

The effects of strain rate on nonlinear seismic behavior of concrete gravity dam

Sara Saemi *

PhD student, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Amir Javad Moradloo

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*Corresponding author's email address:

Sara.saemi@znu.ac.ir

How to cite this article:

Sara Saemi, Amir Javad Moradloo, The effects of strain rate on nonlinear seismic behavior of concrete gravity dam, Journal of Engineering and Construction Management (JECM), 2024, 8(2): 54-58.

Abstract

In this study, the effects of strain rate on nonlinear seismic behavior of concrete gravity dam are presented using the plastic damage model. The compressive strength, tensile strength and fracture energy are important parameters for identifying and describing the concrete behavior. In dynamic loading, these parameters are affected by the strain rate. The plastic damage model uses isotropic tensile failure as well as anisotropic compression plasticity to express non-linear behavior of concrete and can be sensitive to strain rate. The complete fluid-structure interaction was considered in the analyses. The damage patterns, displacement and stress distribution, and their time histories are investigated by considering the effects of strain rate on the nonlinear seismic behavior of dam. The deduce results indicates that pattern of cracking and distribution of displacement, stress and strain will change considering strain rate.

Keywords

Concrete Gravity Dam, Dynamic Analysis, Strain Rate, Plastic Damage Model.

بررسی اثرات نرخ کرنش در بتن حجیم بر رفتار لرزه‌ای غیرخطی سدهای بتنی وزنی

سارا صائمی*

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

ایران

امیر جواد مرادلو

دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

ارجاع به مقاله:

سارا صائمی، جواد مرادلو، بررسی اثرات نرخ کرنش در بتن حجیم بر رفتار لرزه‌ای غیرخطی سدهای بتنی وزنی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۲، ۸(۲): ۵۴-۵۸.

چکیده

در این مطالعه بررسی اثرات نرخ کرنش بر رفتار لرزه‌ای غیرخطی سدهای بتنی وزنی با استفاده از مدل پلاستیسیته آسیب بتن ارائه شده است. مقاومت فشاری، کششی و انرژی شکست پارامترهای مهمی برای شناسایی و توصیف عکس العمل بتن می باشند. در بارگذاری دینامیکی این پارامترها متاثر از نرخ کرنش می باشند. این مدل از مفاهیم الاستیسیته خرابی همسانگرد به همراه پلاستیسیته فشاری و کششی همسانگرد برای بیان رفتار غیرخطی بتن استفاده میکند و میتواند آن را حساس به تغییرات نرخ کرنش تعریف کرد. اندرکنش کامل آب و سازه در تحلیل‌ها مد نظر قرار گرفته است. الگوهای آسیب، توزیع تغییر مکان‌ها، تنش‌ها و تاریخچه زمانی آنها با احتساب اثرات نرخ کرنش بر رفتار غیرخطی سد بررسی شده است، که نشان دهنده کاهش تنش‌ها در شکستگی گردن سد در وجه پایین دست و همچنین تغییر مکان تاج سد در بالادست می باشد که تأثیرات نرخ کرنش بر روی تغییر مکان کم بوده است.

کلمات کلیدی

سدبتنی، بارگذاری دینامیکی، نرخ کرنش، مدل پلاستیسیته آسیب

۱- مقدمه

انگیزه توصیف رفتار بتن، رایج ترین مصالح ساختمانی در سراسر جهان به دلیل مقاومت و دوام خوب آن است. اقتصاد، کارایی، سختی و مقاومت بتن باعث شد که در سازه های مهندسی و مهندسی نظامی استفاده شود. پارامترهای دینامیکی خواص بتن مقاومت های کششی و فشاری دینامیکی، مدول الاستیسیته دینامیکی و انرژی شکست دینامیکی در طراحی و مدلسازی این سازه ها به دلیل اینکه همواره تحت بارگذاری دینامیکی مانند ضربه، بار انفجار، انفجار و زلزله و غیره قرار می گیرد، مورد نیاز می باشد. در سازه های بتنی رفتار تحت بارگذاری دینامیکی به دلیل حساسیت قابل توجه بتن به نرخ

