

# تحلیل سدهای وزنی تحت اثر زلزله در ترازهای مختلف آب



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره چهارم، زمستان

۱۳۹۵

نویسنده مسئول:

پرویز ثابتی

آدرس ایمیل:

parvzsabeti@yahoo.com

## پرویز ثابتی\*

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

## احمد ملکی

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

## چکیده:

در این نوشتار اقدام به ارائه انواع آنالیز در حالات بارگذاری متعارف و لرزه ای براساس مولفه ای افقی زلزله، می پردازیم. سپس اقدام به ارزیابی تنش های وارده برسد قبل از آبیگری (مخزن خالی)، حین آبیگری (مخزن نیمه پر) و پس از آبیگری (تراز نرمال)، با استفاده از روش های کلاسیک مانند simplified method (چوپرا- فنوس) و روش مدرن finite element، در قالب نرم افزارهای cadam و abaqus می پردازیم. اصول و روش های طراحی و تحلیل لرزه ای سدهای بتنی وزنی مبتنی بر تحلیل خطی و غیر خطی می باشد. با نگرش به ارزیابی سد وزنی بتنی زاوه وسد pineflat. بر پایه تحلیل خطی تاریخچه زمانی به نتایج تعیین کننده ای در خصوص مخازن در تراز نرمال، نیمه پر و خالی انجامیده است. در ادامه ارزیابی سد زاوه بر پایه تحلیلی های غیر خطی با استفاده از شتابنگاشتهای KOBE.KOYENA، CHI-CHI و مقایسه نتایج بدست آمده در هر مورد می پردازیم. در این حوزه المانهایی که دارای ظرفیت کششی بیش از مقاومت کششی مصالح می باشند، به همراه موقعیت و مکانیزم ترک های کششی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: خطی و غیر خطی، پی صلب و ارتجاعی

## Analysis dams under earthquake at different levels of water weight

### Pervez Sabeti\*

graduate student in civil-earthquake, Islamic Azad University of Maragheh, Maragheh, Iran

### Ahmad Maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh, Iran



V. 01 No. 04 - Winter 2016

Corresponding author:  
Pervez Sabeti

Email address:  
parvzsabeti@yahoo.com

## ۱- مقدمه

پیچیدگی مباحث لرزه ای سد، با توجه به ویژگیهای لرزه ای به لحاظ شدت، شتاب، فرکانس و زمان عملکرد موثر در زلزله های مختلف، ارزیابی ریسک پذیری سدها را با منتهای مختلف حائز اهمیت می سازد. با پیشرفت دانش در زمینه زلزله و توسعه روشهای دقیقتر، روشهای تحلیل و ارزیابی لرزه ای نیز کاملتر شده است. بررسی لرزه ای سدها از ساده ترین روش به نام شبه استاتیکی آغاز و به تحلیل های پیچیده با مدل های رفتاری پیشرفته منجر شده است. در این مقاله بدوای مرور بر منابع و پیشینه تحقیق به همراه روشهای متداول طراحی در سدهای بتنی می پردازیم. پس از معرفی اجمالی سدیبتنی وزنی زاوه نتایج آنالیز های انجام شده بر روی این سدها روش های خطی و غیر خطی، مورد ارزیابی قرار می گیرد.

## ۲- سد بتنی وزنی زاوه

سد بتنی زاوه از سدهای مهم استان کردستان و دومین سد ساخته شده در ایران با تکنولوژی RCC می باشد. این سد در فاصله ۶ کیلومتری پایین دست محل تلاقی رودخانه های گاو رود و قشلاق و در چهل کیلومتری جنوب غربی سنندج می باشد. عملیات اجرایی این سد در سال ۱۳۸۸ شروع و در سال ۱۳۹۲ به اتمام رسید. طراحی و نظارت بر احداث سد توسط مهندسین مشاور مشانیر انجام شده است [۱]. طول تاج این سد ۳۰۰ m و عرض تاج ۵/۱۲ متر ارتفاع ۸۴ متر و عرض بدنه در پی ۸۰ متر می باشد. داده های ورودی در نظر گرفته شده توسط مهندس مشاور طراح به قرار زیر می باشد.  $17Mpa = f_c$

$$19GPa = E_c, 1.6GPa = E_s, 27.6GPa = G, 24000 kg/m^3 = \rho_s, 24000 kg/m^3 = \rho_c, 24000 kg/m^3 = \rho_{con}$$

