ داده در ایران و جهان که شتابنگاشت هایی در شعاع ۱۰ کیلومتری مرکز سطحی زلزله (حوزه نزدیک زلزله) و فراتر از این فاصله (حوزه دور زلزله) در دسترس باشد، برای انجام آنالیز استفاده می شود و نیز زلزله های منتخب برای انجام آنالیز دارای بزرگای بزرگتر از ۵ هستند. تعداد ۱۰ رکورد شتابنگاشت از زلزله های نزدیک و دور از گسل که جنس خاک بستر محل ثبت این شتابنگاشت ها در سیستم طبقه بندی از نوع A یا B می باشد، برای انجام آنالیز استفاده می شود.

در این مقاله، برای بررسی رفتار دو بعدی سدهای خاکی همگن از برنامه نرم افزاری تفاضل محدود FLAC 2D, ver 4.0 برای مدلسازی، آنالیز استاتیکی و دینامیکی مدلها استفاده شده است. این نرم افزار برای مدلسازی دو بعدی سازه های خاکی بکار میرود که قادر به تحلیل استاتیکی و دینامیکی این نوع سازه ها است.

مرزهای قایم دو طرف مدل ساخته شده از انتهای پای دامنه شیب های سد به حد کافی دورتر انتخاب شده است و با استفاده از میراگرهای ویسکوز می توان ویژگی مرزهای قایم جوانب مدلهای ساخته شده را به صورت میدان آزاد تعریف کرده و یک محیط نیمه بی نهایت در مدلسازی سدهای خاکی با استفاده از نرم افزار بدست آورد. میرایی مورد استفاده در آنالیزها، از نوع میرایی رایلی با حداقل نسبت میرایی ۵٪ می باشد.

مشخصات زلزله های نزدیک گسل

خصوصیات ارتعاشی نقاط زمین در هر لحظه از زلزله به شرایط مختلف بستگی دارد که می توان به طور خلاصه به موارد زیر اشاره کرد [۴]:

* بزرگای زلزله

* خصوصیات ساختمانگاه محل

* فاصله از مرکز آزاد شدن انرژی

زلزله های نزدیک گسل به زلزله هایی اطلاق می شود که فاصله شان از مرکز آزاد شدن انرژی کمتر از یک حد معینی باشد بعضی از محققین این فاصله را ۵۰ کیلومتر می دانند و برخی دیگر از جمله اکی این فاصله را ۱۵ کیلومتر در نظر می گیرند [۴]. ما در این مقاله محدوده زلزله های نزدیک گسل را شعاع ۱۰ کیلومتری از مرکز سطحی زلزله در نظر می گیریم.

ارتعاشات زمین نزدیک گسل، که اخیراً خرابی های زیادی در زلزله های مخرب بوجود آورده اند، در ابتدای شروع زلزله، با حرکات ضربه ای انرژی زیادی را به سازه ها وارد می کنند. ویژگیهای حرکات زمین در اثر زلزله های نزدیک گسل از خصوصیات و مشخصات رکوردهای حرکات زمین در زلزله های دور از گسل متفاوت است. زلزله های نزدیک گسل محتوای فرکانسی بالایی دارند و ممکن است شامل پالس هایی با پریود بلند باشند؛ این موضوع را می توان به این صورت بیان کرد که در مناطق نزدیک گسل، امواج زلزله به علت اینکه مسافت کمتری را برای رسیدن به محل طی می کنند، نسبت به مناطق دور دست گسل دارای محتوای فرکانسی بالاتری هستند، و در برخی موارد شتابنگاشت ها و رکورد های سرعت و تغییر مکان ناشی از حرکات زمین در زلزله های نزدیک گسل دارای حرکات پالس گونه ای با مدت زمان بلند هستند، اثر این حرکات پالس مانند در طراحی سازه ها در مناطق نزدیک گسل لریزه زا اهمیت زیادی دارد.

روش آنالیز

در این مقاله از روش تفاضل محدود و نرم افزار FLAC 2D جهت انجام آنالیز دینامیکی بدنه سداستفاده شده است. روش تفاضل محدود، تکنیک عددی مورد استفاده، برای حل معادلات دیفرانسیل، با مقادیر اولیه مشخص و شرایط مرزی می باشد. با استفاده از این برنامه می توان پدیده های مختلف در خاک مثل تراوش، تحکیم و عملکردهای مختلف دینامیکی سازه های ژئوتکنیکی تحت شرایط کرنش صفحه ای را مدل کرد. برنامه با استفاده از معادلات حرکت، سرعت و جابجایی را از نیروها و تنش های موجود در مدل بدست می آورد. سپس نرخ کرنش مطابق با سرعت جدید بدست آمده در گره های هر المان محاسبه می شود. برای آنالیز مساله با داشتن گرادیان تغییرات سرعت، می توان نرخ کرنش را از معادله زیر بدست آورد:

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (1)$$

که در آن e_{ij} = مولفه های نرخ کرنش و u_i = مولفه های سرعت می باشد.