بارگذاری بسیار پیچیده است. بر اساس مرور تجربیات آزمایشگاهی و مطالعات عددی نشان داده شده که درک رفتار دینامیکی بتن متناقض است. در جامعه علمی تأثیر نرخ کرنش در مقاومت کششی و انرژی شکست هنوز در حال بحث است. تا به امروز هیچ آزمایش استاندارد شده ای و هیچ روش عمومی پذیرفته شده برای اندازه گیری انرژی شکست و مقاومت در برابر بارگذاری دینامیکی وجود ندارد که دلیل اصلی آن محدودیت فنی در بدست آوردن داده های تجربی در بارگذاری دینامیکی می باشد. در بسیاری از این مطالعات روابط ساختاری مختلف برای بتن استفاده شده است به عنوان مثال: پلاستیسیته، میکروتکرک پلین ها، سخت شدگی ویسکوزیته، ویسکوپلاستیسیته، آسیب وابسته به نرخ و غیره.

¹ microcrack planes



8 (2), 2024

دوره ۸، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۲

دوفصلنامه پژوهشی



علاوه بر این بیشتر این مطالعات معمولاً تنها در مورد تفاوت بین رفتار مکانیکی تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی مانند مقاومت کششی و انرژی شکست انجام می‌شود. همه این مدلها از فرمولهای ساده تر برای DIF ضریب افزایش دینامیکی، که براساس نتایج بدست آمده آزمایشگاهی محاسبه شده است و به طور مستقیم با قوانین ساختاری در مصالح برای تطبیق بهتر نتایج آزمایشگاهی ترکیب می‌شود، استفاده کرده اند. همچنین برخی از مدلهای فوق فقط دامنه محدودی از بارگذاری را در برمی گیرند [1].

بارپی [2] گزارش کرد که ویسکوزیته یکی از دلایل افزایش DIF ضریب افزایش دینامیکی است. او مدلی مبتنی بر ویسکوپلاستیسیته پیشنهاد داد، که پارامتر ویسکوزیته را به عنوان تابعی از نرخ کرنش بیان کرد. به طور مشابه هنتز و همکاران [3] به این نتیجه رسیدند که مقاومت کششی دینامیکی براساس آزمایش Spalling نشان دهنده رفتار ذاتی مادی در بتن (تاثیرات نرخ کرنش) است. اخیراً یک مطالعه کامل بر روی شکست دینامیکی در بتن با استفاده از مدل ساختاری Micro planes انجام شده است. از بولت و همکاران [4] افزایش مقاومت عناصر ساختاری بر پایه مقاومت کششی در بتن، مانند کشیدن بولت از بلوک بتنی و با آزمایش کشش مستقیم را به طور عمده مرتبط به اثرات اینرسی دانستند. در مورد فشرده سازی نمونه کششی از بولت و همکاران [5] تایید کردند که، افزایش پیشرونده مقاومت به دلیل اینرسی تولید شده در نوک ترک میباشد، که باعث گسترش ترک و منجر به افزایش تدریجی مقاومت می‌شود و همچنین نشان داده شده است که افزایش مقاومت کششی واقعی و انرژی شکست در مقیاس نیمه لگاریتمی با افزایش نرخ کرنش تقریباً خطی است. افزایش خطی توسط قوانین ساختاری (اینرسی در مقیاس خیلی کوچک و تاثیرات ویسکوزیته) کنترل می‌گردد در حالی که افزایش پیشرونده به طور خودکار در تحلیل المان محدود بدست آید.

