

تحلیل دینامیکی سد بتنی وزنی در برابر زلزله با مدل سازی مخزن و در نظر گرفتن اندرکنش سد با مخزن

رضاحاجی شرفی^۱، شادی کوچک دزفولی^۲

۱- هیات علمی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران

۲- کارشناس ارشد گروه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Sh.kuchackdezfuli@iaud.ac.ir

چکیده

سازه‌های هیدرولیکی با توجه به شرایط اقلیمی ایران جز مهم ترین سازه‌های عمرانی به حساب می‌آیند. در سال‌های اخیر، سد های بتنی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، بررسی تحلیل دینامیکی سد بتنی وزنی در اثر زلزله می‌باشد. برای این مدل سازی از هندسه سد تنظیمی دز با استفاده از نرم افزار اباکوس بهره مند شده ایم. که این نرم افزار توانایی بالایی در تحلیل سازه‌ها و اندرکنش بین سازه و مخزن دارد و همچنین با مدل کردن رفتار واقعی مصالح و شکل واقعی بارگذاری درک مناسب تری از رفتار سازه در زمین لرزه های مختلف ارائه می‌دهد. لحاظ کردن شرایط مرزی باعث تعیین هرچه دقیق تر تنش‌ها و تغییر مکان هادر قسمت های مختلف سد میشود. از طرفی برای درک روشن تر از ایمنی سازه تحت زمین لرزه های مختلف در این تحقیق از تحلیل دینامیکی استفاده شده است. نتایج، نشانگر آن است که زلزله های با شتاب عمودی میتواند پایداری این سدها را بهم ریزد و در قسمت بالا دست تنش های بزرگتری را نسبت به پایین دست شاهد هستیم.

واژه‌های کلیدی: تحلیل دینامیکی، سد های بتنی کوتاه، پایداری، اندرکنش، مخزن، ABAQUS

مقدمه

که سهم مهمی در مطالعه نیروی هیدرو دینامیکی وارد بر سد داشت. مطالعه وسترگارد اساس فرض میدان دوبعدی سیال بود که این سیال به صورت تراکم پذیر عمل می‌کرد. او از تأثیر امواج سطحی صرف نظر کرد. با این فرضیات، او فشار هیدرو دینامیکی عمل کننده بر سد در حالت تحریک افقی هارمونیک زمین را بدست آورد.

او بر این اساس روشی را موسوم به روش (جرم افزوده) معرفی کرد که براساس آن، یک جرم اضافی فرضی که به بدنه سد چسبیده است برای محاسبه نیروی هیدرواستاتیکی معادل نیروی زلزله در نظر گرفته می‌شود. (وسترگارد، ۱۹۳۳)

همزمان با وسترگارد محقق دیگری به نام Karman روش تحلیلی و بر اساس مفهوم تعادل کوانتوم خطی، توزیع فشار هیدرو دینامیکی وارد بر سد

وقوع زمین لرزه از جمله عوامل موثر و مهم چه در زمان طراحی و چه در زمان بهره برداری می‌باشد که یک سازه هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار میدهد.

سال هاست که محققان با توجه به ارزشمندی سازه های عظیم سد های بتنی و امکان وقوع زمین لرزه در دوران بهره برداری از آنها سعی بر آن داشته تا تسلط کافی بر علم اندرکنش سازه و مخزن سد ها در هنگام وقوع زمین لرزه را به دست آورند و در هنگام طراحی سدها با انتخاب پارامتر های درست و مناسب میزان آسیب پذیری این سازه ها را به حد اقل برسانند و بر مقاوم سازی آن ها تاکید بیشتری نمایند.