در این برنامه نرم افزاری تمامی معادلات بازخوانی می شوند تا بوسیله روش تفاضل محدود معادلات حل شوند. در آنالیز دینامیکی بدلیل محدودیت طول المان در FLAC برای بدست آوردن جواب های واقعی تر، اندازه زون بندی باید مناسب انتخاب شود. طول المان بندی متناسب با سرعت موج برشی مصالح مدل و فرکانس موج ورودی زلزله بدست می آید. در برنامه نرم افزاری FLAC طول المان بندی از رابطه زیر بدست می آید:

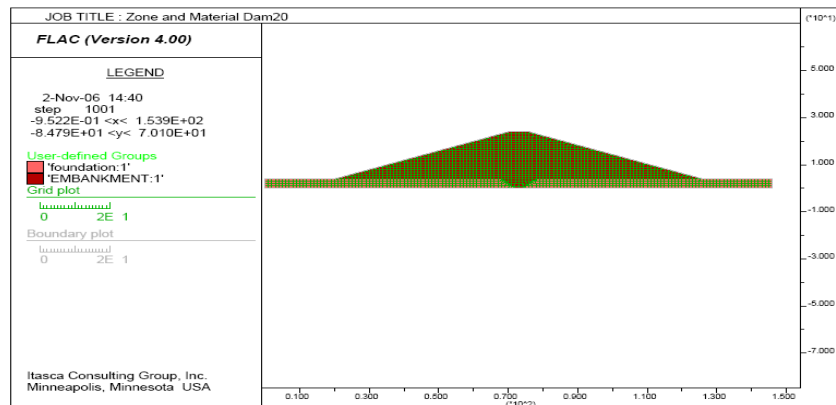
$$\Delta l \leq \frac{C_s}{10f} \quad (2)$$

که در این رابطه: Δl : طول المان ها در FLAC، f : فرکانس موج ورودی و C_s : سرعت موج برشی مصالح می باشد.



مدلسازی

در این بررسی فرض می شود که طول سدها در برابر ارتفاع آن به حدی است که می توان سدها را در حالت دو بعدی آنالیز کرد و برای انجام آنالیز سد در حالت دو بعدی لازم است یک مقطع بحرانی یا یک مقطع نمونه ای از سدهای مورد نظر انتخاب شود. در پایین و زیر سدها یک پی لایه سنگی به ضخامت ۵ متر وجود دارد. عرض تاج کلیه سدهای خاکی انتخاب شده ۶ متر فرض می شود. همچنین در زیر تاج سد در پی سنگی سد یک کلید از همان جنس بدنه سد با شیب ۱:۲ وجود دارد. ضمناً در مدلسازی سد فرض می شود که سدها در مرحله پس از ساخت و قبل از آبیگری قرار دارند و رکودهای شتاب زلزله های منتخب در این مرحله به بستر سنگی در زیر سدها در عمق ۵ متری از سطح زمین، به سدها اعمال می شود. زون بندی مدل کل بدنه سد، پی سنگی و حداکثر گستردگی طول مدلسازی که ۱۸۰ متر از محور سد به طرفین ادامه دارد، پوشش می دهد. یک مقطع نمونه از سد ۲۰ متری با المان بندی و مصالح انتخاب شده در شکل نشان داده شده است.



شکل ۱- یک مقطع نمونه از سد خاکی همگن ۲۰ متری با المان بندی و مصالح انتخاب شده

آنالیز استاتیکی

قبل از انجام آنالیز دینامیکی لازم است که آنالیز استاتیکی انجام شود. در آنالیز استاتیکی، با در نظر گرفتن ساخت لایه ای سد از شروع مرحله ساخت، تغییرات رخ داده در خصوصیات مصالح تشکیل دهنده سد با انجام خاکریزی، در نظر گرفته می شود. در آنالیز استاتیکی مدل رفتاری در نظر گرفته شده برای پی سد معیار خطی بوده و مدل رفتاری مد نظر گرفته شده برای مصالح بدنه سد، معیار موهر کلمب می باشد. با توجه به اینکه کل مصالح بدنه سد از یک نوع جنس خاک انتخاب شده است و در مرحله بعد از ساخت قرار داریم بنابراین می توان کل مصالح بدنه سد را اشباع فرض کرد. با توجه به این مطلب دیگر نیازی به انجام آنالیز دو فازی با در نظر گرفتن رفتار مجزا برای آب و خاک نمی باشد.