اخیراً از تکنیک میله فشار هاپکینسون (SHPB) اختراع شده توسط هاپکینسون در سال ۱۹۰۸، که روش مورد علاقه برای اندازه گیری مقاومت کششی بتن برای نرخ کرنش بین 0.1s تا 100s استفاده میشود حتی نرخ کرنش بالاتر از 20 تا 200 را میتوان با SHPB اصلاح شده مورد آزمایش قرار داد. ملینگر و بیرکیم [6] آزمایشی بر روی استوانه بتنی ساده تحت بارگذاری ضربه با استفاده از روش spalling در نرخ کرنشهایی 0.57×10^{-6} st انجام داده اند و بدست آوردند که مقاومت کششی دینامیکی پنج برابر مقاومت استاتیکی می‌باشد. بیرکیم [7] در دکتری خود آزمایش ضربه را بر روی استوانه بتن ساده را در نرخ کرنش بین 2s تا 23s انجام داد. برای این محدوده نرخ کرنش، مقدار DIF ضریب افزایش دینامیکی از حدود 2/5 تا 6 متغیر است. روسی و همکاران [8] نیز آزمایشاتی بر روی میله هاپکینسون انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مقدار DIF ضریب افزایش دینامیکی 1/4 در بتن خشک و 2/1 برای بتن مرطوب تحت تاثیر اثرات نرخ بارگذاری در آزمایش کششی تک محوره می‌باشد. که دلیل تفاوت آن را به دلیل حضور آب آزاد

در بتن برای حداقل نرخ بارگذاری تا 80 Gpa بدست آوردند. زلینسکی و رین هاردت [9] از میله هاپکینسون قطعه شده برای بررسی رفتار تنش-کرنش کششی در نرخ های تنش تا 30 Gpa/s استفاده کردند. آنها پی بردند که افزایش قابل توجه مقاومت کششی در نرخ های کرنش بالا به علت گسترده شدن میکرو ترک ها در حجم کل نمونه بتنی می باشد. همچنین دریافتند در مواردی که بارگذاری بسیار بالاست از آنجایی که انرژی زیادی در سیستم به مدت کوتاهی وارد می شود. ترک ها مجبور هستند در طول مسیر کوتاهتر از مقاومت بالاتر یعنی سیمان قوی تر و از داخل سنگدانه ها عبور کنند. شولر و همکاران [10] آزمایش spalling را بر روی استوانه بتنی در نرخ کرنش بالا در حدود 10 s تا 100 s انجام داده اند که برای این محدوده نرخ کرنش DIF مقاومت کششی بین 4 تا 5/5 مشاهده شده است. ویرهایم و همکاران [11] آزمایش میله هاپکینسون را برای مطالعه مقاومت کششی بتن انجام داده اند که مقدار DIF برای ماکزیمم نرخ بارگذاری در حدود 1000 GPa (22/5 s ~ 5.3) بدست آوردند. هائو و همکاران [12] برای شبیه سازی آزمون کشش مستقیم در این مطالعه از مدل بتن به صورت میان مقیاس^۲ که متشکل از ملات سیمان، مصالح و ناحیه انتقال (ITZ) در نظر گرفته شده، استفاده شده است. و همچنین در این شبیح سازی به تاثیرات نیروی جانبی و ناهمگنی بر مقاومت کششی بتن در نرخ کرنش بین 1 s تا 150 sl پرداخته شده است در نرخ کرنش بالا قطعه کاملاً خرد میشود و قابلیت جذب انرژی در آن افزایش یافته است. در نرخ کرنش پایین آسیب در ملات سیمان و سنگدانه ها اتفاق می افتد و در ملات سیمان منتشر میشود در نرخ کرنش بالا ترک در ملات سیمان گسترش نمی یابد اما انتشار از طریق سنگدانه ها ایجاد می شود، بنابراین اثر سنگدانه ها در نرخ کرنش بالا برجسته تر است.

