



## اثر مصالح مختلف فونداسیون بر انتشار ترک در سدهای بتنی وزنی

محسن قائمیان<sup>۱</sup>، ابوالفضل شمسایی<sup>۲</sup>، بهرام ثقفیان<sup>۳</sup>، سجاد اسماعیل زاده

۱ و ۲ - استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه عمران، تهران، ایران

۳ - دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه عمران، تهران، ایران  
sajad\_59es@yahoo.com

### خلاصه

سدهای بتنی وزنی یکی از مهمترین تاسیسات زیربنایی هستند که آسیب دیدن آنها سبب خسارات فراوان میگردد. اساسی ترین موضوع در مورد این سدها داشتن عملکرد ایمن تحت بار لرزه ای است. از مدل کامپیوتری انسنگ درای برای انجام آنالیز غیر خطی که بستگی به شرایط مرزی، هندسه و مشخصات مصالح دارد استفاده شده است. در این مقاله از پی صلب و بدون جرم در مدلسازی استفاده شده و اثر ۵ نوع مصالح متفاوت فونداسیون بر انتشار ترک در سدهای وزنی بتنی بررسی میگردد. ۱۵۰ آنالیز دینامیکی غیر خطی انجام شده و برای هر آنالیز تغییر شکل، پروفایل ترک و درصد ناحیه ترک خورده محاسبه گردیده و این مقدار برای هر سد با مشخصات مصالح فونداسیون متفاوت تحت ۱۰ زلزله مختلف در یک شکل رسم شده است. مشاهده میشود که با افزایش مدول الاستیسیته درصد ناحیه ترک خورده افزایش میابد.

کلمات کلیدی: غیر خطی، فونداسیون، سد، دینامیکی، ترک.

### مقدمه

سدهای بتنی به خاطر اندازه و اندرکنش با پی و مخزن از دیگر سازه ها متمایز هستند [1]. در سالهای اخیر رشد دانش تحلیل خطر لرزه ای و بهبود روشهای طراحی سدها هشدارهایی را در مورد عملکرد سدهای وزنی بتنی تحت بارهای لرزه ای ارائه نموده است. رفتار لرزه ای سدهای بتنی موضوع تحقیقات گسترده ای در زمینه ایمنی سدها طی دهه های گذشته بوده است. رسچر میگوید که فرض رفتار خطی برای آنالیز پاسخ لرزه ای سدهای وزنی بتنی مناسب نیست. زیرا اکثر این سدها تحت شرایط بارهای بهره برداری و حرکات زمین لرزه ای در مراحل طراحی، ساخت و بهره برداری ترک میخورند [2]. نتایج به دست آمده از آنالیز غیر خطی سدهای وزنی بتنی، مرتبط با روش استفاده شده در مدلسازی اثر متقابل سد - مخزن - فونداسیون هستند و اشاره میشود که مدلسازی درست اثر متقابل سد - مخزن - فونداسیون در آنالیز پاسخ غیر خطی سدهای وزنی بتنی ضروری است [3]. برای درک رفتار غیر خطی این سدها فرایند آسیب و ترک خوردن باید مدل شود [4]. کاشانی و قائمیان منحنی های شکست لرزه ای سدهای وزنی بتنی را نشان دادند. منحنی های شکست مشخص میکنند که اگر زلزله ای با شتاب حداکثر زمین بیشتر از  $0.2g$  مخصوصا زمانی که سیستم سد - مخزن - فونداسیون با پی بدون جرم مدل میشود رخ دهد سد خیلی آسیب پذیر است [5]. قنات و چودگار برای برآورد پاسخ لرزه ای سدهای وزنی بتنی روش خطی را مطرح کردند. آنها برای تامین ایمنی سد از نسبت ظرفیت و آستانه های کنترل آسیب در روششان استفاده نمودند [6]. این مقاله اثر خواص مصالح فونداسیون را بر روی انتشار ترک در سدهای وزنی بتنی بررسی میکند.