خصوصیات دینامیکی مصالح تشکیل دهنده

پس از انجام آنالیز استاتیکی، آنالیز دینامیکی بر روی سدهای خاکی همگن انجام می شود. در این مرحله رکورد شتابنگاشت زلزله های منتخب به بستر سنگی سد در جهت افقی اعمال می شود. در آنالیز دینامیکی همانند مرحله آنالیز استاتیکی برای مدل کردن نحوه رفتار مصالح انتخاب شده برای بدنه سد، مدل موهر کلمب در نظر گرفته شده است. فرض می شود که مصالح پی سنگی به طور خطی رفتار می کنند که به نظر می رسد این مدل رفتاری بخاطر جنس و دانسیته بالای این مواد نسبت به مصالح بدنه سد خاکی درست باشد. همانطور که گفته شد میرایی مورد استفاده برای آنالیز دینامیکی، میرایی رایلی می باشد، که نسبت استهلاک بحرانی در این تحقیق بر مبنای بررسیهای انجام شده برابر ۵ درصد در نظر گرفته شده است. خصوصیات دینامیکی مصالح مورد استفاده در سدها به صورت زیر است.

جدول ۱- پارامترهای دینامیکی مورد استفاده برای مصالح سدهمگن و پی

مصالح	مدول یانگ (Mpa)	ضریب پواسون	چسبندگی موثر (Kpa)	زاویه اصطکاک موثر (درجه)	زاویه اتساع (درجه)	دانسیته (Kg/m ³)
بدنه خاکی ماسه ای (SC)	۳۳۰	۰/۲۹	۲۰	۳۶	۰	۲۱۰۰
بدنه خاکی رسی (CL)	۱۷۱	۰/۴۲	۵۰	۲۵	۰	۱۹۰۰
پی سنگی سد	۱۳۲۲۰	۰/۲۶	۶۰	۴۵	۰	۲۷۴۴

**انتخاب زلزله ها**

از بین شتابنگاشت ها رکوردهای موجود تا ۵۰ کیلومتری مرکز سطحی زلزله را در نظر گرفته شده است. یکی از موضوعاتی که باید مورد توجه قرار گیرد این است که زلزله انتخاب شده باید حداقل یک رکورد درفاصله شعاع ۱۰ کیلومتری مرکز سطحی زلزله (حوزه نزدیک) و یک رکورد دیگر در فاصله محدود به شعاع ۲۰ و ۵۰ کیلومتری مرکز سطحی مربوط به همان زلزله (حوزه دور) وجود داشته باشد.

با مقایسه اثرات حوزه نزدیک و دور مربوط به یک زلزله بر روی رفتارهای مدلها، از خطاهای ناشی از تفاوت ساختاری زلزله مختلف کاسته می شود. لیست زلزله هایی که در این آنالیز مورد استفاده قرار گرفته اند و فاصله این زلزله ها از مرکز سطحی زلزله ها، در جدول ۲ آمده است.

جنس بستر محل ثبت شتابنگاشت های منتخب زلزله های مورد استفاده در آنالیز در طبقه بندی USGS و CWB، نوع A یا B می باشد. که می تواند به عنوان خاک سفت با سرعت میانگین موج برشی بزرگتر از ۸۰۰ متر بر ثانیه توصیف شوند.

دلیل انتخاب خاک نوع A و B برای بستر ثبت شتابنگاشت ها این است که اثر نوع خاک در رکوردها به حداقل ممکن برسد در انتخاب نوع زلزله علاوه بر موارد گفته شده از زلزله هایی استفاده شده است که بزرگای آنها در مهندسی قابل اهمیت باشد. بهمین خاطر محدوده بزرگای انتخاب شده برای زلزله منتخب ۵ تا ۸ می باشد.

برای بررسی اثرات زلزله های دور و نزدیک گسل زلزله های منتخب، یکبار شتابنگاشت زلزله حوزه نزدیک گسل و بار دیگر شتابنگاشت زلزله دور از گسل به زیر پی سدهای مدل سازی شده در عمق ۵ متری، در جهت افقی اعمال کرده و تغییرات شتاب افقی حداکثر ثابت شده در تاج سد با فاصله از مرکز سطحی زلزله مورد بررسی قرار می گیرد.

شتاب پیک تمامی رکوردهای زلزله برای اعمال به مدلها به شتاب ۴ متر بر مجذور ثانیه مقیاس شده اند با توجه به اینکه طول المانها در مدل ساخته شده توسط نرم افزار FLAC یک متر می باشد. فرکانسهای بزرگتر از ۱۰ هرتز مربوط به رکوردهای زلزله فیلتر شده اند.

مدت زمان آنالیز دینامیکی مدلهای ساخته شده سدهای خاکی برابر با طول کل زمان زلزله می باشد.