اولین کار انجام شده در زمینه اندرکنش سد-مخزن در سال (۱۹۳۳) توسط وسترگارد برای تعیین فشار هیدرو دینامیکی بر سد وزنی صلب صورت گرفت

Abaqus که دارای قابلیت بالا در تحلیل حرارتی است را مدل سازی و تحلیل آن را تحت تاثیر بارهای حرارتی و بارهای وزن و فشار هیدرواستاتیک بررسی کردند که نتایج حاصل از تحلیل تنشها و کرنشها و جابجایی ها مشخص کرد که این امکان وجود دارد که در پایین دست جریان و در مجاورت لبه ها نزدیک به تاج سد، ترکهای کششی تجربه گردند و بارهای حرارتی در سد قوسی بسیار موثر بوده و اثر آنها نباید نادیده انگاشته شود. (لیب زاده و همکاران، ۲۰۱۰)

رائو و شیک (۲۰۱۴) با استفاده از روش اجزا محدود بر اساس رویکرد کدهای استاندارد و با استفاده از نرم افزار STAADPRO V8i، به ارزیابی پاسخ لرزه ای سدهای بتنی وزنی پرداخته اند. یافته های آنان حاکی از آن است که جابجایی های تاج سد برای سیستم سد پی ۵/۵۶۲ میلی متر بیشتر از سیستم سد می باشد. (رائو و همکاران، ۲۰۱۴)

وارقیس و نیکیتا (۲۰۱۶) رفتار لرزه ای سدهای بتنی وزنی را با استفاده از روش اجزا محدود و قالب تحلیلی دینامیکی مورد بررسی قرار داده اند. نتایج تحقیقات آنها نشان می دهد که ماکزیمم جابجایی های بدنه سد در محل تاج و بیشینه مقدار تنش وارد شده بر بدنه در محل پاشنه و نقطه مقابل آن در قسمت بالا دست سد رخ می دهد. (وارقیس و همکاران، ۲۰۱۶)

مواد و روش ها

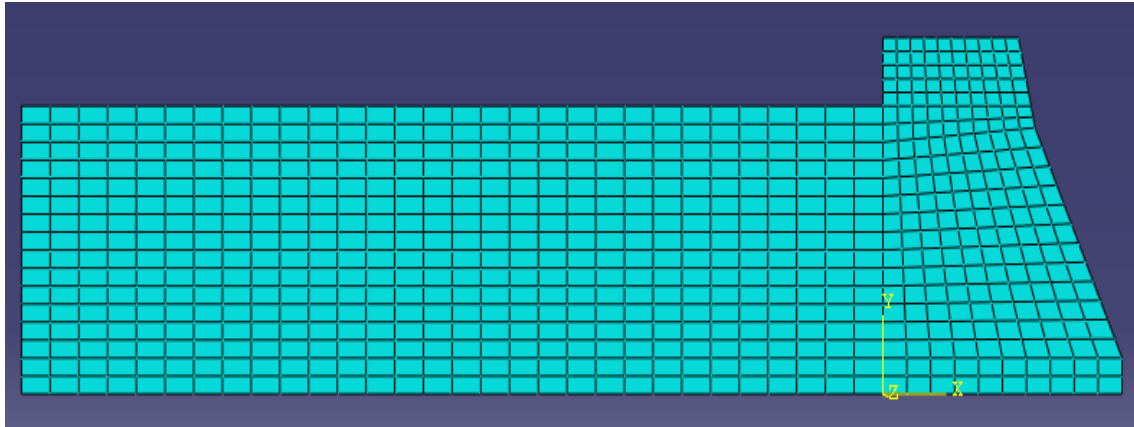
مش بندی

مقطع سد و مخزن در اباکوس شبکه بندی شده که در شکل مشاهده می شود.

