

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سد بتنی قوسی کارون ۳ تحت شتابنگاشت زلزله طبس

مصطفی نادری سورکی^۱، حسن کیامنش^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

^۲ استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

مصطفی نادری سورکی

Mostafa.naderi.soorki@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین خطراتی که پایداری یک سد بتنی را تهدید می‌کند و حتی ممکن است منجر به شکست سد و به خطر افتادن جان انسان‌های بسیاری گردد، ایجاد ترک در بدنه سدهای بتنی و رشد و توسعه آن در جهات مختلف است. این ترک‌ها باعث نفوذ آب به درون بدنه سد شده و با ایجاد فشار اضافی در داخل بدنه، منجر به گسترش ترک گردیده و در نهایت لغزش قطعات جدا شده سد را به دنبال خواهد داشت. بنابراین یکی از نکات بسیار مهم در طراحی و تحلیل سدهای بتنی، پیش‌بینی محل وقوع ترک و یافتن راه‌حلهایی جهت جلوگیری از تخریب سد در اثر این پدیده می‌باشد. در این پژوهش، هدف، شناسایی نقاطی در بدنه سد بتنی قوسی می‌باشد که دارای بیشترین تنش کششی بوده و به طبع آن مستعد ایجاد ترک می‌باشند. در همین راستا سد بتنی قوسی کارون ۳ در این پژوهش به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در این تحقیق، ابتدا بدنه سد در نرم‌افزار اجزای محدود Ansys مدل‌سازی شده و پس از آن آنالیز تاریخچه زمانی سازه تحت شتابنگاشت زلزله طبس انجام شد. در نهایت با بررسی دقیق پاسخ تنش‌های بدنه سد، مکان‌های بحرانی از نظر وجود بیشترین تنش‌های کششی شناسایی شد.

واژگان کلیدی: سد بتنی قوسی، سد کارون ۳، تحلیل تاریخچه زمانی، ترک

مقدمه

ترک خوردگی سد می‌تواند در صورت پیشرفت، موجب شکست سد و عواقب جبران ناپذیر مالی و جانی حاصل از آن شود. با توجه به حساسیت موضوع ترک خوردگی در سدهای بتنی، نیاز به انجام یک آنالیز کامل و دقیق در مورد رفتار ترک در سد بتنی قوسی کارون ۳ به عنوان یکی از بزرگترین و مهم‌ترین سدهای کشور با استفاده از روش‌های جدید و پیشرفته احساس می‌گردد.

۱. ساخت مدل

در این پژوهش جهت تحلیل ترک و بررسی روش مکانیک شکست، سد بتنی دوقوسی کارون ۳ به عنوان نمونه انتخاب شده است. این سد با توان تولید ۱۲۰۰ مگاوات ساعت برق، بزرگترین پروژه برق آبی کشور است. این سد از نوع بتنی دوقوسی نازک به ارتفاع ۲۰۵ متر می‌باشد که بر روی رودخانه کارون در استان خوزستان احداث شده است. مشخصات کلی سد کارون ۳ در جدول ۱ قابل مشاهده است. در این مرحله می‌بایست ابتدا هندسه سد ترسیم شده و سپس مشخصات مصالح آنها به نرم‌افزار معرفی شود.

۲. ایجاد هندسه مدل

جهت ترسیم هندسه سد ابتدا با استفاده از اطلاعات مربوط به قوس‌های افقی سد کارون ۳ در ترازهای مختلف که از نقشه‌های سد بدست می‌آیند، شمای کلی سد ترسیم شده و سپس حجم‌های بین این قوس‌ها ایجاد شد.