جدول ۲- لیست زلزله های مورد استفاده در مقایسه حوزه نزدیک و دور گسل

ایستگاه	شتاب (g)	سرعت (cm/s)	تغییر مکان (cm)	شرایط بستر	فاصله (km)
1985, Nahanni Canada, M(6.9)					
Site 2	۰/۴۸۹	۲۹/۳	۷/۶۱	USGS(A)	۸
Site 3	۰/۱۴۸	۶/۱	۳/۱۳	USGS(A)	۱۹
1994, Northridge, USA, M(6.7)					
Nordhoff 24087	۰/۳۴۴	۴۰/۶	۱۴/۸	USGS(B)	۹
LA_Century city	۰/۲۵۶	۲/۱	۱۰	USGS(B)	۲۳
1999, Kocali, Turkey, M(7.4)					
Izmit	۰/۲۲	۲۹/۱۴	۲۰/۴۳	USGS(A)	۵/۳۱
Goynuk	۰/۱۳۲	۱۰/۵۰	۳/۹۴	USGS(B)	۴۸
1986, N.Palm Spring, USA, M(6.0)					
Whitewater	۰/۶۱۲	۳۱/۵۰	۴/۶۰	USGS(A)	۴/۲۴
San Jancito	۰/۲۵	۹/۲۰	۱/۲۰	USGS(B)	۳۵
1989, Loma Prieta, USA, M(7.1)					
Corralitors	۰/۶۴	۵۵/۲	۱۰/۸۸	USGS(B)	۷
Saratoga-Aloha	۰/۴۹	۴۱/۱	۱۶/۳	USGS(B)	۲۷

بررسی نتایج

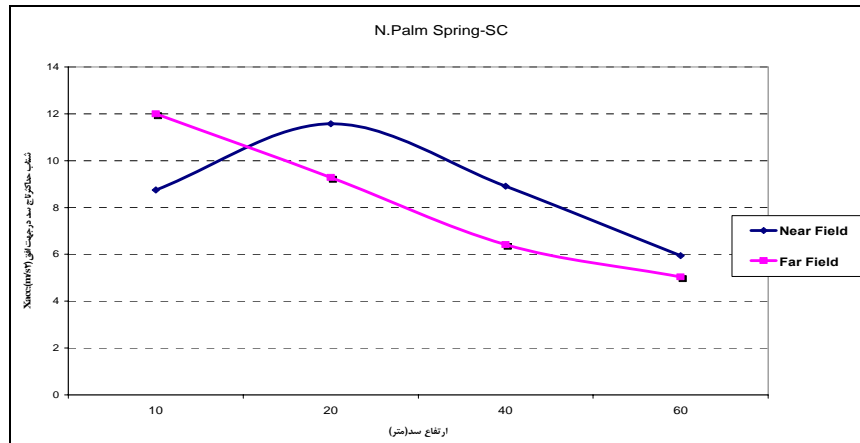
برای مقایسه و بررسی رفتار سدهای خاکی همگن رسی و ماسه ای، پس از اعمال شتابنگاشت زلزله های منتخب به مدلها در جهت افقی و انجام آنالیز دینامیکی، قدر مطلق عددی حداکثر شتاب افقی در تاج سدها ثبت می شود.

در اشکال ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ پاسخ سدها براساس جنس و ارتفاع در اثر اعمال شتابنگاشت های زلزله Northridge و N.Palm Spring در حوزه نزدیک و دور رسم شده است. در این اشکال محور افقی نشانگر ارتفاع مختلف سدهای خاکی همگن است و محور قائم، شتاب پیک افقی ثبت شده در بالاترین نقطه ارتفاع سدهای مختلف را بر حسب متر بر مجذور ثانیه نشان می دهد.

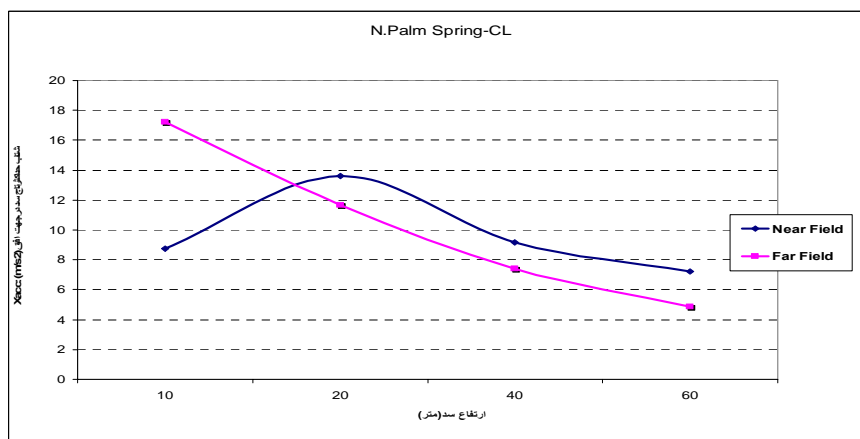
شکل ۲ پاسخ زلزله در حوزه دور و نزدیک را برای پیوندهای مختلف سد همگن ماسه ای که در اثر اعمال جفت شتابنگاشت حوزه نزدیک و دور زلزله N.Palm Spring (که هر دو به شتاب حداکثر ۴ متر بر مجذور ثانیه مقیاس شده اند) را نشان می دهد. با دقت در شکل نتیجه گرفته می شود که در سد خاکی همگن ماسه ای ۶۰ متری با پیوند ۰/۸ ثانیه، قدر مطلق شتاب حداکثر افقی ثبت شده در تاج سد در اثر اعمال زلزله حوزه دور مقدار کمتری