<sup>1,2,3</sup> استاد دانشگاه

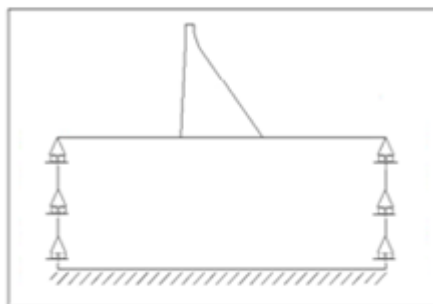
<sup>4</sup> دانشجوی دکتری

## مدل اجزاء محدود فونداسیون

در مدلسازی پی سدهای وزنی بتنی، فونداسیون میتواند با جرم یا صلب و بدون جرم فرض شود [7]. در مدل صلب، از انعطاف پذیری پی در مدلسازی صرفنظر میشود در حالی که در مدل بدون جرم انعطاف پذیری پی در مدلسازی در نظر گرفته میگردد لذا دوره لرزش افزایش میابد [7]. در این مدل به علت مصالح و میرایی در ناحیه پی پاسخ سازه ای کاهش میابد [8]. در این مقاله پی های صلب و بدون جرم در نظر گرفته میشوند.

## پی بدون جرم

مدل اجزاء محدود فونداسیون بدون جرم به طور کامل اثرات ناحیه سنگی را نشان میدهد. همانطور که در شکل ۱. نشان داده شده است، در پی بدون جرم انعطاف پذیر از تکیه گاه گیردار در پایه و از تکیه گاه غلتکی در کناره های فونداسیون استفاده میشود [9].



شکل ۱. مدل فونداسیون بدون جرم

## توصیف مدل

از مدل کامپیوتری انسگک درای برای انجام آنالیز غیر خطی بلندترین بلوک سدهای بلواستون، فلسوم و پاینفلت در این مقاله استفاده گردیده است اشکال ۲، ۳، ۴. ۵ درصد نسبت میرایی رایله برای مدلها انتخاب شد. در این برنامه از روش استگرد برای مساله مزدوج سازه - سیال برای آنالیز لرزه ای غیر خطی سدهای وزنی بتنی استفاده گردید. برای شبیه سازی تنش کششی در بدنه سد مدل ترک لغزیده به کار میرود [9]. طول فونداسیون  $3H$  ( پی تقریبا در هر طرف سازه سد به اندازه  $H$  توسعه میابد ) و عرض آن  $H$  است که عبارت است از ارتفاع هر بلوک. شرط مرزی شاران زمانی که طول مخزن  $10H$  است برای مخزن در دوردست استفاده میشود. مدل اجزاء محدود همسان، مربعی و چهار گره ای انتخاب میشود. خصوصیات مصالح هر سد در جدول ارائه شده است. خصوصیات مصالح برای پی سد همانطور که در جدول ۲ ارائه شده است متفاوت است [9].

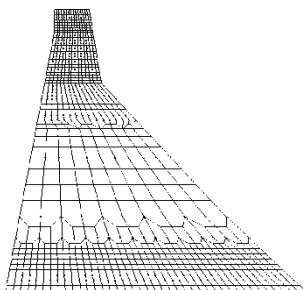


جدول ۱- پارامترهای انتخاب شده برای مصالح بدنه سد

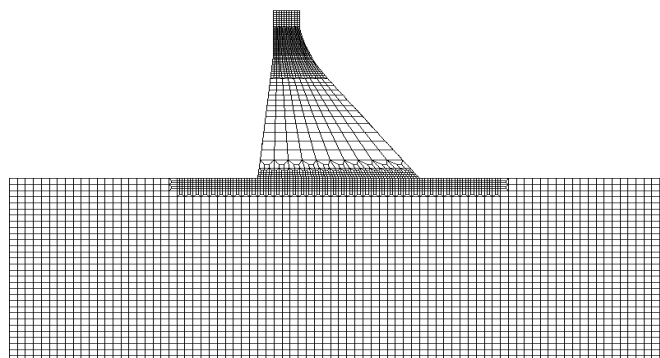
مشخصات مصالح بتنی	بلواستون	فلسم	پایین فلت
وزن مخصوص	24357 N/m <sup>3</sup>	25300 N/m <sup>3</sup>	24357 N/m <sup>3</sup>
مدول الاستیسیته	33558 Mpa	40680 Mpa	33558 Mpa
مقاومت کششی استاتیکی	0.255	0.19	0.255
نسبت پواسون	300 N/m	300 N/m	300 N/m
انرژی شکست (Gf)	24357 N/m <sup>3</sup>	25300 N/m <sup>3</sup>	24357 N/m <sup>3</sup>