ارزیابی انجام شده بر روی سد زاوه شامل آنالیز توسط روش Simplified method [۲]، آنالیز مودال، شبه استاتیکی و دینامیکی خطی و غیر خطی می باشد. در این ارزیابی نرم افزار امان محدود CADAM [۳] جهت تحلیل خطی و مقایسه نتایج آن با روش Simplified method انجام می پذیرد. در ادامه تحلیل طیفی خطی سد زاوه توسط نرم افزار ABAQUS [۴] با رکورد زمین لرزه CHI-CHI و با شتاب ثقل  $PGA = 0.3g$  (انجام می پذیرد. به منظور ارزیابی نتایج حاصله از تحلیل سد زاوه مقایسه با سد pineflat تحت رکورد CHI-CHI انجام می پذیرد. تحلیل غیر خطی به منظور مکانیزمهای شکست و مسیرهای ترک احتمالی در بدنه سد ارائه و توسط رکورد زمین لرزه KOYENA = PGA (۳۱g) (رکورد لرزه ای PGA) = KOBE = ۳.۵ و CHI-CHI مورد ارزیابی قرار می گیرد.

## ۲-۱ آنالیز خطی شبه دینامیکی

۲-۱ الف نتایج ارزیابی توسط روش Simplified method و CADAM پی صلب در جدول ۲-۳ با فرض پی صلب در تراز های نرمال و نیمه پر جهت حداکثر تنش های کششی انجام پذیرفته است که ملاحظه می شود.

جدول ۲-۱ مقایسه نتایج حداکثر تنشهای کششی با فرض پی صلب برای تراز نرمال و نیمه پر

	Normal.L(Kg/m <sup>3</sup> )		Semifull.L(Kg/m <sup>3</sup> )	
	Smax	Smax	Smax	Smax
Simplified.M	۳۷	۲۰.۲		
CADAM	۳۴.۲	۲۲.۵		
Verficiation	۱۰.۸	۰.۹		

## ۲-۱ ب نتایج ارزیابی توسط روش simplified method و CADAM پی ارتجاعی

در جدول ۲-۳ با فرض پی ارتجاعی در تراز های نرمال و نیمه پر ارزیابی جهت حداکثر تنش های کششی انجام پذیرفته است که ملاحظه می شود.

## جدول ۲-۲ مقایسه نتایج حداکثر تنشهای کششی با فرض پی ارتجاعی برای تراز نرمال و نیمه پر

	Normal.L(Kg/m <sup>3</sup> )		Semifull.L(Kg/m <sup>3</sup> )	
	Smax	Smax	Smax	Smax
Simplified .M	۳۶.۸	۲۳.۷		
CADAM	۳۷.۸	۲۰.۶		
Verficiation	۰.۹۷	۱.۱۵		

## ۳- تحلیل دینامیکی خطی

به منظور امکان مقایسه کاربردی تنها به مدلسازی بارهای مرده، فشار آب، نیروهای زلزله و عکس العمل های که بیشترین اثر را در پاسخ سدهای وزنی دارند، پرداخته و از اعمال سایر نیروها بر روی سیستم اجتناب می گردید. با توجه به تاثیر اندک رکورد قائم زلزله، صرفاً رکوردهای افقی زلزله مبنای محاسبات می باشد.