جدول ۱: مشخصات کلی هندسه سد کارون ۳ (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱)

نوع سد	بتنی دوقوسی
ارتفاع سد	۲۰۵ متر
ضخامت تاج سد	۵٫۵ متر
ضخامت پایه سد	۲۹٫۵ متر
تراز تاج سد	۸۵۰ متر از سطح دریا
تراز پایه سد	۶۴۵ متر از سطح دریا
طول تاج	۳۸۸ متر
تراز آب در حالت نرمال	۸۴۵ متر از سطح دریا
حجم مخزن	۲۷۵۰ میلیون مترمکعب

۳. خصوصیات مصالح سد

خصوصیات مصالح بتنی بکار رفته در بدنه سد در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

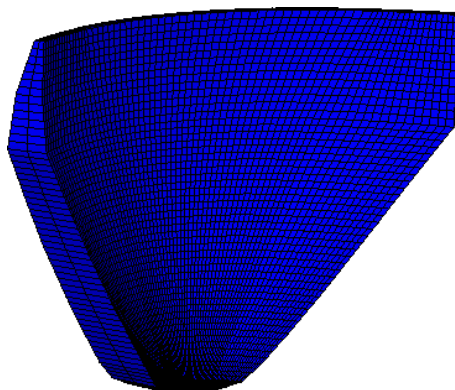
جدول ۲: خصوصیات مصالح سد (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱)

وزن مخصوص بتن	۲۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب
مدول الاستیسیته بتن	$۱۰^9 \times ۲,۳۶$ کیلوگرم بر مترمربع
ضریب پواسون بتن	۰,۲

۴. مش بندی سد

سد مورد نظر دوقوسی بوده و در هر دوجبهت دارای انحنا می‌باشد. به همین دلیل، جهت مش بندی آن می‌بایست از المان‌های با اضلاع خمیده استفاده کرد. المان مورد استفاده در مش بندی سد Solid95 بوده که یک المان ۲۰ گرهی ۳ بعدی می‌باشد که جهت المان بندی مدل‌های نامنظم بدون کاهش دقت از آن استفاده می‌شود.

پس از معرفی و اختصاص دادن المان‌های مربوط به سد، مش بندی مدل صورت گرفت. جهت بدست آوردن سائز بهینه المان ابتدا از یک سائز بزرگ شروع کرده و تنش در یک نقطه بدست آورده شد. سپس با کوچکتر کردن سائز المان‌ها، تغییرات در تنش آن نقطه بررسی شد. سائز بهینه به این صورت بدست آمد که دیگر تغییرات محسوسی در شدت تنش ایجاد نشد. در نهایت مش بندی با طول اضلاع المان ۵ متری به عنوان بهینه‌ترین المان بندی انتخاب شد که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱: مدل مش بندی شده سد

۵. اعمال بارگذاری و شرایط مرزی

برای انجام آنالیز دینامیکی و تعیین تنش‌های ایجاد شده در بدنه سد، بارگذاری دقیق سد از اهمیت زیادی برخوردار است. نیروهای مختلفی ممکن است در طول عمر یک سد قوسی به آن وارد شوند که طبق آیین نامه USACE و ترکیب بار فوق‌العاده در حالت آنالیز دینامیکی سدهای قوسی، بارهایی که دارای اهمیت می‌باشند و باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: بار مرده، فشار هیدرواستاتیکی در تراز نرمال دریاچه و نیروی زلزله که در ادامه به بررسی هریک از این نیروها پرداخته شده است.

- نیروی وزن سد (بار مرده)

بار مرده با توجه به وزن مخصوص مصالح به کار رفته شده در بدنه سد و همچنین معرفی شتاب ثقل به میزان ۹,۸۰۶ متر بر مجذور ثانیه به نرم‌افزار، به بدنه سد وارد می‌شود.

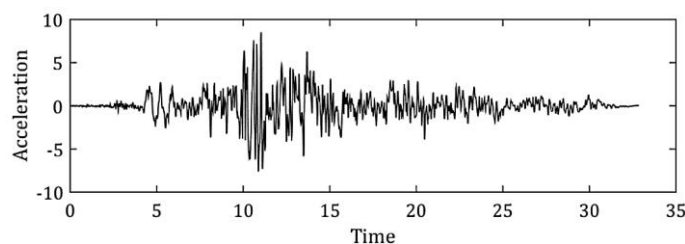
- نیروی ناشی از فشار آب سرآب و پایاب

فشار آب وارده بر سدها از قانون فشار هیدرواستاتیکی محاسبه می‌گردد که بر اساس آن فشار وارده بر هر نقطه و هر عمقی از سد، معادل ارتفاع آب واقع در بالای آن نقطه ضربدر وزن مخصوص آب می‌باشد که به صورت عمود بر سطح تاثیر می‌نماید. در این پژوهش فشار آب وارد شده به سطوح بالادست و پایین دست با اعمال یک تابع به صورت رابطه ۱ به سد وارد شده است.