جدول ۲ خصوصیات مصالح فونداسیون

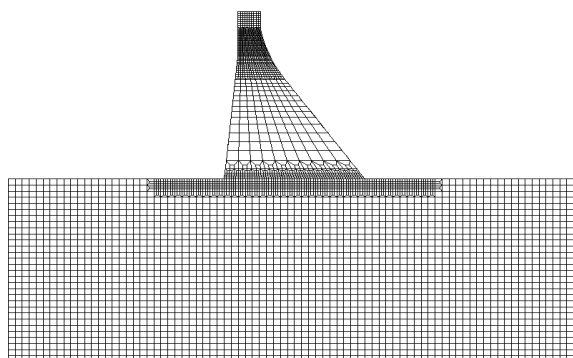
وزن مخصوص=2643 kg/m <sup>3</sup>					
مدول الاستیسیته	(بینهایت) ∞	16 GPa	24 GPa	32 GPa	40 GPa
نسبت پواسون=0.3					
ضریب بازتاب موج α=0.82					



شکل ۲. مدل اجزاء محدود بلندترین بلوک سد  
بلواستون (پی صلب)



شکل ۳. مدل اجزاء محدود بلندترین بلوک سد  
پاینفلت (پی بدون جرم)



شکل ۴. مدل اجزاء محدود بلندترین بلوک سد  
فلسم (پی بدون جرم)

### ضوابط پذیرش نتایج حاصل از آنالیز غیر خطی

بر اساس خطای توازن انرژی و تغییر شکل بدنه سد ضوابط پذیرش تعیین میشوند. اگر تغییر شکل سد زمانی که خطای توازن انرژی ۵ درصد است ناموزون باشد طبق این ضابطه نتایج حاصل از آنالیز غیر خطی قابل قبول میشود [10,11].

$$\text{Energybalanceerror} = \frac{(EP+EQ+EH)-(EK+ED+ER)}{(EQ+EH)} \times 100 \quad (1)$$

EK انرژی مطلق جنبشی، ED انرژی میرایی لزج، ER کار رفت و برگشت غیر خطی، EP کار نیروی به کار رفته پیش لرزه ای، EQ انرژی مطلق لرزه ای ورودی و EH کار فشاری هیدرو دینامیک هستند [10,11].

### نتایج آنالیز دینامیکی غیر خطی

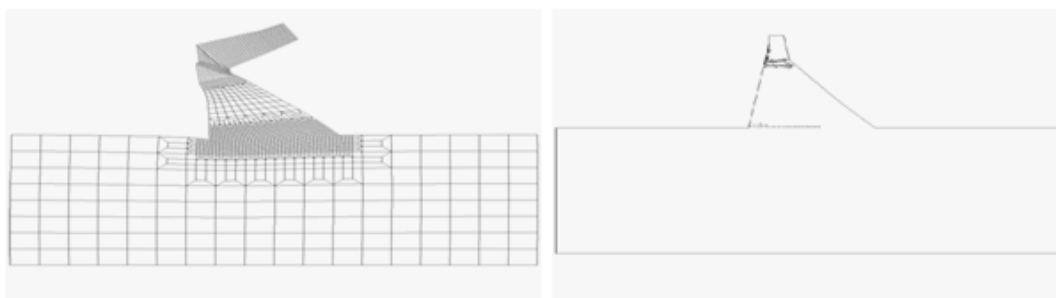
در مجموع ۱۵۰ آنالیز دینامیکی غیر خطی انجام شده است. برای هر آنالیز تغییر شکل، پروفایل ترک و درصد ناحیه ترک خورده محاسبه شده است اشکال ۵، ۶ و ۷.