## ۳-۱ آنالیز مودال

نتایج آنالیز مودال برای محاسبه پارامترهای لرزه ای با فرض رفتار خطی و مخزن خالی و پی بر بستر صلب، تخمین مناسبی از پاسخ دینامیکی سدهای بتنی وزنی در نزدیکی تسلیم و ترک خوردگی بدست می دهد. در این مقاله از توزیع میرایی رایلی [۵] [۶] استفاده شده است. جرم کل مدل ۷۳۵۸/۵ تن و محل مرکز جرم در مختصات (۳۰/۲۳، ۲۴/۱۴) است برای مداول فرکانس طبیعی سیستم در دو حالت فرکانس چرخشی ( ) با واحد رادیان بر ثانیه و فرکانس معمولی ( f ) با واحد سیکل بر ثانیه (هرتز) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود فرکانس پایه مود اول سیستم سد ۲۹/۲۱۶ رادیان بر ثانیه یا ۴/۶۵ هرتز و مقدار پرپود پایه سد عکس فرکانس و برابر با ۲۱۵/۰ ثانیه می باشد. فرکانس پایه (مود سوم) ۸۲/۷۹۲ رادیان بر ثانیه یا ۱۳/۱۷۷ هرتز و مقدار پرپود پایه سد برابر با ۰/۰۷۵۸ ثانیه می باشد.

## ۳-۲ تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

نتایج تحلیل در دو حالت پی بر بستر صلب و ارتجاعی در جداول ۳-۱ و ۳-۲ بشرح ذیل می باشد:

جدول ۳-۱ مقایسه روشهای ضمنی و صریح حداکثر تنشهای کششی و تغییر مکان نسبی تاج و پی با فرض پی صلب برای تراز نرمال و نیمه پر

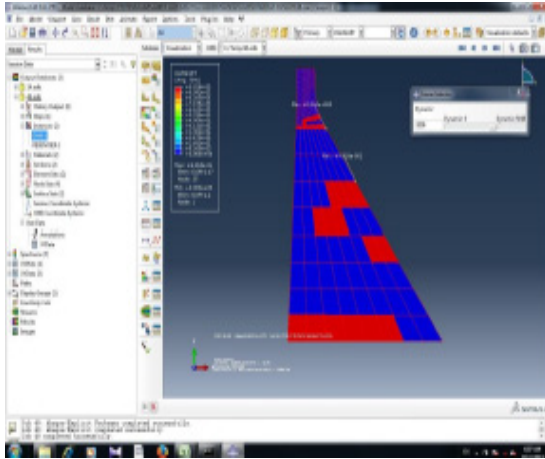
	Normal.L			Semifull.L	
	Empty.L	Implicit.M	Explicit.M	Implicit.M	Explicit.M
smax (Kg/m <sup>3</sup> )	۱۴	۲۶.۴	۲۱.۶	۲۹.۱	۳۰.۲
omax (cm)	۲.۹۵	۳.۶۷	۳.۶۹	۵.۴	۵.۹۲

جدول ۳-۲ مقایسه روشهای ضمنی و صریح حداکثر تنشهای کششی و تغییر مکان نسبی تاج و پی با فرض پی ارتجاعی برای تراز نرمال و نیمه پر

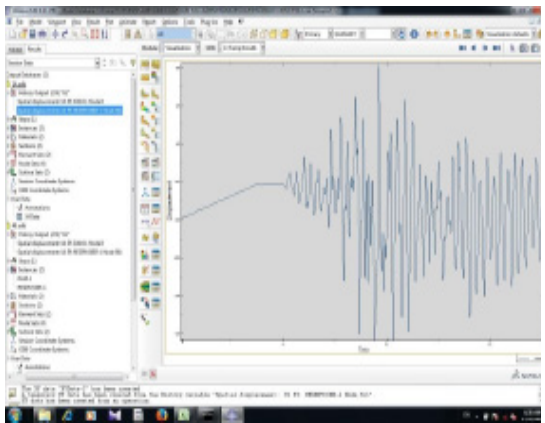
	Normal.L		Semifull.L	
	Implicit.M	Explicit.M	Implicit.M	Explicit.M
smax (Kg/m <sup>3</sup> )	۲۳.۸	۴۳.۲	۱۶.۶	۳۹.۲
omax (cm)	۱۴/۱۴	۱۴/۰.۸	۱۱/۵.۰	۱۴.۷۴

