ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸٦ISSN

شماره مجوز مجله:۸۰٤۰۰ زمان چاپ:۱٤۰۲/۰۲/۲۰

مدل سازی عددی اثر تحریکات لرزه‌ای بر رفتار سد بتنی قوسی با نرم‌افزار آباکوس تحت شتابنگاشت DBL

عبدالکریم ایمنی

کارشناسی ارشد و مهندسی عمران – سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

(Mohamademeni@yahoo.com)

چکیده

این مقاله مدل سازی عددی سد بتنی قوسی دز در نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدل سازی‌ها صورت گرفته و مدل، تحت شتابنگاشت‌های DBL واقع شده است. در فناوری مدل سازی از شدت زلزله ناغان استفاده شده است و نتایج این عملیات مشخص می‌نماید، جابجایی در تاج سد و امکان بروز ترک‌هایی در میانه صفحه سد متصور است، لذا مطالعات صورت گرفته مدلی متشکل از المان‌های سازه و آب به کار گرفته می‌شود. حل عددی مسائل اندرکنش دارای حجم محاسبات بالایی است و استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود تجاری در این امر می‌تواند برای بهینه¬سازی سازه سد مفید باشد. در این روش وضعیت ایمنی سدهای بتنی را می توان با استفاده از یک سری تحلیل غیر خطی مشخص نمود. در این مقاله با در نظر گرفتن اندرکنش آب به عنوان سیال و سد به عنوان سازه ضمن بررسی تئوریک پدیدهٔ آسیب در بدنه سدهای بتنی و روش های مختلف ایجاد آسیب و فناوری‌های کامپیوتری به پیش بینی مقدار و نحوه آسیب‌ها پرداخته شده است .

کلمات کلیدی: (بهینه سازی سد دز، فناوری تحریکات زلزله بر اساسDBL، فناوری نرم¬افزار آباکوس، رفتار سد قوسی)

۱- مقدمه

برای یک سد بتنی به عنوان یک سازه هیدرولیکی همواره تحت تأثیر نیروهای خارجی یا عوامل دیگری نظیر تغییرات درجه حرارت قرار داشته که باعث ایجاد تغییر شکل در هندسه سد می‌گردد. این تغییر شکل همراه با تنش‌های داخلی و واکنش‌های تکیه گاهی خواهد بود. هدف اصلی از تحلیل یک سد بتنی به کمک اجزای محدود و بر اساس شتابنگاشتDBL ، تعیین تقریبی اما هر چه دقیق‌تر تنش‌ها و تغییر مکانها در نقاط مختلف سد می‌باشد .

برای یک سازه ایده‌آل، تحلیل تنش‌ها و تغییر شکل‌های ایجاد شده در اثر یک سیستم بارگذاری معین، یک مسئله کاملاً ریاضی است که در محاسبات مربوط بایستی سه شرط تأمین گردد :

۱ـ نیروی وارده به اعضاء بایستی در تعادل بوده، معادلات تعادل برقرار باشند .

۲ـ با توجه به ارتباط اعضاء به یکدیگر و نیز شرایط مرزی، لازم است تا تغییر شکل اعضاء از هماهنگی و انطباق کامل برخوردار بوده، معادلات سازگاری در تئوری ارتجاعی (الاستیسیته) حاکم باشند .

۳ـ ارتباط بین نیروها و تغییر شکلهای هر عضو می‌بایست با توجه به خصوصیات مصالح و روابط تنش تغییر شکل آنها باشد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۲ -فناوری طراحی و بررسی تحرکات لرزه‌ای:

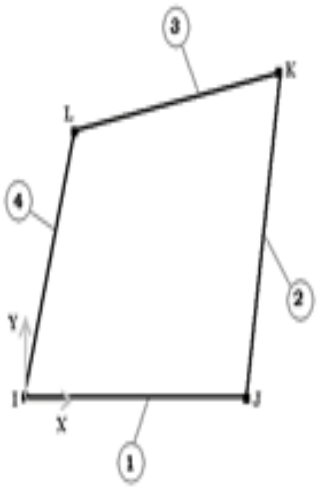
۲-۱ -مدل سازی در نرم افزار:

به منظور نشان دادن محدوده¬های آسیب دیده در سدها نیاز به یک شاخص مشخص می¬باشد. همان گونه که قبلا ذکر شد مدل بتن مورد استفاده توانایی محاسبه مناطق خسارت دیده را با محاسبه Kt و Kc دارد. لازم به یادآوری است Kt معرف خرابی های تحت کشش بوده، و Kc معرف خرابی های تحت فشار می¬باشد. به دلیل خرابی سدهای بتنی بر اثر کشش و حاکم نبودن تنش های فشاری، در کلیه مدل¬های ساخته شده، تنها Kt تعریف گشته است. مدول الاستیسیته استاتیکی برابر ۲۶/۵ گیگاپاسکال، ضریب پواسون برابر ۰/۲، مقاومت کششی برابر ۳/۲ مگاپاسکال می باشد. جهت تعریف پارامتر ترک خوردگی به نرم افزار آباکوس نیاز است که نمودارهای تنش-کرنش شکل های۴ تا ۶ وارد نرم افزار گردد. لذا ترک خوردگی کششی و فشاری جداگانه به نرم افزار معرفی می گردد. هرگاه میزان تنش ایجاد شده در اثر این جابجایی ها بیشتر از حد الاستیک باشد ماده وارد محدوده پلاستیک شده و مستعد آسیب های جدی می گردد. به ماکزیمم کرنشی که به ازای آن مصالح همچنان در حالت الاستیک باقی می مانند کرنش الاستیک می گویند.پس از کرنش الاستیک با وقوع اولین ترک و تغییر شکل ماندگار در مصالح از مقاومت آن کاسته می شود و پارامتر ترک خوردگی سرعت و شدت بیشتری به خود می گیرد.

جدول شماره۲ - پارامترهای به کار رفته در تعریف بتن

چگالی بتن	مدول الاستیسیته	ضریب پواسون
۲۴۰۰ Kg/m3	۲۵ GPa	۰/۲

شکل۴: مدل سد دز ساخته شده در نرم افزار آباکوس



شکل۵: المان ۴ گره ای دو بعدیSOLID

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

شکل۶: مدل مش بندی شده سد دز در نرم افزار آباکوس

۲-۲ -فرضیات:

۱ـ حرکت سیستم سد و آب به صورت دو بعدی در نظر گرفته و جابجایی‌ها در صفحات عمود بر محور سد بتنی یکسان هستند.

۲ـ وجه بالادست سد قائم می‌باشد .

۳ـ کف مخزن افقی، عمق آب H وگسترش آب در سمت بالادست بی‌نهایت منظور شده است .

۴ـ آب به صورت خطی تراکم پذیر فرض شده، از ویسکوزیته داخلی آن صرفنظر می‌شود .