را از جانب مخزن هنگام وقوع زلزله تعیین کرد که نتایج او بسیار نزدیک به نتایج وسترگارد بود. (ون کارمن، ۱۹۳۳)

در سال ۱۹۹۰، یکی از کامل ترین و دقیق ترین روش های تحلیل لرزه ای سدهای وزنی، با در نظر گرفتن هر سه اندرکنش (سد - سنگ پی، آب مخزن - سنگ پی، سنگ پی - آب مخزن) موجود ارائه شد این روش که در سال های بعد برای سد های قوسی گسترش یافت هر سه بخش مجموعه را به یاری راهکار اجزای مرزی سه بعدی مدل سازی می کرد. اما این روش، بدلیل استفاده از روش المان مرزی در تمامی بخش های مجموعه، روش بسیار زمانبر و غیر قابل موثر به شمار می رود. در سال ۱۹۹۵، Tan و Chopra به گسترش راهکار پشتیبان پرداختند آنها سنگ پی را با استفاده از روش اجزای مرزی سه بعدی تقریبی مدل کردند، به گونه ای که مرز مشترک سد و سنگ پی با المان مرزی دو بعدی مدل شده و با کمک سری های فوریه در جهت سوم، ماتریس امیدانس سنگ پی برای فرکانس های مختلف محاسبه گردید. آنها با این کار فرضیات ساده کننده بدون جرم و میرایی پنداشتن سنگ پی که تا آن زمان در روش زیر سازه بکار می رفت را از میان برداشتند و ماتریس امیدانس را در حالت سه بعدی برپا ساختند. اما این تکنیک، بدلیل استفاده از روش المان های مرزی، روش زمانبری می باشد و از طرفی محدوده سنگ پی در این مطالعه به صورت یکنواخت فرض شده بود. (تن چوپرا، ۱۹۹۵)

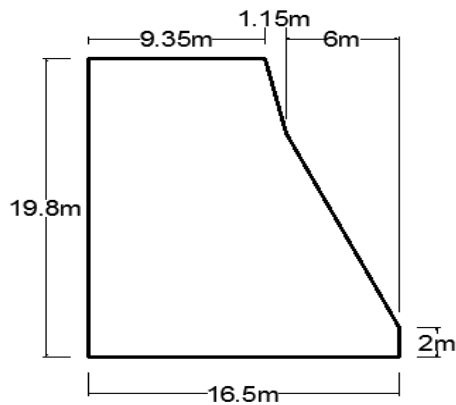
لیب زاده و همکاران در سال ۲۰۱۰ رفتار حرارتی یک سد قوسی تحت تاثیر دمای محیط را با برنامه



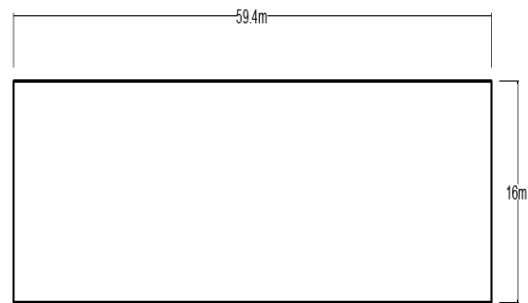
شکل ۱- مش بندی سد و مخزن

جدول ۱- مشخصات فنی سد تنظیمی دز و مخزن آن

| تنظیمی | نوع سد | |
|------------------------|--|---------------|
| ۲۰ متر | ارتفاع | مشخصات فنی سد |
| ۱۲۶ متر | طول تاج | |
| ۴٫۵ متر | ضخامت در تاج | |
| ۱۴۱ متر | رقوم بالاترین نقطه ی بدنه نسبت به سطح دریا | |
| ۳۳۰ هکتار | مساحت در ارتفاع متوسط | مشخصات مخزن |
| ۱۳٫۷ میلیون متر مکعب | حجم مخزن در رقوم ۱۳۵٫۲ متر | |
| ۱۳۵٫۲ متر از سطح دریا | ارتفاع دریاچه در ارتفاع سیلابی و حداکثر | |
| ۱۳۵٫۲ متر از سطح دریا | حداکثر ارتفاع قابل مهار | |
| ۱۳۰ متر از سطح دریا | حداقل تراز بهره برداری توصیه شده | |
| ۶۰۰۰ متر مکعب در ثانیه | حداکثر عبور سیلاب | |