۲- مدل پلاستیسیته خرابی بتن^۳

مدل پلاستیسیته خرابی بتن توانایی مدلسازی بتن و سایر مصالح شبه ترد در همه انواع سازه ها اعم از تیر ها، پوسته ها، و جامدها را دارد. این مدل از مفاهیم الاستیسیته خرابی همسانگرد^۴ به همراه پلاستیسیته فشاری و کششی همسانگرد برای بیان رفتار غیر خطی بتن استفاده می کند و می تواند برای مدلسازی بتن مسلح و غیر مسلح و کاربردهای که در آنها بتن تحت بارهای یکسویه^۵، چرخه ای^۶، و یا بارگذاری دینامیکی تحت فشار های محصورکننده گمی می باشد مورد استفاده قرار گیرد. این مدل متشکل از ترکیب پلاستیسیته چند سختی غیر همبسته^۷ و الاستیسیته خرابی اسکالر برای توصیف خرابی برگشت ناپذیر که در طی پروسه های شکست رخ می دهد، می باشد. به کاربر امکان کنترل بازیابی سختی را طی چرخه های بازگشت بار می دهد و می تواند حساس به تغییرات نرخ کرنش تعریف شود. همچنین این مدل نیازمند رفتار همسانگرد در محدوده الاستیک خطی مصالح می باشد. [13]

⁵ Monotonic

⁶ Cyclic

⁷ Noassociated multi-hardening plasticity

² mesoscale

³ Concrete damage

⁴ Isotropic damaged elasticity



8 (2), 2024

دوره ۸، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۲

دوفصلنامه پژوهشی



۳- پارامتر های dc و dt در مدل پلاستیسته آسیب

هنگامی که قطعه بتنی از هر نقطه بر روی شاخه نرم شدگی کرنشی نمودار تنش-کرنش، باربرداری ۸ می شود پاسخ تضعیف می شود. به نحوی که به نظرمی رسد سختی الاستیک اولیه مصالح دچار زوال شده است. زوال سختی الاستیک با دو متغیر خرابی کششی و فشاری d_c و d_t مشخص می شود که فرض می شود توابعی از کرنش های پلاستیک، ϵ_p و متغیر میدانی می باشند. متغیر های خرابی از صفر تا یک بیان عدم خرابی مصالح می باشد، تا یک که نشانگر از دست رفتن کلی مقاومت می باشد، تغییر می کنند. [14]

۴- وابستگی مقاومت کششی به نرخ کرنش

برای اندازه گیری مقاومت کششی بیش از یک آزمایش در طیف گسترده ای از نرخ های کرنش انجام شده است. وابستگی مقاومت کششی معمولاً با عامل افزایش دینامیکی (dif) بیان میشود که نسبت مقاومت دینامیکی به مقاومت استاتیکی می باشد. یکی از روابط معتبر مورد استفاده در مقالات به صورت زیر می باشد:

$$DIF = \begin{cases} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{\alpha} & \text{for } P > \frac{1}{3}f_c \quad (\text{compression}) \\ \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{\beta} & \text{for } P < \frac{1}{3}f_c \quad (\text{tension}) \end{cases} \quad (1)$$

که δ و α به ترتیب شاخص های نرخ کرنش در کشش و فشار که $0.36/0.32$ می باشد، کرنش اولیه ϵ در کشش و فشار $3e-6$ و $30e-6$ می باشد [15]

با افزایش نرخ کرنش، نمودارهای تنش-کرنش، رفتار غیرخطی کمتر و مقاومت های بیشتر نشان می دهند. سختی کششی می تواند به شکل تابع جدولی از نرخ کرنش ترک خوردگی (یا جابجایی) تعیین شده و اطلاعات سخت شدگی فشرلی می تواند به شکل تابع جدولی از نرخ کرنش غیر الاستیک تعیین شوند. [13]

۵- روابط مورد استفاده در بدست آوردن پارامتر های آسیب dc و dt

برای بدست آوردن پارامتر های dc و dt که در منحنی سخت شدگی فشاری و سختی کششی استفاده می شود میتوان از آزمایش های فشار تک محور و تست خمش چهار نقطه ای استفاده کرد. وانگ و چن (۲۰۰۶) یک تابع منفی مرتبه اول بین متغیر آسیب فشاری نرمال $D_{cnom} = d_c$ و کرنش غیر الاستیک فشاری نرمال ϵ_{cnom}^{in} به صورت زیر ارائه کردند. از این رابطه در مدل concrete damage در آباکوس که بتوان آسیب و تاثیرات نرخ کرنش را نشان داده شود، استفاده شده است [16].