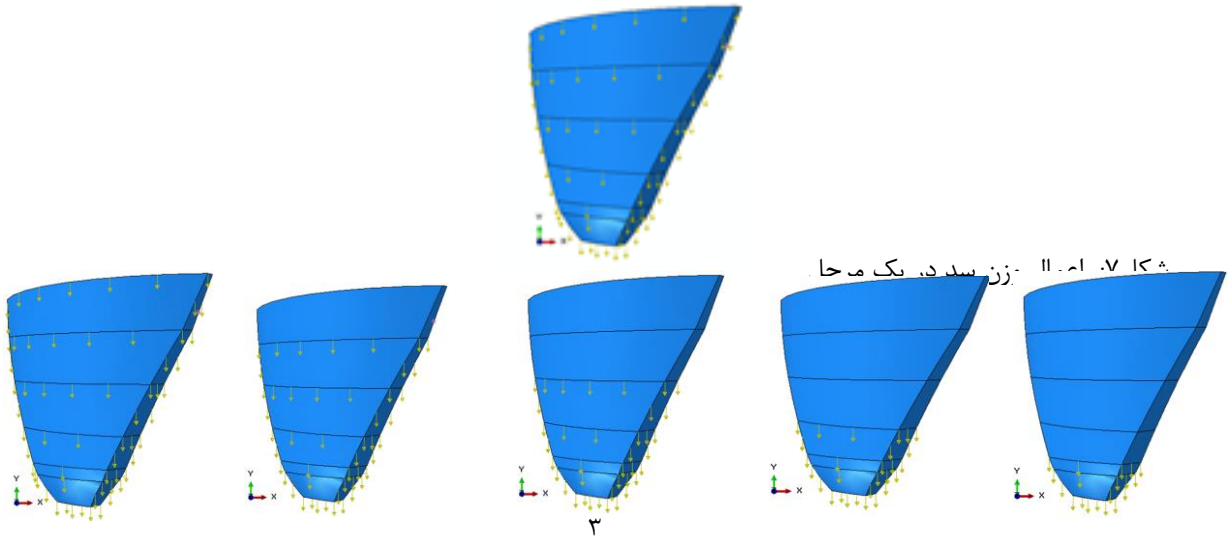
۵ـ تأثیر امواج در سطح آزاد آب با علم به این که خطاهای ایجاد شده کوچک است، نادیده گرفته شده است .

۶ـ با در نظر گرفتن بازتاب سد در مقابل مولفه قائم حرکت زمین، تأثیر انعطاف پذیری کف مخزن بر فشار هیدرودینامیک منظور می‌شود .

۷ـ فرض می‌شود که حرکت زمین در یک زمان به تمام نقاط کف می‌رسد. یعنی سرعت افقی حرکت زمین بی‌نهایت است.

۲-۳ -فناوری مدل سازی :

در این مقاله فرآیند ساخت سد را پنج مرحله¬ای در نظر گرفته و لذا پنج (step) در نرم افزار تعریف نموده و در هر مرحله (step)وزن قسمتی از سد را اضافه می کنیم تا شرایط واقعی تر گردد.



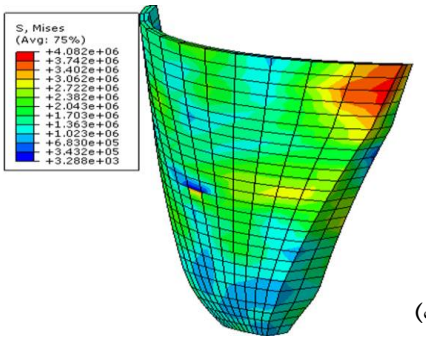
شکل ۷: اعمال وزن سد در یک مرحله

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

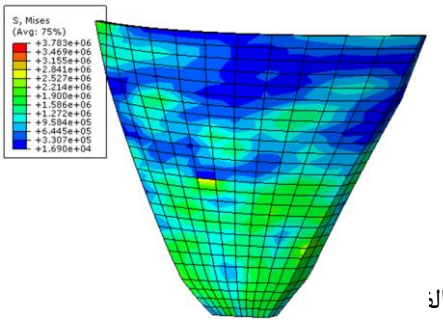
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

شکل۸: اعمال وزن سد در پنج مرحله

این مدل جهت بسط و گسترش انتخاب گردید. در شکل۱۲ تفاوت بین تنشهای تکیه گاهی در دو حالت بار وزنی ۵ مرحله ای و بار وزنی یک مرحله ای نمایش داده شده است.