را نسبت به حوزه نزدیک دیده می شود. در سدهای ۲۰ و ۴۰ متری نیز همانند سد ۶۰ متری در اثر زلزله حوزه دور شتاب کمتری در تاج سد مشاهده می شود. ولی در سد ۱۰ متری همگن ماسه ای قدر مطلق شتاب افقی در تاج سد در اثر اعمال همان شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک، در مقایسه با سد ۶۰ متری نسبت معکوسی دارد. به عبارتی دیگر در سد خاکی همگن ماسه ای ۱۰ متری، قدر مطلق شتاب حداکثر افقی ثبت شده در تاج سد در اثر اعمال زلزله حوزه دور مقدار کمتری را نسبت به حوزه نزدیک نشان می دهد. همچنین نتایج حاصل از اعمال جفت شتابنگاشت منتخب زلزله N.Palm Spring بر روی سدهای خاکی همگن رسی در شکل ۳ براساس ارتفاع سدهای خاکی رسم شده است.



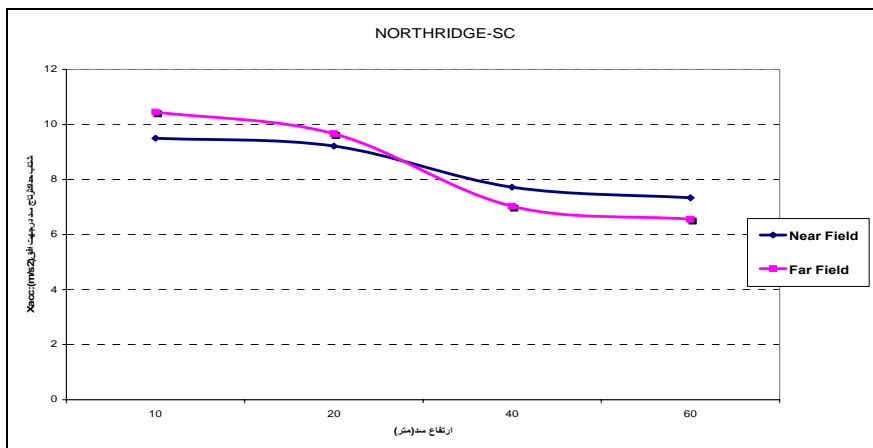
شکل ۲- مقایسه پاسخ زلزله N.Palm Spring در حوزه نزدیک و دور برای پرپوهای مختلف سد همگن ماسه ای



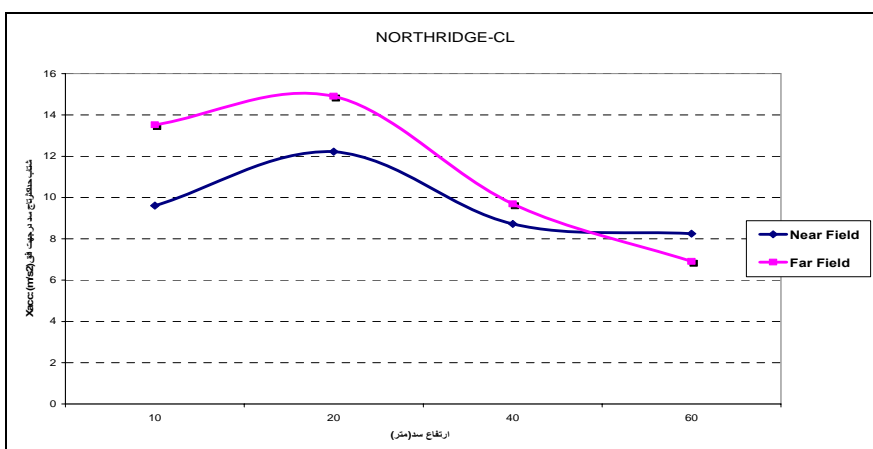
شکل ۳- مقایسه پاسخ زلزله N.Palm Spring در حوزه نزدیک و دور برای پرپوهای مختلف سد همگن رسی