لازم به یادآوری است در Implicit Method اثرات اندرکنشی پی و مخزن لحاظ نگردیده ولی در Explicit Method این اثرات منظور شده است.

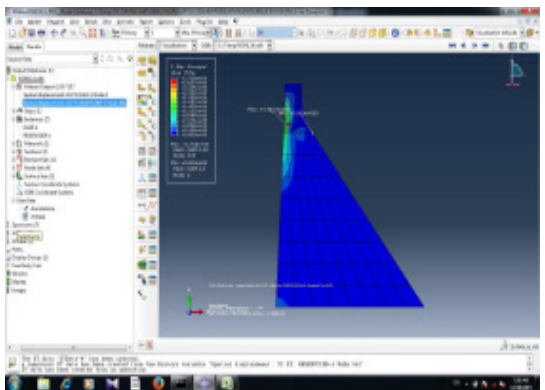
## ۴- تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای وزنی با رفتار غیر خطی



شکل ۴-۲ ترک خوردگی در اجزاء باتحلیل غیر خطی (EBOK) با توجه به شکل ۴-۳ و ۴-۴ جابجایی نسبی پس ماند در تاج سد نسبت به پاشنه ۵ میلیمتر بوده که شاهد ترک خوردگی جزئی در مقطع سد طی زلزله پایه می‌باشیم (KOYENA)



شکل ۴-۳ تاریخچه زمانی جابجایی نسبی تاج سد (KOYENA)



شکل ۴-۴ ترک خوردگی جزئی در اجزاء باتحلیل غیر خطی (KOYENA)

## مصالح بتن

در بتن غیر مسلح، مصالح مستعد ترک خوردگی می باشد. براساس معیار شکست رانکین اگر تنش اصلی ماکزیمم (کششی) در نقطه ای از مصالح بتن غیر مسلح از مقاومت کششی بتن بیشتر شود، بتن دچار ترک خوردگی می شود. راستای این ترک خوردگی عمود بر راستای تنش اصلی ماکزیمم می باشد. تحت زلزله های شدید معمولاً تغییر شکل ها از ظرفیت الاستیک سدهای بتنی تجاوز نموده، شاهد ترک خوردگی در مقطع سد و کاهش سختی کلی سازه خواهیم بود. برای پیش بینی خرابی و ترک خوردگی لازم است، تا وضعیت موجود تنش با مقاومت مصالح مقایسه شود [۷] دو منبع اصلی رفتار غیر خطی در سدهای بتنی وزنی شامل رفتار غیر خطی مصالح ترک خوردگی کششی و یا خردشدگی فشاری مصالح بتن (و نیز رفتار غیر خطی هندسی لغزش و بلند شدگی در امتداد درزهای موجود در سطوح ترک خورده) می باشد.

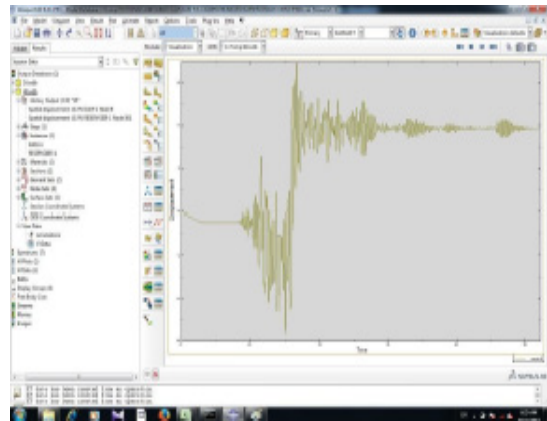
## ۱-۴ نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی لرزه ای غیر خطی

تحلیل انجام شده با فرض مخزن در تراز نرمال و پی بر بستر ارتجاعی و براساس سه شتاب نگاشت C HI-CHI ، KOYENA و KUBE مورد ارزیابی قرار می گیرد.

