



## بررسی عملکرد لرزه‌ای و نقاط ضعف سدهای بتنی وزنی به روش اجزای محدود

حامد سلطانی<sup>۱\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد و مدرس دانشگاه میعاد

### چکیده

هدف اصلی این پایان نامه بررسی رفتار لرزه‌ای سدهای بتنی وزنی است که مدل‌هایی جهت برآورد پارامترهای لرزه‌ای آن به صورت استاتیکی و دینامیکی با و بدون اثرات اندرکنش سد - مخزن - پی تحلیل گردید. در این تحقیق ابتدا یکی از آزمایش‌هایی که در مراکز علمی معتبر دنیا صورت پذیرفته است از طریق کتاب‌ها و یا مجلات و یا مقالات معتبر علمی گردآوری شده است و صحت نتایج حاصل از آن‌ها به روش تئوری و اجزای محدود توسط نرم‌افزار ANSYS بررسی می‌شود و پس از حصول اطمینان از طریق اعمال تغییر منطقی پارامترهای مختلف، تلاش برای به دست آوردن پارامترهای خروجی صورت خواهد گرفت، و سپس به آنالیز نتایج حاصله توسط نرم-افزارهای MATLAB و EXCELL پرداخته خواهد شد و تلاشی برای پی بردن به رابطه منطقی این پارامترها صورت داده خواهد شد. تا از این طریق به شفاف‌سازی مسائل طراحی اقدام شود.

**واژه‌های کلیدی:** رفتار لرزه‌ای، سدهای بتنی وزنی، روش اجزای محدود

### ۱- مقدمه

محققین مختلف از دیدگاه لرزه زمین‌ساختی سرزمین ایران را به پهنه‌های گوناگون تقسیم نمود هاند. شاید ساده‌ترین این تقسیم‌بندی‌ها، تقسیم ایران به چهار ناحیه لرزه زمین‌ساختی است که توسط بربریان در سال ۱۹۷۶ ارائه شده است. بر اساس این تقسیم‌بندی ایران به چهار ایالت لرزه زمین‌ساختی زاگرس، ایران مرکزی، البرز و کپه داغ تقسیم شده که هر یک دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشند. در پهنه زاگرس با زمین‌لرزه‌های فراوان کم عمق با بزرگی متوسط و بعضاً زیاد با دوره‌ی بازگشت کوتاه روبرو هستیم حل سازو کار کانونی زلزله‌های زاگرس، مؤید گسل‌های معکوس با رانده با شیب زیاد (۴۰ تا ۵۰ درجه) می‌باشد که امتداد آنها از امتداد کلی زاگرس پیروی می‌کند.

در ایران مرکزی فراوانی زلزله‌ها به اندازه زاگرس نبوده و معمولاً دارای عمق کمتر و بزرگی بیشتر هستند. اکثر زمین‌لرزه‌های ویرانگر در این ناحیه با گسلش سطحی همراه هستند. در ناحیه البرز زمین‌لرزه‌ها اغلب بزرگ و از نوع کم عمق بوده که در مقایسه با زاگرس از دوره‌ی آرامش طولانی‌تری برخوردارند. اکثر زلزله‌های شمال ایران ظاهراً در ارتباط با گسل‌های سطحی شناخته شده نمی‌باشند. در ناحیه کپه داغ به نظر می‌رسد پوسته این منطقه در حال کوتاه شدگی است و این کوتاه شدگی با گسلش رانده‌گی و امتداد لغز چپگرد در بخش غربی و امتداد لغز راستگرد در بخش شرقی همراه است زلزله‌های این ناحیه کم عمق می‌باشند.