$$P(y) = \gamma_w \cdot y \cong 1000y \quad (1)$$

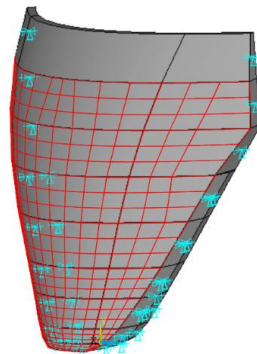
- نیروی زلزله

بار زلزله با معرفی اطلاعات مربوط به شتابنگاشت زلزله طیس به نرم‌افزار بر روی سازه مدل شده است. در شکل ۲ شتابنگاشت زلزله اعمالی به مدل (زلزله طیس) در جهت افقی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که محاسبات در جهت افقی در راستای ضخامت سد (z) به سازه وارد شده است.



شکل ۲: شتابنگاشت زلزله طیس در جهت افقی

شرایط مرزی نیز به این صورت اعمال شد که کلیه جابجایی‌های کناره‌ها و زیر سد که در تماس با تکیه‌گاهها و پی می‌باشند بسته شد. اثر اندرکنش سازه و سیال نیز با دستور موجود در نرم‌افزار انسیس به سد اعمال شد. در شکل ۳ شمای اعمال شرایط مرزی و اثر اندرکنش سازه و سیال قابل مشاهده است.



شکل ۳: شمای اعمال شرایط مرزی و اثر اندرکنش سازه و سیال

۶. تحلیل مدل

همانطور که پیش از این بیان شد، در این تحقیق جهت تعیین نقاط بحرانی سد از نظر تنش‌های کششی ماکزیمم به انجام یک آنالیز دینامیکی گذرا بر روی سد نیاز می‌باشد.

– مبانی آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی

به کمک این آنالیز که به آن آنالیز تاریخچه زمانی نیز می‌گویند، می‌توان به محاسبه پاسخ آنالیز دینامیکی یک سازه تحت تاثیر بارگذاری‌های وابسته به زمان پرداخت. در این آنالیز می‌توان به محاسبه جابجایی‌ها، کرنش‌ها، تنش‌ها، شتاب‌ها و نیروهای متغیر با زمان در یک سازه پرداخت.

معادله اساسی حرکت حل شده توسط یک آنالیز گذرا به شکل زیر می‌باشد:

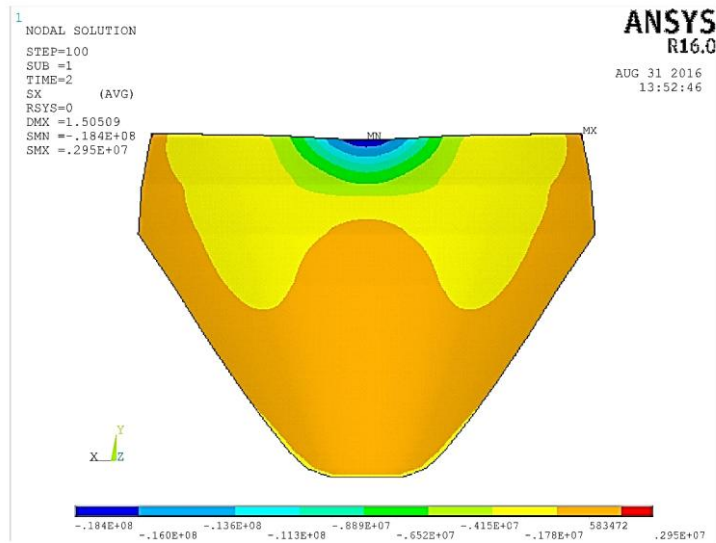
$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