$$D_{cnom} = A_0 e^{-\epsilon_{cnom}^{in}/t_0} + B_0 \quad (2)$$

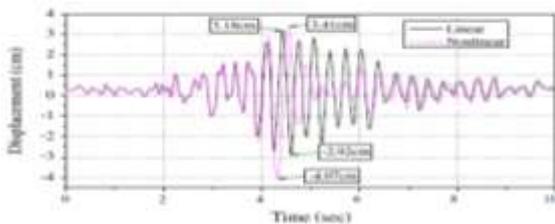
$$D_{tnom} = A_1 e^{-w_{tnom}/t_1} + B_1 \quad (3)$$

⁸ Unloading

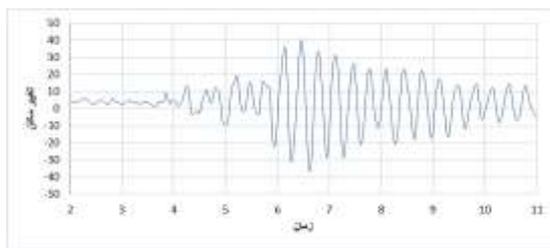
۶- مدلسازی سد کوینا

سد کوینا، یک سد وزنی با ارتفاع تقریبی ۱۰۳ متر و عرض پایه ۷۰ متر واقع بر رودخانه کوینا در کشور هندوستان می باشد. این سد در سال ۱۹۶۷ تحت زلزله ای شدید با بزرگی ۶/۵ قرار گرفت و دچار ترک خوردگی های گسترده می شود. نشت آب از بدنه سد زیاد شده و ترک های بر وجه بالادست و پایین دست آن مشاهده میشود. از آنجا که این سد از معدود سد های بتنی می باشد که تحت زلزله واقعی دچار ترک خوردگی شده است، مورد توجه بسیاری از محققین جهت تحقیقات گسترده بر روی رفتار غیر خطی بتن و دست یابی به پروفیل های واقعی ترک خوردگی سدهای بتنی تحت زلزله های واقعی بوده است. [13]

در ابتدا صحت سنجی این سد مطابق با مطالعه انجام شده توسط ژانگ و همکاران [17] در سال ۲۰۱۳ انجام داده که پارامتر های مصالح به شرح زیر در نظر گرفته شده است: مدول الاستیسیته Mpa ۳۱۰۰۰، ضریب پواسون ۰/۲، چگالی ۲۶۴۳، مقاومت کششی و فشاری به ترتیب Mpa ۲/۹ و ۲۴/۱، و فاکتور بزرگ نمایی دینامیکی برای مصالح را ۱/۲، نسبت میرای را ۵ درصد، ارتفاع آب مخزن ۹۶/۵ و طول مخزن را چهار برابر ارتفاع آب در نظر گرفته شده است. که با مقایسه تغییر مکان نقطه تاج سد در بالادست در میابیم که نتایج با صحت سنجی تطابق خوبی دارد.



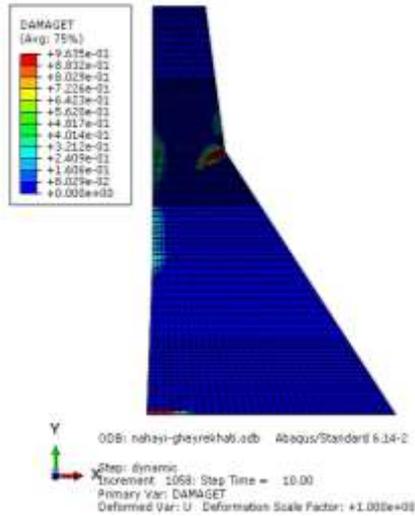
شکل ۱ تغییر مکان تاج سد در بالادست در مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)