لازم به ذکر است که در طراحی سازها جهت مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا حداقل دو شرط اصلی زیر می‌بایست رعایت گردد:

اول آنکه در مقابل زلزله‌های ضعیف و متوسط سازه می‌بایست با داشتن سختی مناسب مقدار تغییر مکان‌های ایجاد شده را به منظور جلوگیری از هرگونه خسارت سازه‌ای و یا غیرسازه‌ای کنترل کند.  
دوم آنکه در مقابل زلزله‌های شدید سازه می‌بایست دارای مقاومت و شکل‌پذیری کافی باشد تا بتواند علاوه بر جلوگیری از فروریختگی مقدار خسارت سازه‌ای به حداقل برسد.  
با توجه به زلزله‌های گذشته به نظر می‌رسد که تعداد زیادی از سازه‌های بتنی در اثر زلزله‌های شدید احتمال خرابی خواهند داشت، مطالعات و بررسی‌های آسیب‌پذیری نیز این ادعا را تایید می‌کنند.

#### تقسیم‌بندی بر اساس ارتفاع

طبق تعریف کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ، سدهایی که در زمان ساخت (طراحی) ارتفاع آنها از پایین‌ترین رقم سطح پی تا سطح پیاده‌رو یا سواره‌رو تاج ۱۵ متر یا بیشتر باشد جزو سدهای بزرگ طبقه‌بندی می‌شوند، بعلاوه در صورتی که ارتفاع سد بین ۱۰ الی ۱۵ متر یا بیشتر باشد مشروط بر اینکه حداقل یکی از شرایط ذیل را دارا باشد جزو سدهای بزرگ محسوب می‌شود (حسن معمارین، ۱۳۸۱)

- (۱) تاجی به طول ۵۰۰ متر داشته باشد.
- (۲) ظرفیت مخزن سد حداقل یک میلیون متر مکعب باشد.
- (۳) ظرفیت تخلیه سیلاب حداقل ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه باشد.
- (۴) پی سد با مسائل پیچیده و خاصی مواجه شده باشد.
- (۵) شکل سد دارای طرحی خاص و غیر عادی باشد.

## ۲- مدل‌سازی سیستم سد - مخزن - پی در نرم‌افزار

مشخصات مصالح بتن، آب و پی سنگی بکار رفته در تحلیل، به ترتیب در جدول (۱-۲) و (۲-۲) و (۲-۳) دیده می‌شود.



جدول ۱-۲: مشخصات مصالح توده بتن

مشخصه	مقدار	واحد
مدول الاستیسیته، <b>E</b>	<b>27.85</b>	GPa
نسبت پواسن، <b>v</b>	<b>0.2</b>	----
چگالی، <b>p</b>	<b>2400</b>	Kg/m <sup>3</sup>

جدول ۲-۲: مشخصات مصالح توده سنگ

مشخصه	مقدار	واحد
مدول الاستیسیته، <b>E</b>	<b>278.5</b>	GPa
نسبت پواسن، <b>v</b>	<b>0.333</b>	----
چگالی، <b>p</b>	<b>2400</b>	Kg/m <sup>3</sup>

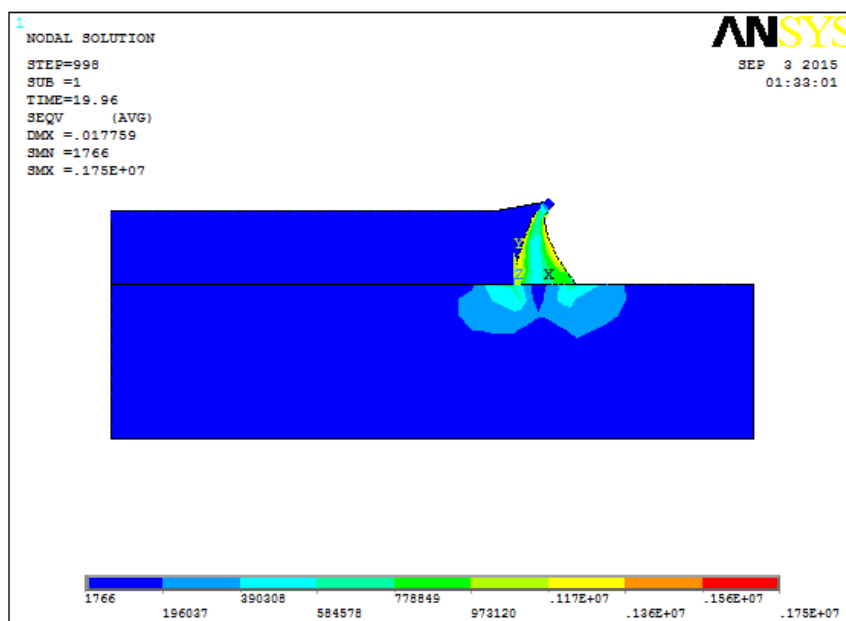
جدول ۳-۲: مشخصات سیال (آب)