(ب)

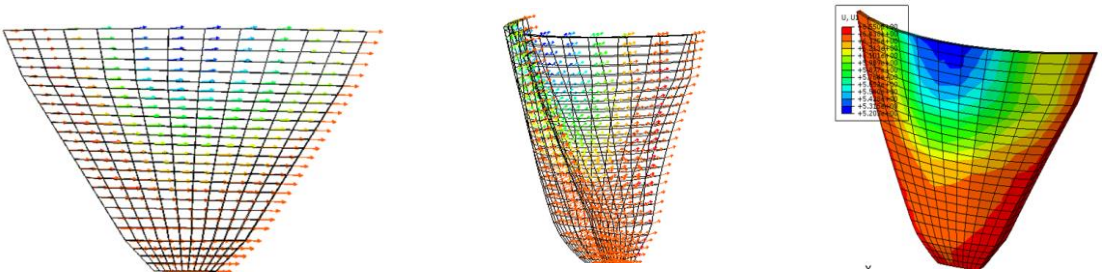


(الف

شکل ۹: کانتور توزیع تنش در الف) توزیع وزن ۵ مرحله ای ـ ب)توزیع وزنی تک مرحله ای

۲-۴ -تحلیل استاتیکی بدنه تحت بار ثقلی و هیدرو استاتیکی:

تحلیل رفتار بدنه سد تحت نیروی وزن خود و نیروی فشار آب پشت سد مورد بررسی واقع شده است، لذا سد مورد نظر را تحت این شرایط قرار داده و نتایج مورد بررسی واقع می گردد. در شکل ۴-۱۱ کانتور جابجایی سد اورده شده است.



الف)کانتور جابجایی افقی ب)کانتور برداری جابجایی کلی

شکل۱۰: کانتور جابجایی در آنالیز استاتیکی بدنه تحت بار ثقلی و هیدرو استاتیکی

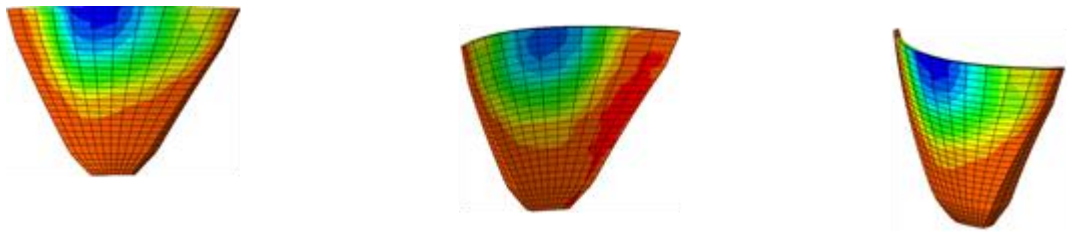
۲-۵ -آنالیز استاتیکی بدنه تحت بار ثقلی:

این بار به تنهایی بدنه تحت بار ثقلی قرار می¬گیرد و نشست آن و جابجایی کلی آن بررسی می¬گردد. شکل ۱۰ نمایش دهنده کانتور

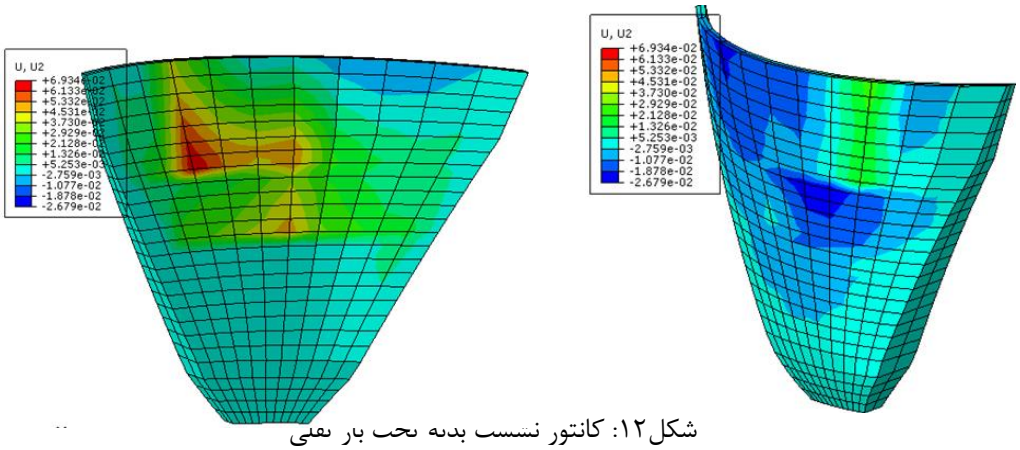
جابجایی بدنه سد تحت بار ثقلی می باشد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