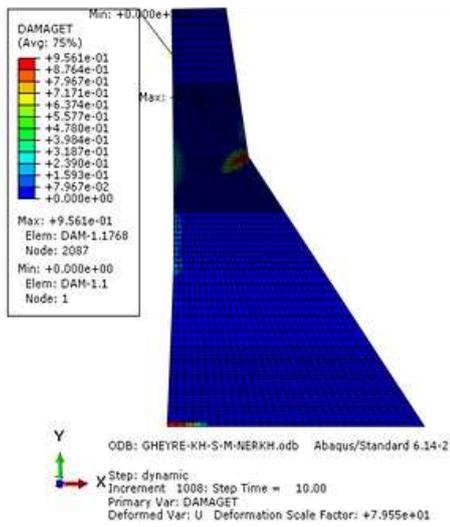
شکل ۲ صحت سنجی سد کوینا در تحلیل غیر خطی

۷- مقایسه نتایج تحلیل غیر خطی بدون در نظر گرفتن نرخ کرنش با در نظر گرفتن نرخ کرنش

به این علت که در عمل بلوک های سدهای بتنی وزنی به صورت مجزا از همدیگر اجرا میشوند، محدودیت کرنش جانبی برای بتن وجود ندارد لذا جهت انجام آنالیز ها بلندترین بلوک سطح در حالت تنش مسطح به عرض واحد در نظر گرفته میشود و جابجایی سد در

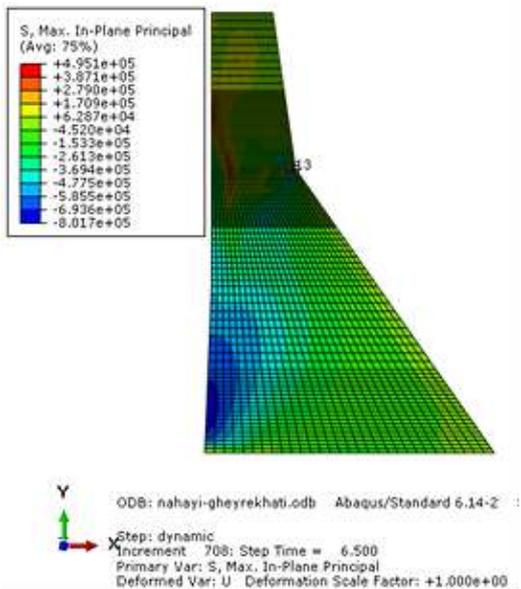


(الف)



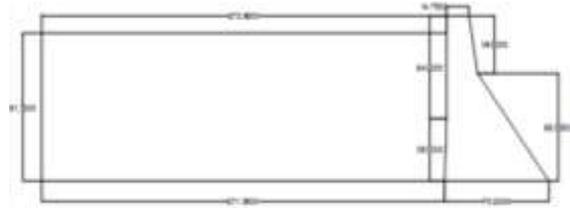
(ب)

شکل ۵ کانتور آسیب در حالت (الف) بدون احتساب نرخ کرنش (ب) با احتساب نرخ کرنش

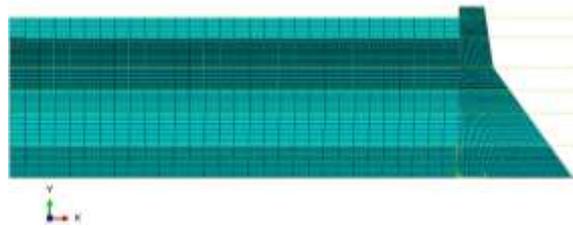


(الف)