مشخصه	مقدار	واحد
سرعت امواج آکوستیک	۱۴۴۰	---
چگالی، <b>p</b>	۱۰۰۰	Kg/m <sup>3</sup>

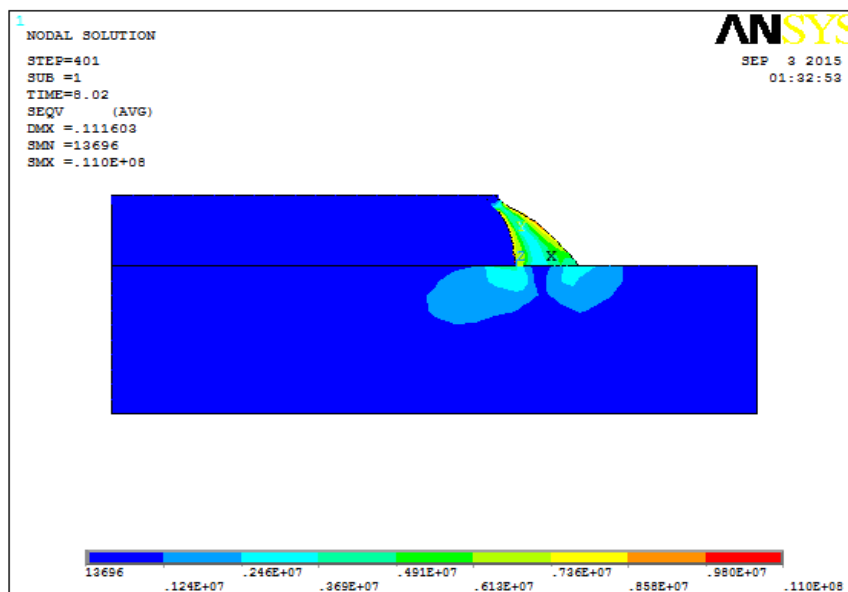


۳- بررسی نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تحت اثر رکورد زلزله نورث ریچ

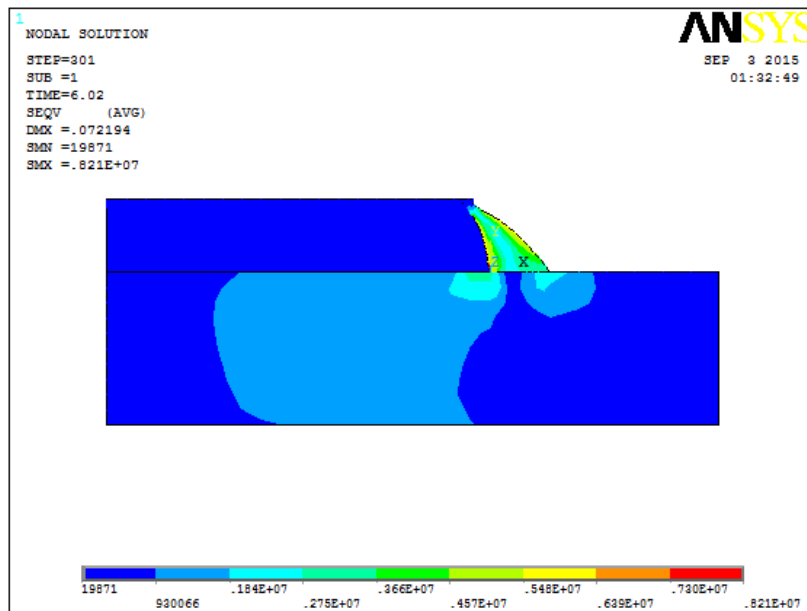
در اشکال (۳-۱) تا (۳-۲) نقاط شروع تسلیم را براساس معیار ون میسر در زمانهای متفاوت سد پایین فلت را مشاهده می‌کنیم.