شکل ۵. انتشار ترک و تغییر شکل سد بلواستون تحت رکورد زلزله کرن کانتی با مدل پی بدون جرم ( $E_f=40\text{GPa}$ )، درصد ناحیه ترک خورده = ۳٪



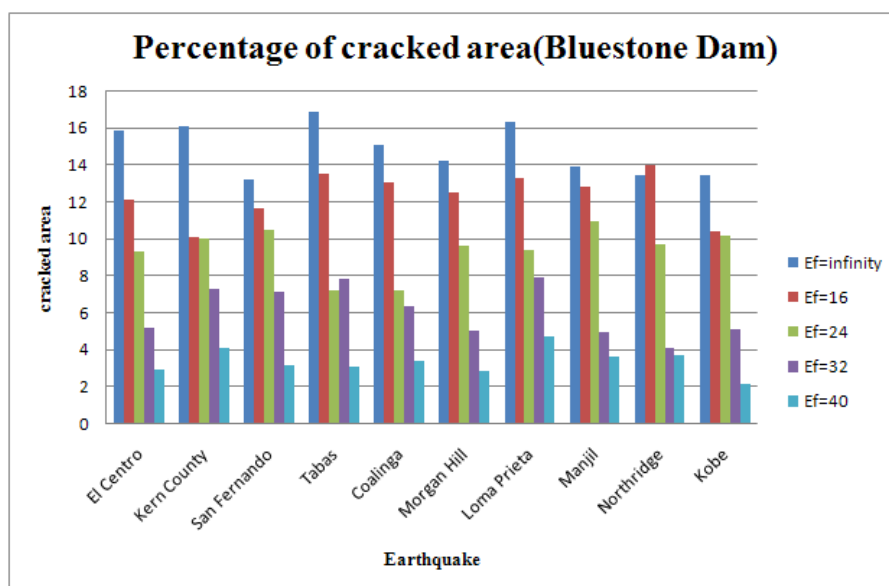
شکل ۶. انتشار ترک و تغییر شکل سد بلواستون تحت رکورد زلزله کرن کانتی با مدل پی بدون جرم ( $E_f=20\text{GPa}$ )، درصد ناحیه ترک خورده = ۷٪



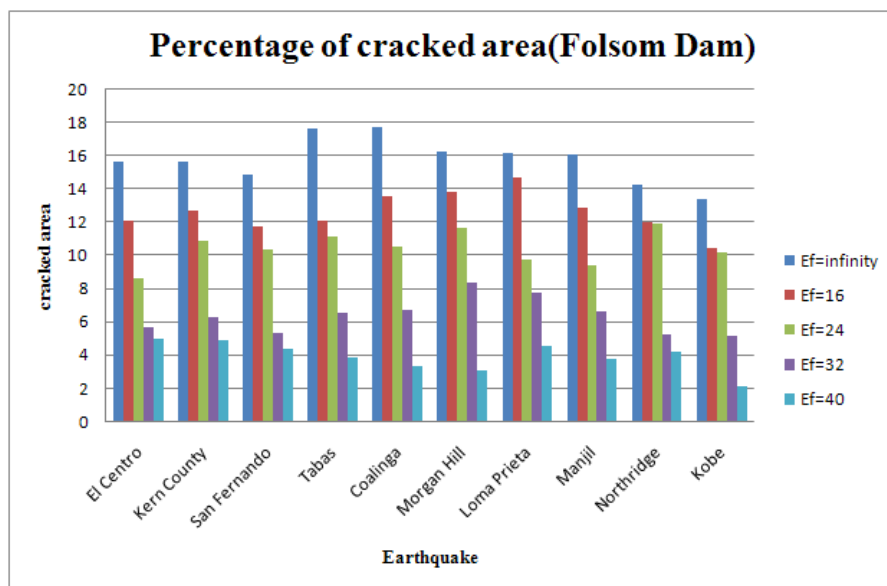
شکل ۷. انتشار ترک و تغییر شکل سد بلواستون تحت رکورد زلزله کرن کانتی با مدل پی صلب (بینهایت  $E$ )، درصد ناحیه ترک خورده=۱۶٪