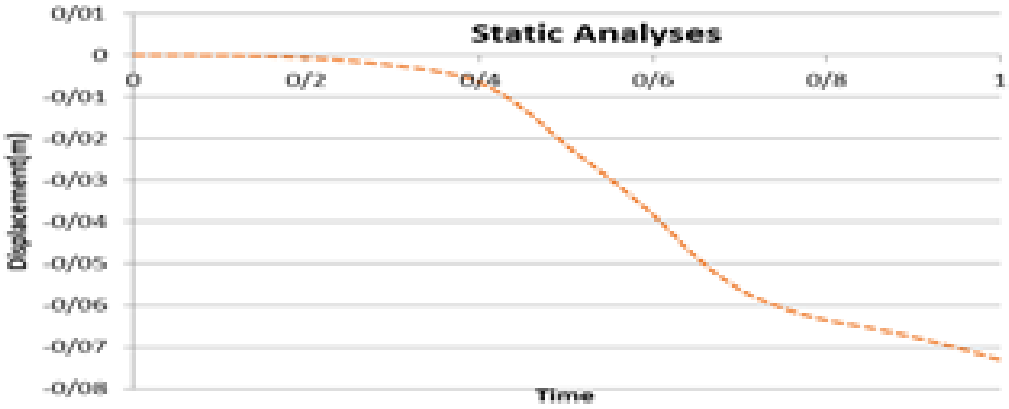
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل۱۱: کانتور جابجایی کلی بدنه تحت بار ثقلی



شکل۱۲: کانتور نشست بدنه تحت بار ثقلی



نمودار ۵:

نمودار نشست قائم بدنه تحت بار ثقلی

جدول ۳: جابجایی قائم و کلی مدل تحت آنالیز استاتیکی

	جابجایی قائم یا نشست (سانتیمتر)	جابجایی کلی (سانتیمتر)
آنالیز استاتیکی تاج سد تحت بار ثقلی	۱/۹	۹
آنالیز استاتیکی بدنه تحت بار ثقلی	۷/۲	۷/۳

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۶-۲ -بارگذاری زلزله:

تحلیلهای دینامیکی سازه سد در این مطالعه با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان در محل پی و به کارگیری محاسبات متعارف دینامیک سازه ها انجام می شود. شتاب زمین بر اساس شرایط شتاب نگاشتهای موجود تعیین می شود. شتابنگاشتها تنها در جهت افقی یا همان امتداد اصلی بدنه سد اثر داده می شوند. در این تحلیل میرایی خطی ۵٪ در نظر گرفته شده است.(α=1.0485 ,β=0.0018)

با توجه به مطالعات لرزه خیزی ساختگاه سد دز شتاب بیشینه زمین مطابق با جدول ۵ تخمین زده شده است. در مدلسازی ها جهت مدلسازی بار دینامیکی از زلزله شامل سه زلزله سطح پایه محتمل (Design Basis Level) در نظر گرفته شده است.