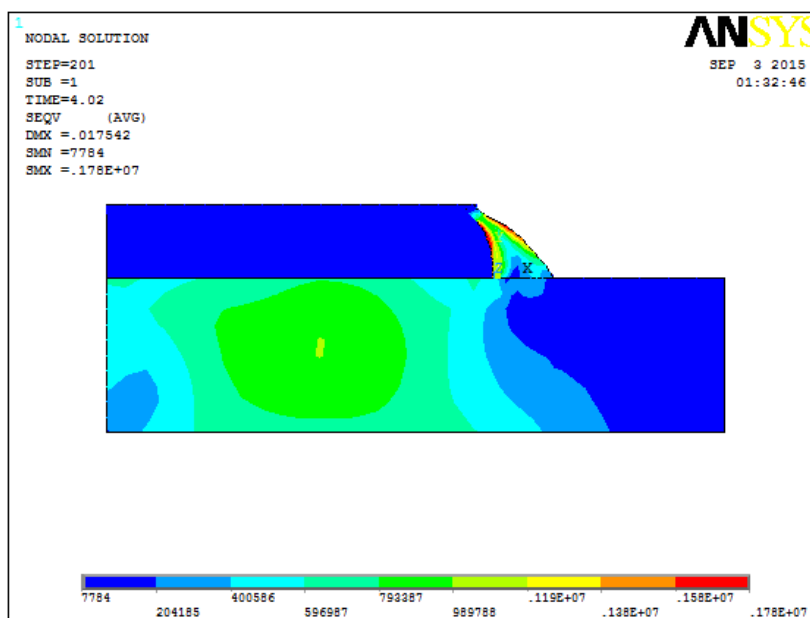
شکل ۳-۱: نقاط شروع تسلیم در گام ۹۹۸



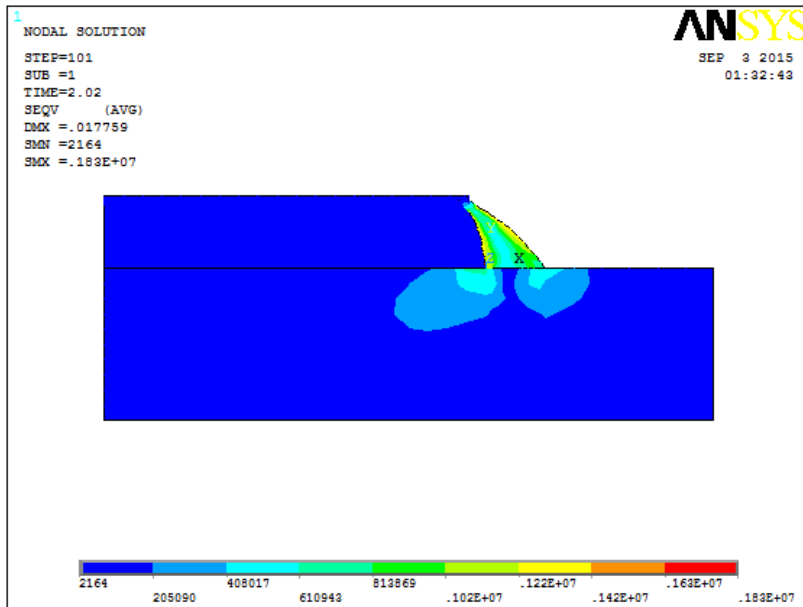
شکل ۳-۲: نقاط شروع تسلیم در گام ۴۰۱



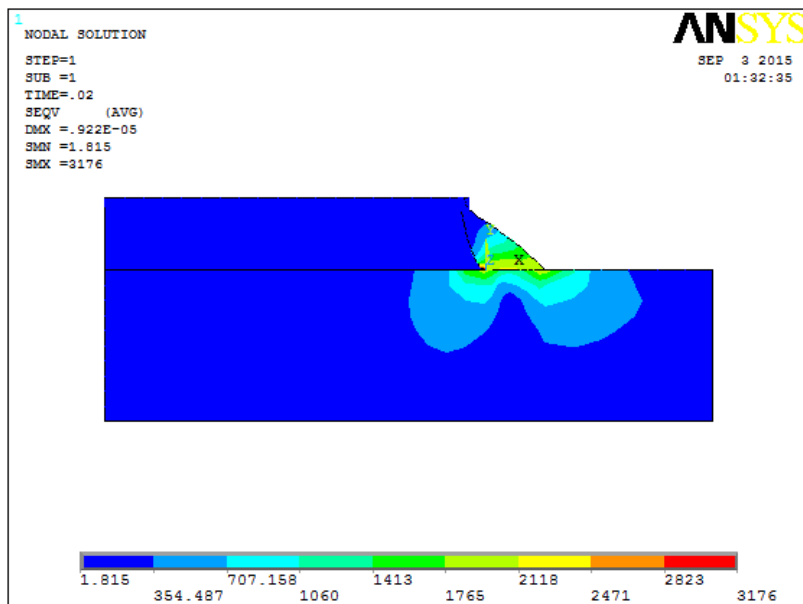
شکل ۳-۳: نقاط شروع تسلیم در گام ۳۰۱



شکل ۳-۴: نقاط شروع تسلیم در گام ۲۰۱

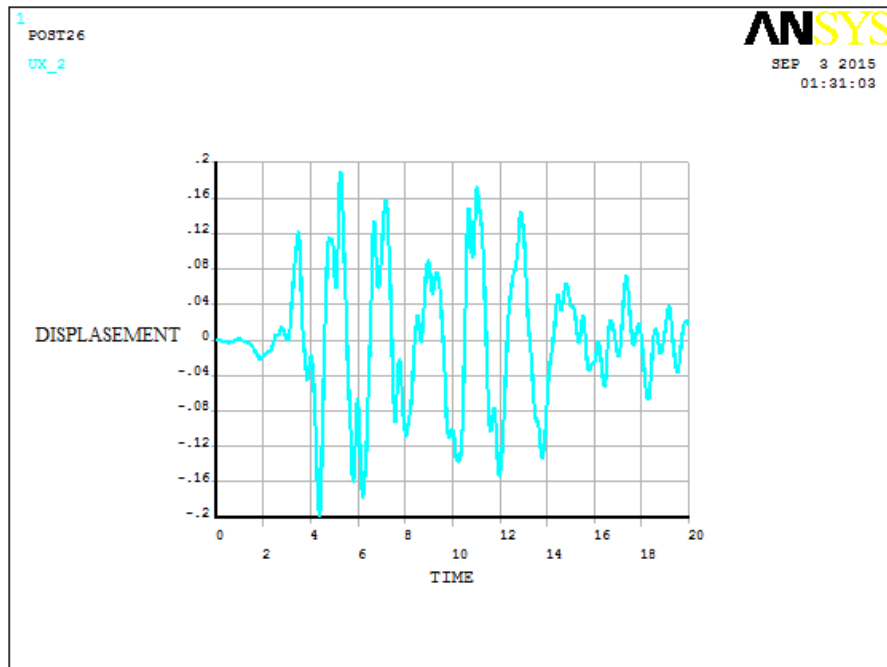


شکل ۳-۵: نقاط شروع تسلیم در گام ۱۰۱



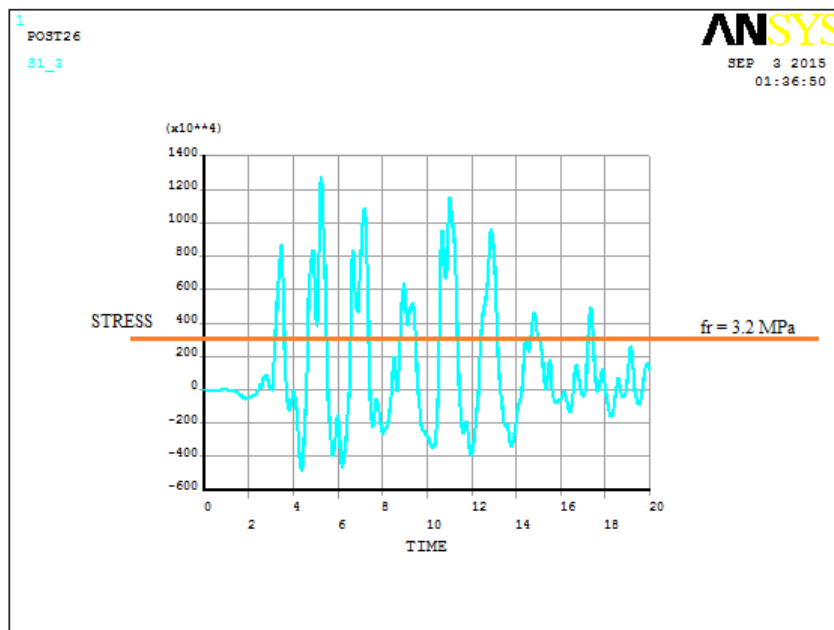
شکل ۳-۶: نقاط شروع تسلیم در گام ۱

همانگونه که در شکل‌ها می‌بینیم ماکزیمم تنش بوجود آمده در پاشنه سد و کناره‌های پی سنگی رخ داده است. در شکل (۳-۷) پاسخ جابجایی - زمان سد پایین فلت تحت اثر بارگذاری دینامیکی تاریخچه زمانی در حالت در نظرگیری اندرکنش سد - مخزن - پی را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳-۷: پاسخ لرزه‌ای سد پایین فلت در اثر رکورد زلزله نورث ریج

همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین جابجایی بام سد ۲۰ سانتی متر و در زمان ۴٫۲ ثانیه بعد از وقوع زلزله اتفاق افتاده است.



شکل ۳-۸: پاسخ لرزه‌ای سد پایین فلت در اثر رکورد زلزله نورث ریج



1<sup>th</sup>.Miaad University National Conference on  
Civil Engineering , Architecture

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran



همانگونه که از کانتور تنش اصلی قابل ملاحظه است بیشترین تنش اصلی ماکزیمم (بیشترین کشش) در نقطه پاشنه سد رخ می‌دهد. همانطور که در شکل فوق قابل ملاحظه است در محدوده پایین خط افقی رسم شده در سد مفروض نقطه ترک خورده نداریم اما همانطور که مشاهده می‌شود در بیشتر زمان زلزله شاهد ترک خوردگی در پاشنه سد خواهد بود

همانگونه که از کانتور تنش اصلی قابل ملاحظه است بیشترین تنش اصلی ماکزیمم (بیشترین کشش) در نقطه پاشنه سد رخ می‌دهد. همانطور که در شکل فوق قابل ملاحظه است در محدوده پایین خط افقی رسم شده در سد مفروض نقطه ترک خورده نداریم همانطور که مشاهده می‌شود در هیچ نقطه‌ای در طی زمان زلزله شاهد ترک خوردگی در پاشنه سد نخواهیم بود.

جدول (۱-۳): مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی سد وزنی پایین فلت با و بدون در نظرگیری اثرات اندرکنش سد-مخزن-پی

بیشترین تنش کششی (پاشنه سد)	جابجایی تاج سد	
۳.۸ MPa	۱۹.۵ Cm	با در نظرگیری اندرکنش سد - مخزن - پی
۱.۲۷ MPa	۹.۵ Cm	بدون در نظرگیری اندرکنش سد - مخزن - پی





جدول (۲-۳): مقایسه نتایج تحلیل دینامیکی سد وزنی پایین فلت با و بدون در نظرگیری اثرات اندرکنش سد-مخزن-پی

بیشترین تنش کششی (پاشنه سد)	جابجایی تاج سد	
۱۲.۴ MPa	۲۰ Cm	با در نظرگیری اندرکنش سد-مخزن-پی تحت اثر رکورد زلزله نورث ریچ
۲.۵ MPa	۴.۵ Cm	بدون در نظرگیری اندرکنش سد-مخزن-پی تحت اثر رکورد زلزله نورث ریچ