که در آن:

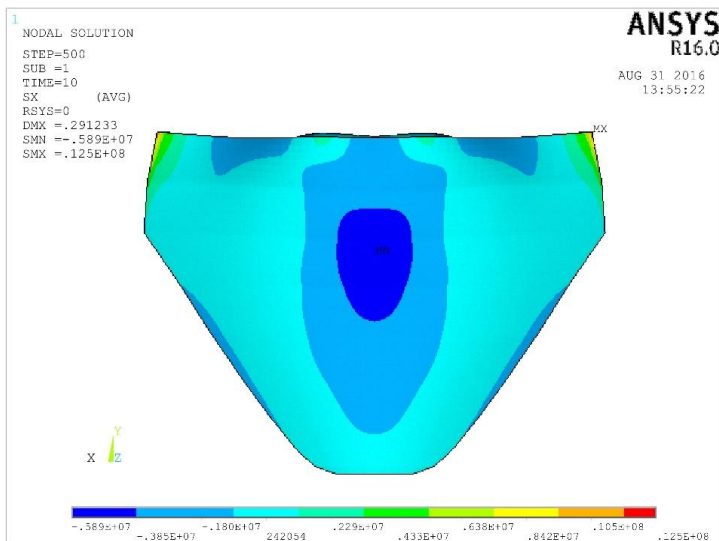
$[M]$: ماتریس جرم، $[C]$: ماتریس میرایی، $[K]$: ماتریس سختی، $\{\ddot{u}\}$: بردار شتاب گرهی، $\{\dot{u}\}$: بردار سرعت گرهی، $\{u\}$: بردار جابجایی گرهی، $\{F(t)\}$: بردار نیروی خارجی

۷. نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سد

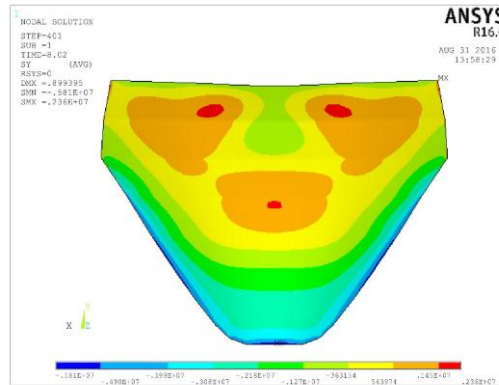
پس از انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سد، تحت شتابنگاشت زلزله طیس و بررسی خروجی‌های تحلیل، مشاهده شد که بدنه سد در طول زمان اعمال شتابنگاشت در نقاط مختلف خود دچار تنش‌های کششی شده است. در شکل‌های ۴ تا ۸ توزیع تنش‌ها در بدنه سد در بحرانی‌ترین حالات در جهات مختلف نشان داده شده است. همانطور که از این شکل‌ها قابل مشاهده است، بحرانی‌ترین نقاط از نظر تنش‌های کششی نقاط آبی تیره که شامله: ناحیه‌ی میانی تاج سد، میانه سد، کناره‌ها و نزدیک کف سد می‌باشند.