جدول ۴-۱ حداکثر تنش کششی و تغییر مکان نسبی تاج و پی بر اساس سه شتابنگاشت

	CHI-CHI	KOYENA	KOBE
$s_{max} (Kg/m^2)$	۲۷٫۹	۲۷٫۹	۲۷٫۸
$\sigma_{max} (cm)$	۰٫۵۰	۰٫۵۰	۴

با توجه به شکل ۴-۱ و ۴-۲ جابجایی نسبی پس ماند در تاج سد نسبت به پاشنه ۴۰ میلیمتر بوده که ناشی از ترک خوردگی در مقطع سد طی زلزله پایه می باشد. (KOBE)



شکل ۴-۱ تاریخچه زمانی جابجایی نسبی تاج سد (EBOK)

## ۵- نتیجه گیری، تفسیر نتایج

۱- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل سیستم مخزن پی بروش Simplified method و CADAM برای مخزن در تراز نرمال و نیمه پر، با فرض پی بر بستر ارتجاعی، و بستر صلب، اختلاف ناچیز ۲ الی ۸ درصد را نشان می دهد، که نتایج حاصله بیانگر صحت تحلیل انجام شده می باشد.

۲- در سدهای با فرض پی ارتجاعی، حداکثر مقادیر تنش های کششی و فشاری در حالت پی جرم دار بیش از مقادیر مشابه در حالت بدون جرم می باشد. مطالعات انجام شده بر روی سد PINEFLAT نیز موید این مطلب می

باشد به جدول ۵-۱ توجه فرمایید.

جدول ۵ - ۱ مقادیر حداکثر تنش ها در حالت بی جرم دار و بدون جرم بروی بی ارتجاعی تراز نرمال

نوع بی	$s_{max}, s_{min}(Kg/m^2)$	PINE FLAT DAM	JAWEH DAM
بی جرم دار	$s_{max}$	۳۶.۷	۴۳.۲
	$s_{min}$	۴۹.۶	۳۹.۳
بی بدون جرم	$s_{max}$	۳۶.۴	۲۳.۸
	$s_{min}$	۴۵.۱	۲۴.۸

۳- بررسی تحلیل تاریخچه زمانی سیستم سد-بی و مخزن در تراز نرمال و نیمه پر بر روی بی ارتجاعی، بیانگر افزایش چشم گیر تغییر مکان نسبی تاج و پی سد، در مقایسه با بی های صلب می باشد. (جدول ۵-۲). لذا در صورت کاهش در نسبت  $E_f/E_s$  شاهد کاهش در تغییر مکان های نسبی بین تاج و پاشنه سد می باشیم

جدول ۵ - ۲ حداکثر تغییر مکان نسبی در حالات بی ارتجاعی و صلب برای مخازن در تراز نرمال و نیمه پر.

	RIGID PINE FLAT	RIGID JAWEH	FLEXIBLE PINE FLAT	FLEXIBLE JAWEH	
$\sigma_{max}$ (cm)	Semifull.L	۴/۹۳	۵/۹۶	۲۵/۴۶	۱۴/۷۴
$\sigma_{max}$ (cm)	Normal.L	۵/۰۵	۳/۶۷	۱۰/۶۹	۱۴/۰۸

۴- در بررسی تحلیل تاریخچه زمانی سیستم سد-بی و مخزن در تراز نرمال بر روی بی ارتجاعی نشان می دهد، در بی هایی که جرم لحاظ گردیده، نتایج حاصل از تنش های فشاری و کششی بیش از بی بدون جرم می باشد جدول (۵-۳). لذا به منظور کاهش هزینه احداث، پیشنهاد می شود مطالعات فاز یک در محل ساختگاه با دقت و توجه خاصی انجام پذیرد. بدیهیست در صورتیکه مطالعات انجام شده بیانگر وجود بی با کیفیت مناسب در محل ساختگاه باشد، گزینه بی بدون جرم، گزینه مناسبتری خواهد بود.