#### ۴-نتایج:

- ✓ جهت برآورد عملکرد لرزه‌ای بهتر سدهای بتنی وزنی می‌بایست سیستم سد-مخزن-پی به صورت کامل مدل شده زیرا در حالت ساده شده از اثرات اندرکنش بین سد-مخزن-پی صرف نظر شده که از دقت نتایج می‌کاهد.
- ✓ در تمامی مدل‌های بررسی شده در این پژوهش هم در حالت در نظرگیری اثرات اندرکنش و هم در حالت در نظر نگرفتن اثرات اندرکنش مشاهده می‌کنیم که پاشنه سد از لحاظ تنش کششی ضعیف بوده باید با مورد توجه بیشتری قرار گیرد.
- ✓ با توجه به مقدار مدول ترک خوردگی بتن مورد استفاده در این مدل‌ها، یعنی ۳,۲ مگاپاسکال مشاهده می‌شود که در حالت استاتیکی و بدون در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سیال-سازه مقدار بیشترین تنش کششی به وجود آمده در پاشنه سد ۱,۲۷ مگاپاسکال بوده که از مدول ترک خوردگی کمتر است، اما در حالت استاتیکی با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سیال-سازه مقدار بیشترین تنش کششی به وجود آمده در پاشنه سد مقدار ۳,۸ مگاپاسکال بوده که از مقدار مدول ترک خوردگی بتن بیشتر است و سازه ترک می‌خورد.
- ✓ با توجه نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تحت اثر زلزله نورث ریچ مشاهده می‌شود که سازه در لحظه ۳,۵۳ ثانیه ترک خورده و جابجایی تاج سد ۲۰ سانتی متر می‌باشد، در نتیجه می‌توان چنین برداشت نمود که سازه در مقابل این زلزله عملکرد مناسبی نداشته و نیاز به تقویت دارد.
- ✓ با توجه نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تحت اثر زلزله طبرس مشاهده می‌شود که سازه در اثر این رکورد ترک نخورده و جابجایی تاج سد ۴,۵ سانتی متر می‌باشد، در نتیجه می‌توان چنین برداشت نمود که سازه در مقابل این زلزله عملکرد مناسبی داشته است.
- ✓ با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق سختی پی سازه بسیار بر پاسخ لرزه‌ای سیستم تاثیر گذار بوده است.



1<sup>th</sup>.Miaad University National Conference on  
Civil Engineering , Architecture

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran



مراجع

- ۱) Copra A.K.Chokrabarti p. "The earthquake experience at Koyna Dam and stresses in concrete gravity dam"Earthquake engineering and structural engineering 1972
- ۲) Pal N. "Nonlinear earthquake response of concrete gravity dams".Report NO. EERC 74-14, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1974.
- ۳) Bhattacharjee, S.S. and Leger, P. "Seismic cracking and energy dissipation in concrete gravity dams", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 22, 991-1۰۰۷, ۱۹۹۳.
- ۴) Fenves, G., Chopra, A.K. "Earthquake Analysis of Concrete Gravity Dams Including Reservoir Bottom Absorption and Dam- Water-Foundation Rock Interaction", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 12, No.5, pp. 663-680, 1984.
- ۵) Ghrib F, Tinawi R. "An application of damage mechanics for seismic analysis of concrete gravity dams", Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol.24, p.p 157-1۷۳, ۱۹۹۳.
- ۶) Mirzabozorg H, Ghaemian M, Kianoush M.R. "Damage mechanics approach in seismic analysis of concrete gravity dams including dam-reservoir interaction" ,European Earthquake Engineering, Vol.3,pp17-24,2004.
- ۷) Ghrib F, Tinawi R. "Nonlinear behavior of concrete dams using damage mechanics" , Journal of Engineering. ۲۰۰۹
- ۸) Mirzabozorg H, Ghaemian M. "Nonlinear behavior of mass concrete in three dimensional problems using a smeared crack approach",Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol34,pp247-269 ,2005.
- ۹) Ghaemian, M., Ghobarah, A. "Staggered Solution Schemes for Dam-Reservoir Interaction", Journal of Fluid and Structures, Vol. 12, pp. 933-948, 2008