شکل ۳- هندسه سد

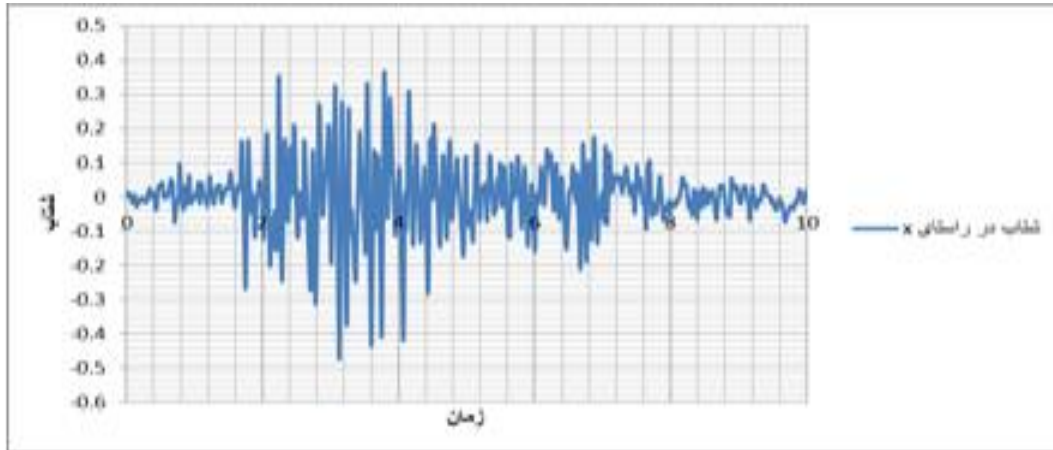


شکل ۲- هندسه مخزن

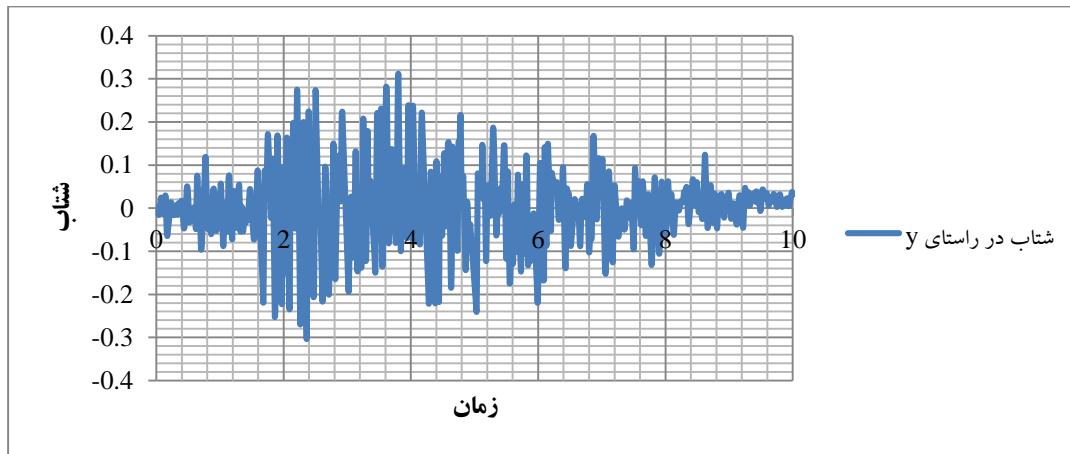
بارگذاری سد بتنی

برای بارگذاری سد، سه زلزله مختلف در نظر گرفته شده است که میزان شتاب ماکزیمم زلزله اول در ثانیه ۵ و در زلزله دوم در ثانیه ۲ و در زلزله سوم در ثانیه ۶

اتفاق می افتد که نمودارهای شتاب افقی و عمودی هر کدام از آنها در ادامه آورده شده است :
 زلزله اول : شتاب نگاشت کوینا با حداکثر فرکانس 0.5g