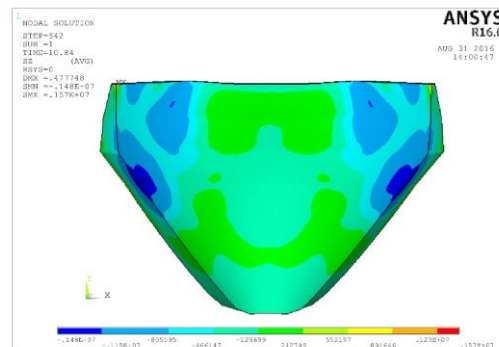
شکل ۴: تنش ها در جهت x در ثانیه ۲



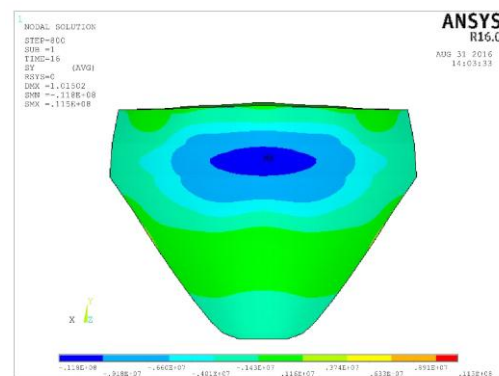
شکل ۵: تنش ها در جهت x در ثانیه ۱۰



شکل ۶: تنش ها در جهت y در ثانیه ۸.۰۲



شکل ۷: تنش ها در جهت z در ثانیه ۱۰.۸۴



شکل ۸: تنش ها در جهت y در ثانیه ۱۶

۸. بحث و نتیجه گیری

پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی بر روی مدل سد کارون ۳ و بررسی پاسخها و نتایج تحلیل نشان داده شد که سازه سد در تحلیل تاریخچه زمانی و تحت زلزله طبس در لحظات مختلف دچار تنشهای کششی در نقاط مختلف خود می شود. بحرانی ترین نقاط از نظر تنشهای کششی که در طول تحلیل تاریخچه زمانی در اغلب مکانها دارای تنشهای کششی می باشند، ناحیه میانی تاج سد، میانه سد، کنارهها و نزدیک کف سد می باشند

منابع و مراجع

- [۱] رحیمیان، محمد؛ آرزو امدادی و نیکلاس علی لیبر، ۱۳۸۳، تحلیل ترک خوردگی تیر بتنی با استفاده از مکانیک شکست غیرخطی و به روش ترک پخشی، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه شریف، عمران.
- [۲] بینا، کیوان؛ جلیل ابریشمی و محمدرضا اصفهانی، ۱۳۸۴، تحلیل رشد و گسترش ترک در سد بتنی وزنی به روش مکانیک شکست، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [۳] اعلائی اندبیلی، سیدعلی؛ سیدجواد حسینی و نبرد حبیبی، ۱۳۹۱، بررسی عددی و تحلیلی اثر زاویه ترک و نسبت تنش بر روی نرخ رشد ترک خستگی در مخازن جدار نازک، چهاردهمین همایش صنایع دریایی، تهران، انجمن مهندسی دریایی ایران.
- [۴] محمودیان شوشتری، محمد و پوریا صادقی چیکانی، ۱۳۹۲، آنالیز لرزه ای غیرخطی سدهای بتنی وزنی مشتمل بر اندرکنش سد و مخزن با تکیه بر معیارهای پایداری، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- [۵] رضایی آذریانی، حسین و کیوان بینا، ۱۳۹۳، تحلیل ترک در سدهای بتنی (به روش مکانیک شکست)، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری.
- [۶] حبیبی، نبرد و رضا مرادی خواه، ۱۳۹۴، اثر فشار داخلی و نحوه ی توزیع ماده برضریب شدت تنش در مخازن استوانه ای تحت فشار از جنس مواد تابعی مدرج، دومین کنفرانس ملی نفت، گاز، پتروشیمی و توسعه پایدار، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- [7]- Hellan, K., 1985. Introduction to fracture mechanics. In: Eichberg M. (Ed.). International Student Edition, Singapore, pp. 22.
- [8]- Saxena, A., 2007, Role of nonlinear fracture mechanics in assessing fracture and crack growth in welds, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 74, Issue 6, pp. 821–838.
- [9]- Gozin, M., Aghaie, M., 2012, 2D and 3D finite element analysis of crack growth under compressive residual stress field, International Journal of Solids and Structures, Vol. 49, Issues 23–24, pp. 3316–3322
- [10]- Chambela, P., Martinsa, R., Reisb, L., 2014, Fatigue Crack Growth under Mode I, II and III for Plane-strain and Plane-stress Conditions, Procedia Engineering, Vol. 74, pp. 232–235
- [11]- Zhang, X., Robert, G. Jeffrey, B., 2015, Mechanics of edge crack growth under transient pressure and temperature conditions, International Journal of Solids and Structures, Vol. 69–70, pp. 11–22