### نتیجه گیری

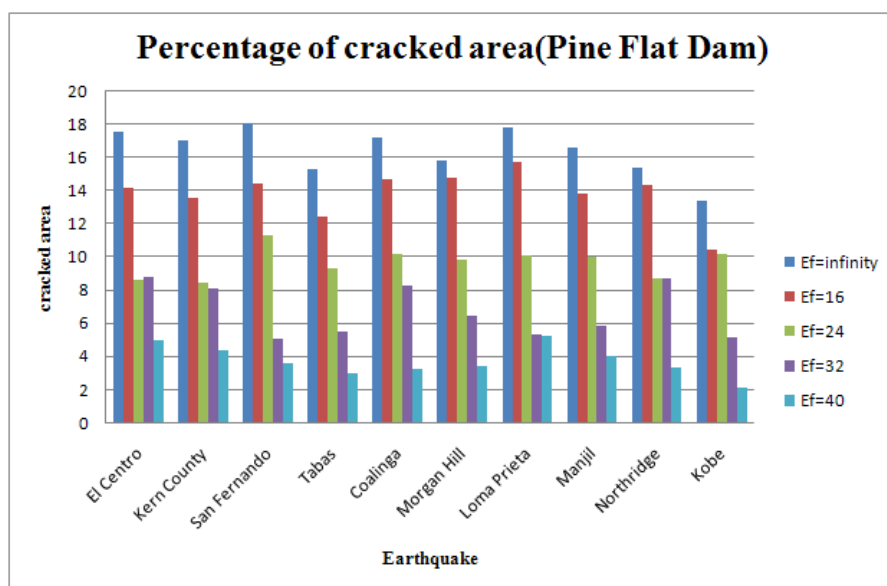
با بررسی تغییر شکل سد بر روی ترک در پایه سد نتیجه میشود که هر گاه مدول الاستیسیته افزایش یابد، تغییر شکل سد بیشتر است و در نتیجه درصد ناحیه ترک خورده سد افزایش میابد. درصد ناحیه ترک خورده برای هر سد با مشخصات مصالح فونداسیون متفاوت تحت ۱۰ زلزله مختلف در اشکال ۸ و ۹، ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۸. درصد ناحیه ترک خورده برای سد بلواستون



شکل ۹. درصد ناحیه ترک خورده برای سد فولسم



شکل ۱۰. درصد ناحیه ترک خورده برای سد پاینفلت

## قدردانی

در انتها از زحمات آقایان دکتر قائمیان و دکتر شمسایی اساتید محترم دانشگاه صنعتی شریف و علوم و تحقیقات تهران و آقای دکتر ثقفیان استاد محترم پژوهشکده حفاظت آب و خاک و دانشگاه علوم و تحقیقات تهران قدردانی میگردد.



## مراجع

1. Rescher O. 1990. Importance of cracking in concrete dams. Engng Fract Mech;35(3):503–24.
2. Ghaemian M. and Ghobarah. 1999. A. Nonlinear seismic response of concrete gravity dams with dam–reservoir interaction. Engineering Structures 21 306–315.
3. Soha Mirzahosseinkashani & Mohsen Ghaemian. 2008. Seismic fragility assessment of Concrete gravity dams using nonlinear analysis”. 16.
4. Ghanaat Y. and Anjana K. Chudgar. 2007. Seismic Design and Evaluation of Concrete Dams . An Engineering Manual.
5. US Army Corps of Engineers. 2007. Earthquake Design and Evaluation of Concrete Hydraulic Structures,” Washington, D.C. EM 1110-2-6053.
6. US Army Corps of Engineers, 2003. Time history Dynamic analysis of Concrete Hydraulic Structures. Washington, D.C. , EM 1110-2-6051 .
7. PEER Strong Motion Database, <http://www.peer.berkeley.edu>
8. Ghaemian, M. 2008. Manual of *NSAG-DRI*, A computer program for Nonlinear Seismic Analysis of Gravity Dams including Dam–Reservoir–Foundation Interaction.
9. Bureau of Reclamation. October 2003. Mid-Pacific Region, California Department of Water Resources, Upper San Joaquin River Basin Storage Investigation, Raise Pine Flat Dam,
10. US. Army Corps of Engineers (USACE). August 2005. Dynamic Testing and Numerical Correlation Studies for Folsom Dam.
11. Tekie P. and Ellingwood B. 2003. Seismic Fragility Assessment of Concrete Gravity Dams. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 32:2221-2240.