از روی اشکال ۲ و ۳ اینگونه می توان نتیجه گیری کرد که در سدهای خاکی همگن کوتاه (سدهای با ارتفاع حدوداً ۱۰ متری) با پرید طبیعی کمتر در اثر اعمال زلزله N.Palm Spring در حوزه نزدیک گسل نسبت به حوزه دور گسل بزرگنمایی کمتری از خود مشاهده می شود. و بر عکس در سدهای خاکی همگن بلندتر (سد ۶۰ متری) با پرید طبیعی بزرگتر در حوزه نزدیک گسل بزرگنمایی بزرگتری را نسبت به حوزه دور گسل دیده می شود. همان مدلهای سدهای همگن رسی و ماسه ای تحت اثر شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک زلزله Northridge قرار گرفته اند و نمودارهای مربوط به قدر مطلق شتاب افقی حداکثر در تاج سد نسبت به ارتفاع سدها در شکلهای ۴ و ۵ ترسیم گردیده است. نتایج نشان می دهد که رفتار سدهای خاکی همگن براساس قدرمطلق شتاب حداکثر ثبت شده در تاج سد در اثر اعمال شتابنگاشت های حوزه نزدیک و دور از گسل در زلزله Northridge در مقایسه با رفتار سدها در اثر اعمال زلزله های N.Palm Spring به صورت زیر می باشد.

- در هر دو نوع سد خاکی همگن ماسه ای و رسی ۱۰ و ۶۰ متری رفتار مشابهی دیده می شود.
- در سدهای ماسه ای رفتار سد ۲۰ متری متفاوت است ولی رفتار سد ۴۰ متری شباهت دارد.
- در سدهای رسی هر دو سد با ارتفاع ۲۰ و ۴۰ متر رفتار متفاوتی از خود نشان می دهند.



شکل ۴- مقایسه پاسخ زلزله Northridge در حوزه نزدیک و دور برای پربودهای مختلف سد همگن ماسه ای



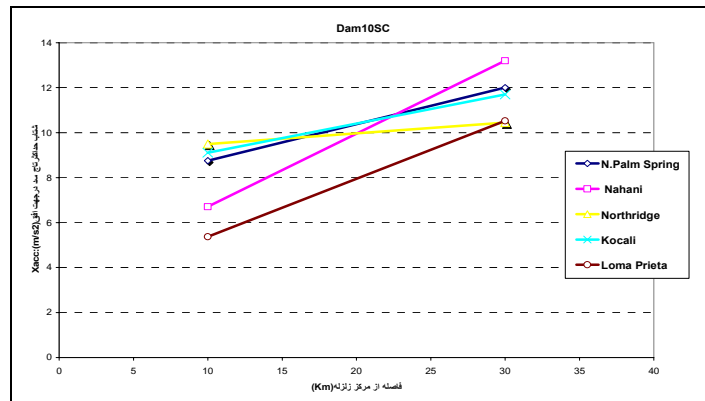
شکل ۵- مقایسه پاسخ زلزله Northridge در حوزه نزدیک و دور برای پربودهای مختلف سد همگن رسی

مقایسه نتایج اعمال شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک زلزله های مختلف بر سدهای خاکی همگن

با توجه با تحلیل های صورت گرفته می توان برای جفت شتابنگاشت های مربوط به حوزه نزدیک و دور زلزله های مختلف برای پربودهای مختلف، ماکزیمم پاسخ دو شتابنگاشت را محاسبه کرده و بر روی یک نمودار نشان داد. در این صورت به راحتی می توان به میزان اختلاف رفتار سدهای خاکی همگن با یک ارتفاع مشخص در حوزه دور و نزدیک زلزله ها پی برد. نتایج این آنالیز در اشکال ۶ تا ۹ آورده شده است. (به دلیل نتایج تقریباً مشابه برای سدهای خاکی همگن رسی و ماسه ای در اثر اعمال شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک زلزله های منتخب، نتایج سدهای خاکی رسی ارائه نشده است و فقط به نتایج سدهای همگن ماسه ای اشاره شده است). توجه شود که در این اشکال، محور افقی که نشانگر فاصله از گسل زلزله های منتخب بر حسب کیلومتر می باشد. برای مقایسه بهتر در این محور عدد ۳۰ نماینده فاصله زلزله های دور از گسل و عدد ۱۰ بیانگر فاصله زلزله های نزدیک گسل می باشد که مقادیر واقعی این فواصل در جدول زلزله های منتخب آورده شده است و همچنین محور عمودی اشکال زیر، شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه می باشد.