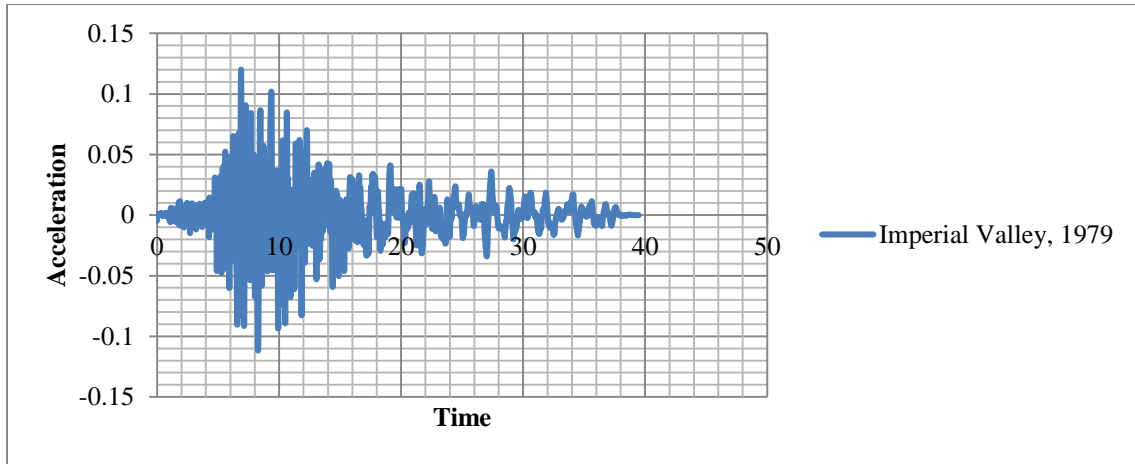
(a)



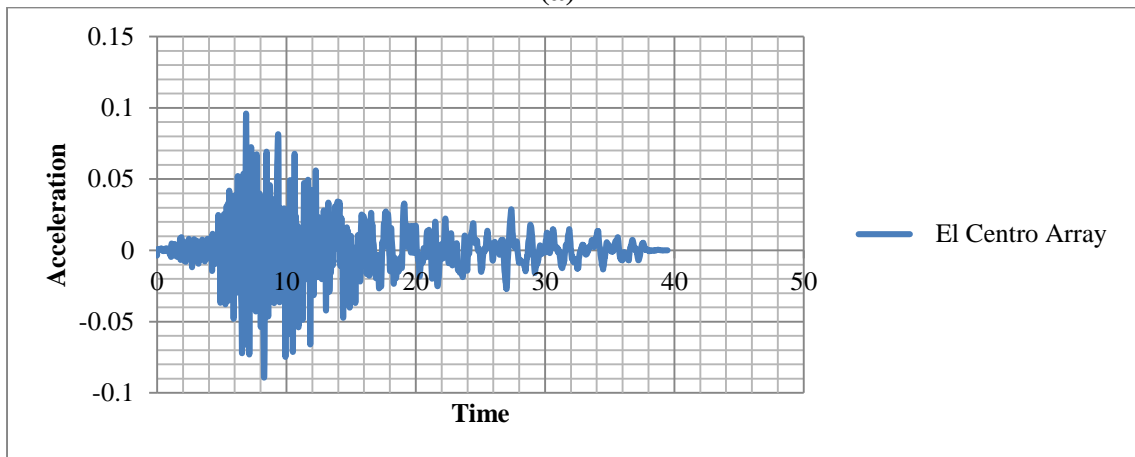
(b)

شکل ۴- شتاب نگاشت کوینا- (a) افقی ، (b) عمودی

زلزله دوم : شتاب نگاشت El Centro Array با
حداکثر فرکانس 0.12g



(a)