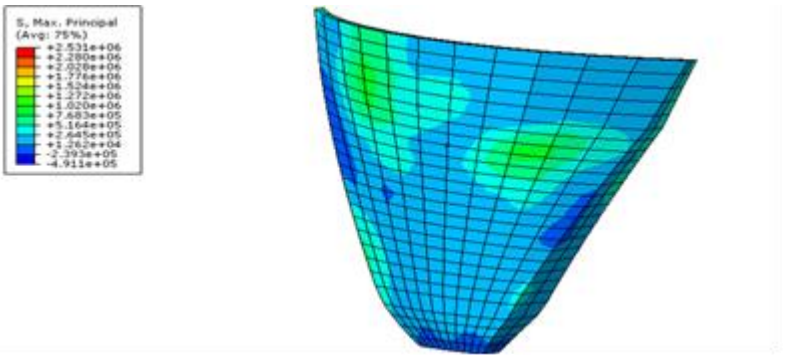
جدول ۴: شتاب‌های بیشنه سطح پایه طراحی در ساختگاه سد

شتاب بیشینه عمودی	شتاب بیشینه افقی	سطح زلزله
0.18 g	0.28 g	سطح پایه طراحی DBL

جدول ۵: خلاصه زلزله استفاده شده جهت مدلسازی های دینامیکیDBL

سطح زلزله موقعیت زلزله	بزرگی زلزله	بیشینه شتاب زلزله		
		افقی		عمودی
سطح پایه طراحی DBL- ناغان	6.1	0.163g	0.163 g	0.91 g

پس از اعمال بارگذاری شنابنگاشت زلزله ناغان بر روی سد بتنی قوسی دز تنش های کششی ایجاد شده در ادامه و در شکل ۱۳ آورده شده است.



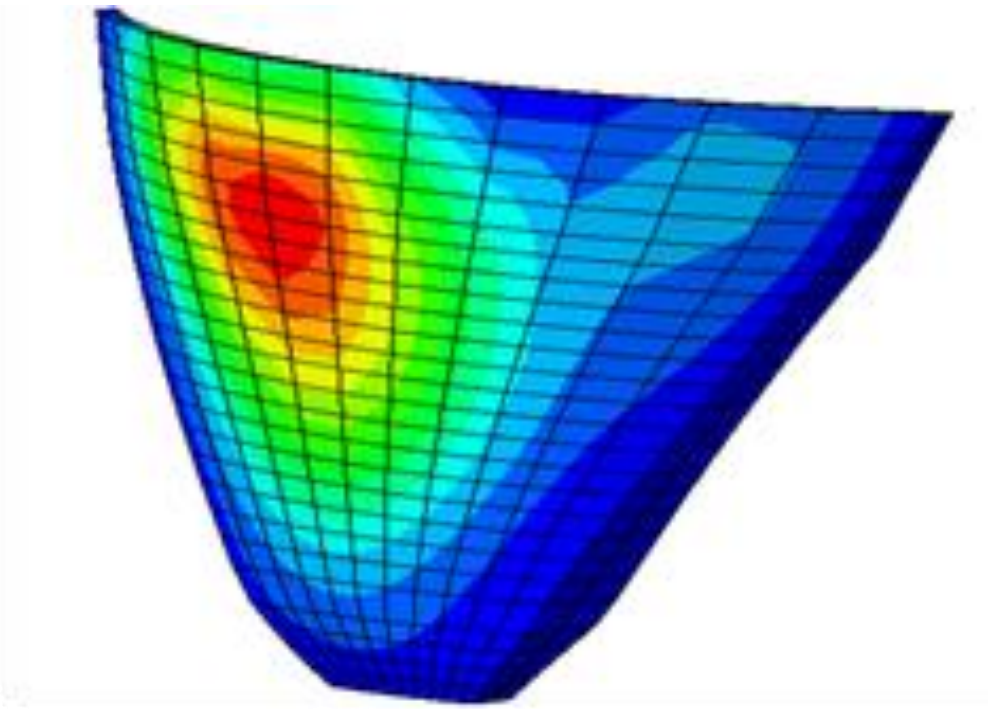
شکل ۱۴: کانتور تنش کششی تحت شتابنگاشتDBL

همان گونه که از شکل ۱۴ مشخص است میزان تنش در سطح میانی سد و در محل اندرکنش آب مخزن سد مشاهده می-گردد.