۱) سد ۱۰ متری ماسه ای

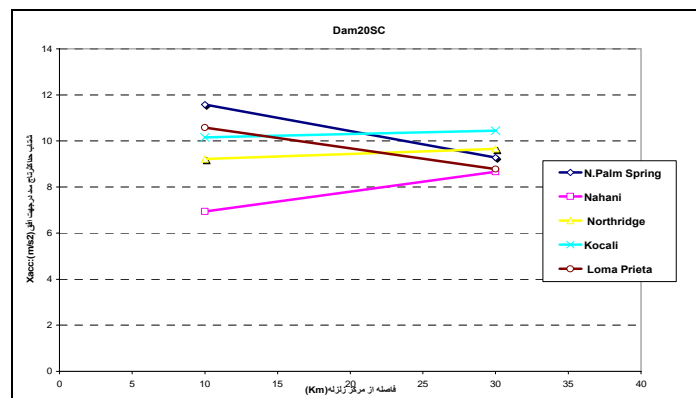
شکل ۶- شتاب حداکثر افقی در تاج سد ۱۰ متری همگن ماسه ای را در اثر اعمال حوزه دور و نزدیک زلزله های انتخاب شده با شتاب حداکثر ۴ متر بر مجذور ثانیه نشان می دهد. چنانچه از شکل مشاهده می شود، در اثر اعمال زلزله ها به سد ۱۰ متری همگن ماسه ای، با دور شدن از مرکز سطحی زلزله، شتاب حداکثر افقی تاج سد از شتاب حداکثر تاج در نزدیکی مرکز زلزله بیشتر می شود به عبارت دیگر می توان گفت که سد ۱۰ متری ماسه ای در تمامی این زلزله ها در فاصله دورتر از گسل زلزله بحرانی تر از حوزه نزدیک گسل لرزه ای مربوط به یک زلزله است .



شکل ۶- مقایسه پاسخ زلزله های مختلف در حوزه دور و نزدیک برای سد ۱۰ متری همگن ماسه ای

۲) سد ۲۰ متری ماسه ای

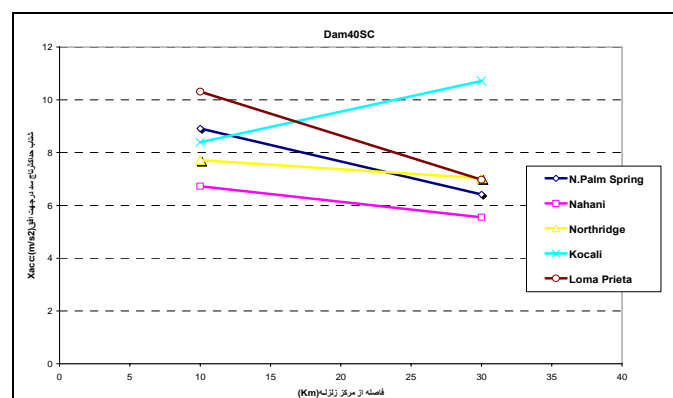
مقایسه ای از قدر مطلق شتاب حداکثر افقی در تاج سد ۲۰ متری همگن ماسه ای را در زلزله های حوزه نزدیک و دور از گسل در شکل ۷- نشان داده شده است. قدر مطلق شتاب حداکثر افقی در تاج سد همگن ماسه ای ۲۰ متری در اثر زلزله های ارائه شده در جدول (۲) بجز زلزله Loma Prieta و N.Palm Spring با دور شدن از مرکز زلزله کاهش نشان می دهد.



شکل ۷- مقایسه پاسخ زلزله های مختلف در حوزه دور و نزدیک برای سد ۲۰ متری همگن ماسه ای

۳) سد ۴۰ متری ماسه ای

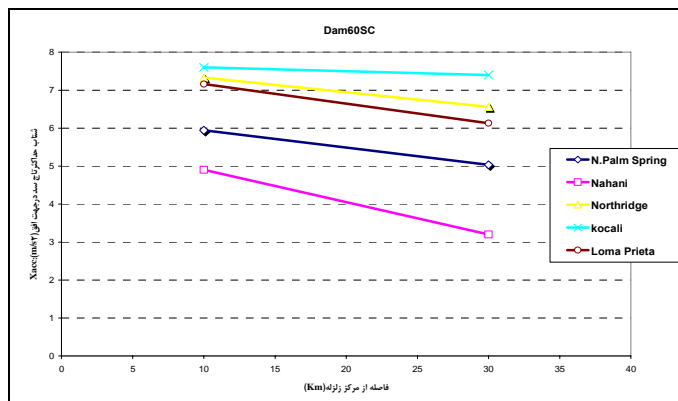
در شکل ۸- نتایج تحلیل سد ۴۰ متری ماسه ای بر اساس قدر مطلق شتاب حداکثر افقی ثبت شده در تاج سد در اثر اعمال شتاببناگشت های حوزه دور و نزدیک زلزله های منتخب نشان داده شده است. در اثر اعمال زلزله های جدول ۲- به سد ۴۰ متری همگن ماسه ای، مشاهده می شود که بالاتر رفتن ارتفاع سد و با دور شدن از مرکز زلزله، شتاب حداکثر ثبت شده در تاج سد در تمامی زلزله ها بجز زلزله Kocaeli کاهش نشان می دهد.