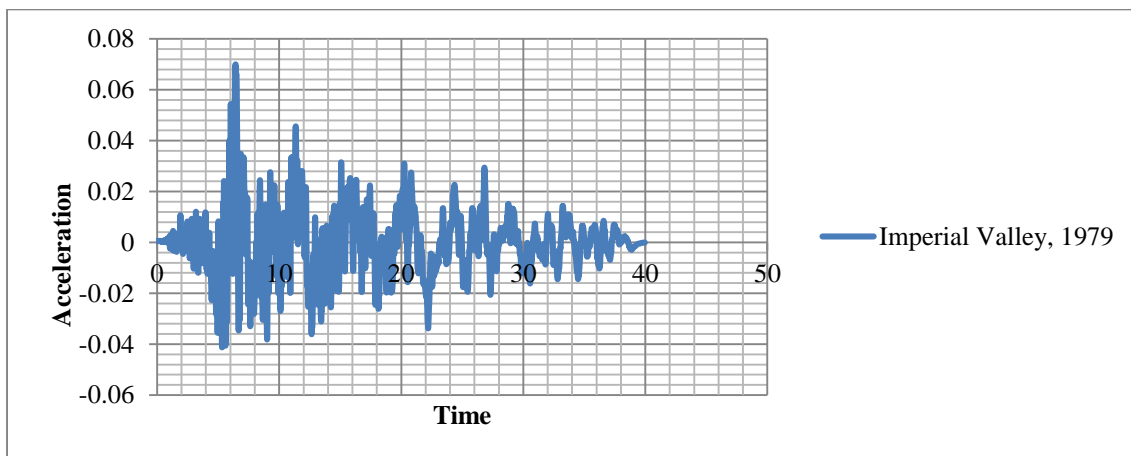


(b)

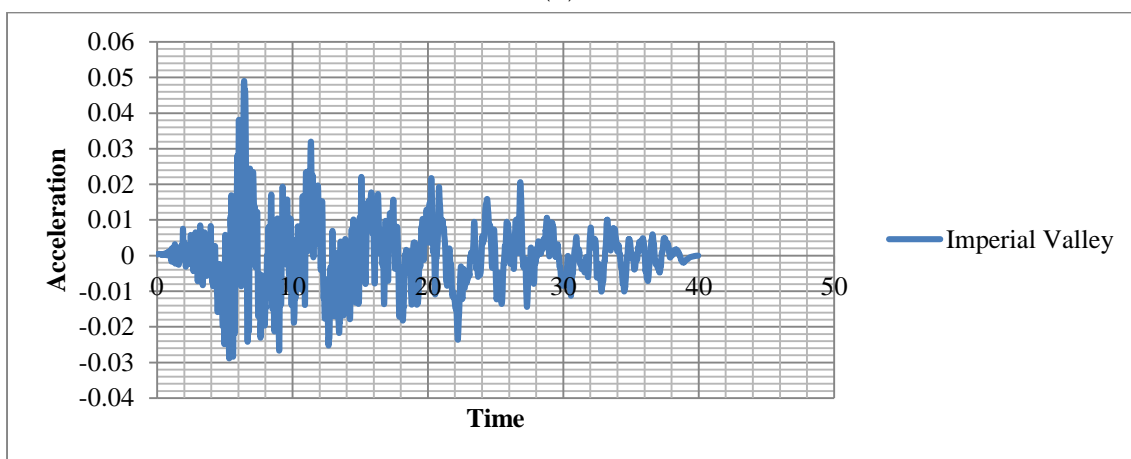
شکل ۵- شتاب نگاشت Imperial Valley, 1979 - (a) افقی ، (b) عمودی

زلزله سوم : شتاب نگاشت Imperial Valley,

1979 با حداکثر فرکانس 0.07g



(a)



(b)

شکل ۶- شتاب نگاشت Imperial Valley, 1979 - (a) افقی ، (b) عمودی

خواص مصالح

بتن

برای مدل سازی رفتار بتن، از مدل Concrete

Damage Plasticity استفاده شده است که پارامتر

های آن در جدول زیر آورده شده اند:

جدول ۲- خصوصیات مصالح بتنی

| | |
|----------------------|---|
| مدول یانگ | $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ |
| ضریب پواسون | $= 0.2 \nu$ |
| دانسیته | $= 2643 \text{ kg/m}^3 \rho$ |
| زاویه ترک خوردگی بتن | $= 36.3 \varphi$ |
| تنش تسلیم فشاری | $= 8.96 \cdot 10^6 \text{ Pa } \sigma_{c0}$ |
| تنش تسلیم نهایی | $= 17.6 \cdot 10^6 \text{ Pa } \sigma_{cu}$ |
| تنش شکست کششی | $= 1.9 \cdot 10^6 \text{ Pa } \sigma_{t0}$ |