لذا این تنش در آشفتگی ایجاد شده در سد باعث بالا رفتن نیروهای درونی در سازه می¬گردد، این نیروها به صورت انباشته به سد وارد می¬شوند. بدیهی است که تنش¬هایی در سد به ازای این نیروها ایجاد می¬گردد. این تنش¬ها از میانه صفحه سد به کف و پایین دست ایجاد گشتاور و به کل سد انتقال می¬یابد. تنش¬های ایجاد شده در حالت کششی وقتی که از مقاومت کششی بتن فراتر می رود سبب ایجاد ترک خوردگی و آسیب می‌گردد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل۱۵: کانتور کلی جابجایی سد در تحت شتابنگاشت DBL- ناغان

۳-۷ -آسیب دیدگی سد بتنی قوسی:

در اثر اعمال این شتابنگاشت سطح پایه طراحی (DBL)مربوط به زلزله ناغان به سد مورد مطالعه، نیروی زلزله از کف به کل سازه وارد می¬گردد، این نیرو در سد بتنی قوسی ایجاد تنش¬های کششی و فشاری می¬نماید، ماهیت شتابنگاشت اعمالی شتاب است این شتاب در سازه جابجایی ایجاد می¬کند اما به دلیل مقید بودن سازه و اتصال آن به زمین در آن تنش های ایجاد شده باعث ایجاد جابجایی و کرنش می¬گردند. به دلیل این که با گذشت زمان شدت زلزله افزایش می¬یابد، تنش ها در سطح سد رشد کرده و کرنش ها از محدوده الاستیک به محدوده پلاستیک وارد می¬شوند ترک¬های ریز داخل بتن باعث کاهش سطح مقطع و متعاقبا افزایش تنش می¬گردند و ترک¬ها گسترش یافته و بزرگتر می¬شوند و سبب آسیب دیدگی های کلی در سد می گردد.

شکل ۱۶: جدول نتایج تحلیل

بیشترین جابجایی	جابجایی تاج
۸۹میلیمتر	۵۶ میلیمتر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۸ -تفسیر نتایج

قسمت مهمی از سدهای موجود در ایران را سدهای بتنی تشکیل می‌دهند. به طور کلی ارزیابی نتایج ارائه شده در این مقاله با توجه به تحلیل¬های انجام شده به صورت زیر ارائه می گردند. لازم به ذکر است که این نتایج عمومی نبوده و تنها با سازه مورد بررسی و رکورد زلزله به کار گرفته شده مرتبط هستند.

- شکست یک شکل مهم از تغییر شکل و خرابی در پهنه سازه های بتنی است. در جهت دقت در پیش بینی رفتار شکست، اغلب لازم است تا تحلیل المان محدود صورت گیرد.

- رفتار لرزه¬ای سدهای بتنی، با درنظرگرفتن اندرکنش سد-دریاچه و پدیده‌های غیرخطی مانند ترک خوردگی و رفتار غیرخطی مصالح بتن، توسط تکرار تحلیل خطی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا روش تکرار تحلیل خطی به گونه ای تغییر یافته است که اثرات پدیده‌های مذکور در رفتار لرزه¬ای سدها لحاظ شود. بررسی نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که روش مذکور می تواند برای تحلیل¬های اولیه و نیز ارزیابی ایمنی سدهای موجود مفید واقع شود.

- تحلیل‌های انجام شده روی سد دز، بیانگر تجمع تنش کششی اصلی در گردن سد(در محل تغییر شیب در پایین دست و تقریبا روبروی آن در بالادست) می باشد، که نتایج تحلیل به صورت دقیق‌تر نتایج فوق را تائید می-نماید.

- مقادیر تنش‌ها در محل تمرکز در تحلیل‌ها غیرخطی، تجاوز از محدوده خطی را نشان می¬دهد و ترک در این نواحی انتظار می‌رود.