جدول ۵-۳ حداکثر مقادیر تنش ها در تراز نرمال و نیمه پر در حالت بی جرم دار و بدون جرم بروی بی ارتجاعی

	$s_{max}, s_{min}(Kg/m^2)$	Normal.L	Semifull.L
بی جرم دار	$s_{max}$	۴۳.۲	۳۹.۲
	$s_{min}$	۳۳.۹	۳۳.۲
بی بدون جرم	$s_{max}$	۲۳.۸	۱۶.۶
	$s_{min}$	۲۴.۸	۲۲.۱

۵- در بررسی تحلیل تاریخچه زمانی سیستم سد-بی و مخزن نیمه پر بر روی بی صلب و ارتجاعی پیشنهاد می شود با توجه به مشکلات آبیگری که سدهای کشور در حال حاضر با آن مواجه هستند و به منظور آگاهی کامل از تغییرات تنش در ترازهای مختلف و ارائه اطلاعات جامع حین آبیگری سدها، ارزیابی تاریخچه زمانی در ترازهای و نیز انجام پذیرد.

۶- در صورتیکه مقادیر تنش کششی بیش از مقاومت کششی مقطع باشد آنالیز تاریخچه زمانی به منظور بررسی مکانیزم شکست و نواحی بحرانی شکست الزامیست.

۷- بر اساس معیار شکست رانکین، اگر تنش اصلی ماکزیمم کششی در نقطه ای از مصالح بتن غیر مسلح از مقاومت کششی بتن بیشتر شود، بتن دچار ترک خوردگی می شود. لذا به منظور درک واقعی از تنش های کششی وارده بر المانهای بدنه و مسیر شکست هایی که موجب گسیختگی و ایجاد ترک در سازه می شود، آنالیز غیر خطی در سطح زلزله حداکثر (MCE) توسط ۳ رکورد زلزله با مولفه های شتاب افقی و قائم که دارای مشخصه های نزدیک به طیف طرح ساختگاه می باشند صورت پذیرد. به منظور صحت سنجی و نتایج با معیار شکست رانکین و همچنین تغییر مکان نسبی تاج سد و پاشنه ارزیابی می شود.

## مراجع

- [۱] شرکت مهندسی مشاور مشانیر، شرکت مهندسی ژبان «طرح اختلاط بتن غلطکی سد ژاوه» دفتر فنی. شهریور ۱۳۸۹
- [2] Chopra.A.K. Chakrabarti P, Gupta S. Earthquake response of concrete gravity dams including hydrodynamic and foundation flexibility effects.EERC Report No. UCB/EERC-80/01, January 1980.
- [3] Department of civil, Geological and Mining Engineering E'cole Polytechnique De Montreal P.O.Box 6079, Station Centre-Ville Montreal (Qu, bec) 3C3A7
- [4] Abaqus Analysis User's Manual, Version 6.11.
- [5] باقری، محمد عالم. سید کاظمی، محمد. ۱۳۹۳، مدل سازی عددی سدهای بتنی وزنی با استفاده از ABAQUS. تهران: سیمای دانش.
- [6] Hall JF. problems encountered from the use (or misuse) of Rayleigh damping Earthquake Engineering and Structural Dynamic 2006; 35 :525-545.
- [7] Ghaemian M, Ghojarah A. Nonlinear seismic response of concrete gravity dams with dam reservoir interaction. Engineering Structures 1999; 21 :306-315.