سیال

خصوصیات سیال مورد نظر که همان آب موجود در پشت سد تا فاصله ای ۳ برابر ارتفاع سد است در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳- خصوصیات سیال

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| مدول بالک | $k = 2.23 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ |
| ضریب پواسون | $= 0 \nu$ |
| دانسیته | $= 1000 \text{ kg/m}^3 \rho$ |

به طور کلی ضریب میرایی را برای سد های وزنی بتنی ۲٪-۵٪ در نظر میگیرند.

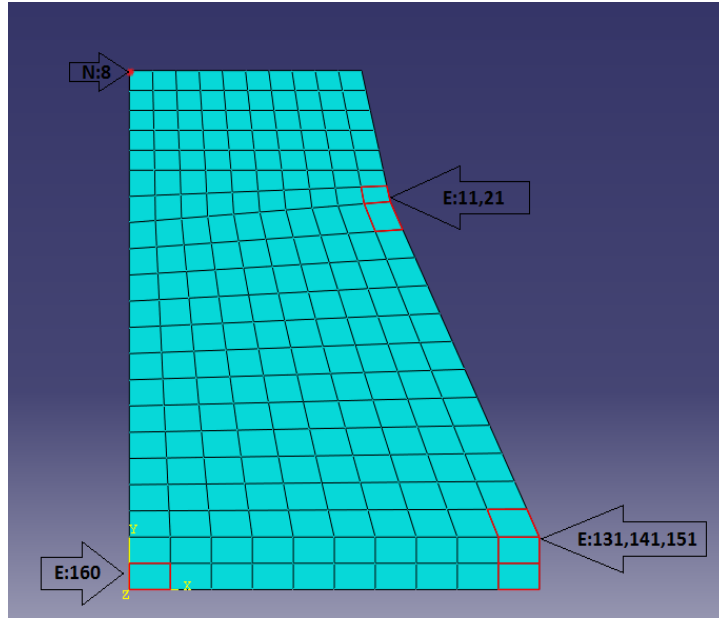
نتایج و بحث

برای بررسی جواب ها همین طور که در شکل نشان داده شده است المان ۱۱ و ۲۱ در بالادست و المان های ۱۳۱، ۱۴۱ و ۱۵۱ در پنجه و المان ۱۶۰ در پاشنه و گره ۸ در تاج سد انتخاب شده است. که به بررسی آنها می پردازیم:

ضریب استهلاک (میرایی) سد

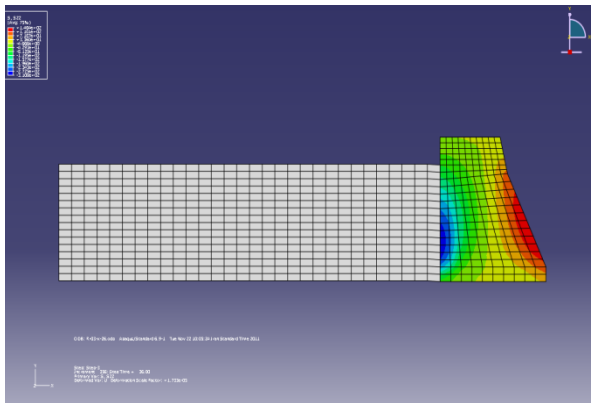
جهت محاسبه ماتریس میرایی سد از روش رایلی ، استفاده شده است. در این روش ماتریس میرایی بصورت یک رابطه خطی بین ماتریس جرم M و سختی K بیان می شود که مقادیر α, β در آن ثابتهای میرایی می باشند.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (1)$$