- تحلیل‌های غیرخطی، شروع ترک از محل تغییر شیب در پایین دست را تایید کرده و این ترک پس از تمایل به گسترش در وجه مقابل(بالادست) نیز ترک خوردگی آغاز می‌گردد.

- با مطالعه نتایج می‌توان به این نکته رسید که بیشترین آسیب‌های وارده به سد دز در زلزله منجیل بوده است و علت آن را می توان به قوی تر بودن این زلزله مرتبط دانست.

میزان تنش در گوشه‌های سد و در محل اتصال سد به زمین و در قسمت پایین دست بیشنه مقدار را دارد و آشفتگی ایجاد شده در سد باعث بالا رفتن نیروهای درونی در سازه می‌گردد، این نیروها به صورت انباشته به سد وارد می‌شوند. بدیهی است که تنش‌هایی در سد به ازای این نیروها ایجاد می‌گردد. این تنش‌ها در کف و پایین دست ایجاد گشته و به کل سد انتقال می یابد. تنش‌های ایجاد شده در حالت کششی وقتی که از مقاومت کششی بتن فراتر می‌رود سبب ایجاد ترک خوردگی و آسیب میگردد .

- مدل دارای ۵ مرحله بارگذاری وزنی علاوه بر شرایط مناسب تنش در تکیه گاه ها دارای شرایطی نزدیک به واقعیت است. بیشترین جابجایی ایجاد شده در تاج سد در اثر اعمال زلزله به بزرگی ۷,۳ ریشتر مربوط می¬شود که به میزان ۱۴۰ میلیمتر است که خود معرف شدت آسیب دیدگی‌ها در اثر اعمال این بارگذاری در سد دز می باشد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۹ -منابع و مراجع

(1)جباری،م،م- "جزوه اصول مهندسی سد" ، انتشارات دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات فارس-۱۳۹۰

(2)مهدوی نژاد سیامک -۱۳۸۸-"مهندسی سد"- انتشارات دریای اندیشه

(3)گزارش شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس در زمینه سد کارون ۳-۱۳۸۵

(4)عمو شاهی،محسن ۱۳۸۶ "آسیب شناسی سدهای بتنی تحت اثر بارهای مختلف با تکیه به بار زلزله".پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

(5)مردفکری،مریم ۱۳۸۵ "کاربرد تحلیل های ساده شده ی غیر خطی در سدهای بتنی وزنی، پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه تهران

(6)آنالیز عددی–دیوید کینکید–وارد چنی–فائزه توتونیان–منصوره صائمی–انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد – ۱۳۸۱

(7)اصغر کرایه‌چیان-"محاسبات عددی برای دانشجویان علوم و مهندسی"- ناشر: رواق مهر-۱۳۸۸

(8)محمدرضا مرادی مقدم-۱۳۸۹-" اثر فونداسیون در رفتار لرزه ای سدهای بتنی قوسی با در نظر گرفتن اندرکنش سد و دریاچه"- مجله فنی مهندسی دانشگاه شریف

(12)ICOLD bulletin 99 (1995)"Dam Failures,Statistical Analysis"

(13)P. Novak, A.I.B. Moffat and C. Nalluri-2005-"Hydraulic Structures"-Fourth Edition-Taylor and Francis publishment.

(14)ENGINEERING GUIDELINES FOR THE EVALUATION OF HYDROPOWER PROJECTS-1999-Chapter 11-Arch Dams"- Federal Energy Regulatory Commission Division of Dam Safety and Inspections Washington, DC 20426. ABAQUS, (2007). "Finite (15)element method software documentation.", Release 6.10. Chong-Shien Tsai-1988-"An Improved Solution Procedure to the Fluid-structure Interaction Problem as Applied to the (16)Dam-reservoir System"-State University of New York at Buffalo Publisher.

(۱۷)James H. McGrew - 2009 - "Basic Practice Series: FERC (Federal Energy Regulatory Committee)"- American Bar Association; 2nd Edition edition.