شکل ۸- مقایسه پاسخ زلزله های مختلف در حوزه دور و نزدیک برای سد ۴۰ متری همگن ماسه ای

۴) سد ۶۰ متری ماسه ای

در شکل-۹ نتایج تحلیل سد ۶۰ متری ماسه ای براساس قدر مطلق شتاب حداکثر افقی ثبت شده در تاج سد در نتیجه اعمال شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک زلزله های منتخب، برحسب فاصله از مرکز سطحی زلزله ها نشان می دهد. همانطور که در شکل ها مشاهده می شود. در تمامی سد ۶۰ متری ماسه ای، با افزایش فاصله این سد از مرکز سطحی زلزله کاهش شتاب حداکثر در تاج سد دیده می شود.



شکل-۹- مقایسه پاسخ زلزله های مختلف در حوزه دور و نزدیک برای سد ۶۰ متری همگن ماسه ای

نتیجه گیری

۱- سدهای همگن بلند با پرپود طبیعی بزرگتر (سدهای با ارتفاع ۶۰ متر) در اثر اعمال شتابنگاشت های زلزله های نزدیک گسل نسبت به اعمال شتابنگاشت های زلزله های دور از گسل شتاب تاج بیشتری نشان می دهند. به عبارت دیگر وقتی فاصله سدهای بلند با پرپود طبیعی بزرگتر از مرکز سطحی زلزله کاهش می یابد، قدر مطلق شتاب حداکثر ثبت شده در تاج این سدها کاهش می یابد.

این مساله هم در سدهای همگن رسی و هم در سدهای همگن ماسه ای مشاهده می گردد، که این می تواند ناشی از پرپود بلند سدها و همچنین پرپود بلند شتاب زلزله در نزدیک گسل باشد، که با نزدیک شدن به مرکز زلزله پرپود شتاب افزایش پیدا می کند، پس اثرات این نوع زلزله ها (زلزله های حوزه نزدیک) بر روی سدهای همگن با پرپود بلند بیشتر می شود.

برعکس اثر زلزله های دور از گسل نسبت به اثر زلزله های نزدیک گسل بر روی سدهای خاکی همگن کوتاه (سدهای با ارتفاع ۱۰ متر) قابل توجه تر است. ۲- سد های خاکی همگن با پرپود بلندتر در حوزه نزدیک گسل و سدهای خاکی همگن کوتاه در حوزه دور از گسل به مشکل بر می خورند. بنابراین بهتر است سد های خاکی همگن با پرپود بالا که در نزدیک گسل ساخته می شوند و سد های خاکی همگن با پرپود کوتاه که در فواصل دور از گسل قرار می گیرند، ملاحظات ویژه ای لحاظ گردد. و در انتخاب شتابنگاشتهای مورد نظر برای طراحی سدهای خاکی همگن، به محل رکورد و فاصله از گسل شتابنگاشت مورد استفاده و پرپود طبیعی سد خاکی نیز توجه شود.

مراجع

- 1- S.M. Hosseini, H. Nasrollahi (2005) "Pore Pressure Development in Earth Dams During Earthquakes; Case Study: Karkheh Dam, Iran", *EJGE*.
- 2- S.Akbar, U.Yazgan (2004) "Deformation Limits For Simple Non-Degrading Systems Subjected To Near-Fault Ground Motions", *13th World Conf.on Earthquake Engineering*, Paper No.2276.USB, (1980) "Earth Manual", 2nd. Ed., United States Bureau of Reclamation, Dept. of Interior, Washington D. C., P.P.73-76.
- ۳- مهدی جمارانیان، (۱۳۷۴) "بررسی اثر شرایط ساختمانی بر پیشینه شتاب سطح زمین در حوزه نزدیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش خاک و پی دانشگاه تهران.
- ۴- طاهره حیدری، (۱۳۸۲) "مقایسه رفتار دینامیکی سدهای خاکی در حالت دو بعدی و سه بعدی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 5- Griffiths, D. V. and Prevost, J. H. (1988) "Two and Three-Dimensional Dynamic Finite Element Analysis of the Long Valley Dam", *Geotechnique, ASCE* 38(3), 367-388.
- ۶- حسن نگهدار، (۱۳۸۵) "بررسی اثر زلزله های حوزه دور و نزدیک گسل بر روی سدهای خاکی همگن رسی و ماسه ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.