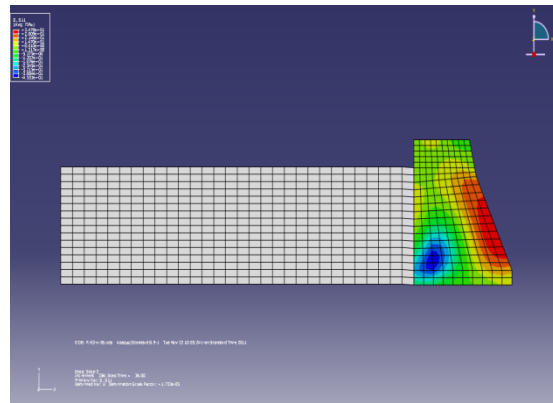


شکل ۷- المان های انتخاب شده در بدنه سد برای بررسی تنش

Imperial Valley زلزله



شکل ۹- تنش اصلی در بدنه سد در راستای y
Imperial Valley زلزله



شکل ۸- تنش اصلی در بدنه سد در راستای x
Imperial Valley زلزله

نتیجه گیری

خوردگی پاشنه سد در زلزله های با فرکانس بالا وجود دارد.

۲- زلزله های با شتاب عمودی می تواند پایداری سد های بتنی وزنی را بهم ریخته و تنش های قابل توجهی در آنها ایجاد کند، زیرا پایداری این سد ها بر اساس وزن آن هاست.

۳- در قسمت بالا دست تنش های بزرگتری را نسبت به پایین دست شاهد هستیم.

در این تحقیق به بررسی تحلیل دینامیکی سد تنظیمی دز با مدل سازی مخزن پرداخته ایم که برای این امر از نرم افزار المان محدود Abaqus استفاده کرده ایم، نتایج مهم این تحقیق به شرح زیر هستند:

۱- مشاهده شد که تنش های وارده در قسمت پاشنه سد نسبت به سایر المانهای در نظر گرفته شده بیشتر بوده و این نتیجه حاصل شد که احتمال ترک

پیشنهادات

- ۱- بررسی تاثیر شکل هندسی مخزن بر تحلیل دینامیکی سد بتنی وزنی
- ۲- تحلیل دینامیکی سد بتنی وزنی تحت اثر زلزله های دور و نزدیک
- ۳- استفاده از سایر نرم افزار های المان محدود در تحلیل دینامیکی سد ها

منابع

- ۱- رستگارفرد، ا.، ۱۳۹۰، بررسی پایداری لرزه ای سدهای بتنی وزنی با استفاده از مدل‌های ریاضی اجزا محدود - مطالعه موردی سد تنظیمی دز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- ۲- ملک خدایی، ک.، ۱۳۹۰، بررسی فشار هیدرو دینامیک وارد بر بدنه سدهای بتنی وزنی در اثر تحریک زلزله، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- 3-westergaard H.M .,1933, Water pressure on dams during earthquake,Transaction,ASCE, 98, PP 418-433.
- 4-Von Karman T., "Discussion of water pressures on dams during earthquakes". Trans., ASCE, Vol. 98, 1933, pp. 434-436.
- 5- Tan Hanchen & Chopra Anil.K. ,1995, Earthquake Analysis of Arch Dams Including Dam- Water- Foundation Rock Interaction, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.24,P.1453-1474.
- 6- Labib zadeh, M. Sadr nejad,S. Khaje dezfuly, A.,2010, Thermal assessment of karun-1 dam, Academic journals inc, Vol. 5(4), pp. 251-266.
- 7-Rao. R . M., Shaik. N.N. 2014. Finite Element Modelling and Seismic Response Evaluation of Large Concrete Gravity Dams - An Approach based on Indian Standard Codal Guidelines", International Journal of Emerging Engineering Research and Technology Volume 2, Issue 2 : PP 178-186.
- 8- varughese.J.A., Sreelakshmi.N. 2016. Seismic Behavior of Concret Gravity Dams, Advanced in Computational Design, Vol . 1 , NO.2 : 195-20.