جهت عمود بر صفحه مقید شده است. مدل سازی در حالت سد و مخزن روی پی صلب توسط نرم افزار ABAQUS انجام شده است. ابعاد هندسی سد و مخزن و مدل المان محدود مربوطه در شکل های ۳ و ۴ آورده شده ، که این ابعاد بر اساس مراجع انتخاب شده اند. که با توجه به آنها ارتفاع مخزن از ۹۱/۵ متر در هنگام زلزله انتخاب شده است . به منظور تحلیل های تاریخچه زمانی لازم است ضرایب میرایی رایلی α و β محاسبه شوند که با استفاده از تحلیل مودال مدل ها با فرض میرایی ۵ درصد برای مصالح بتن بدنه سد به ترتیب ۰/۹۸۵ و ۰/۰۱۲۳ بدست آمده است.



شکل ۳ ابعاد سد کوینا در مدل سازی تحلیل غیر خطی



شکل ۴ شبکه المان محدود در آباکوس

با توجه به اینکه ترک خوردگی در ناحیه گردن سد، گره ۱۳ به دلیل اینکه تنش کششی ماکزیمم ابتدا در آن نقطه ایجاد میشود، اتفاق می افتد در شکل ۵ در زمان بار دینامیکی با احتساب نرخ کرنش مشاهده میشود ترک خوردگی و آسیب کاهش یافته است که مقادیر آن در جدول ۱ آورده شده است. همچنین میکرو ترک ها در وجه بالادست کمتر شده است. با توجه به شکل ۶ که کانتور تنش اصلی را نشان می دهد ، با احتساب نرخ کرنش در زمان ماکزیمم جابجایی تاج سد ، تنش کششی در ناحیه گردن سد به سمت بالادست کاهش یافته است که نشانه کاهش تمرکز تنش در اطراف ترک خوردگی می باشد.

جدول ۱ پارامترهای محاسبه شده در دو مقطع

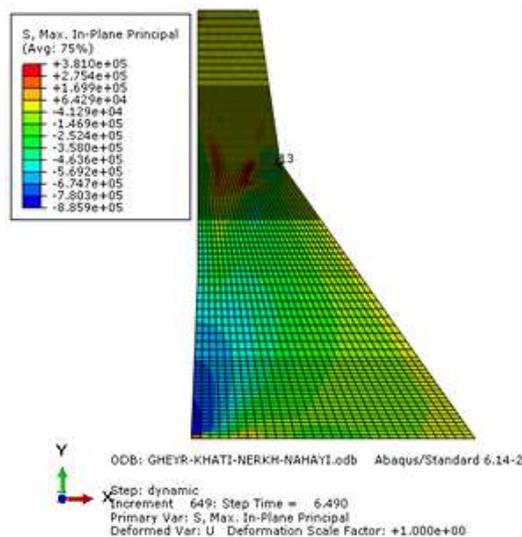
شماره گره	بدون نرخ کرنش	با نرخ کرنش
شماره ۱۳ (گردن سد)	۰/۹۶۳۴۷۴	۰/۹۵۷۲۵۶
ماکزیمم تنش اصلی کششی	-۵۴۴۴۱۹	-۴۹۲۶۳۸

۱۱- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی ای برخوردار نبوده است.

۱۲- مراجع

- [1] Bede, N.(2015), "numerical and experimental study of concrete fracture under dynamic loading," PhD thesis, University of RIJEKA.
 - [2] Barpi, F. (2004), "Impact behaviour of concrete: a computational approach," Eng Fract Mech, 71(15):2197-2213
 - [3] Hentz, S., Daudeville, L. and Donze, F.V.(2004), "Discrete element modelling of concrete submitted to dynamic loading at high strain rates," Computers and Structures, 82(29-30):2509-2524.
 - [4] Ožbolt, J., Rah, K.K., Meštrović, D.(2006), "Influence of loading rate on concrete cone failure," Int J Fract, 139:239-252.
 - [5] Ožbolt, J., Sharma, A., Irhan, B., Sola, E.(2014), "Tensile behaviour of concrete under high loading rates," Int J Impact Eng, 69:55-68
 - [6] Mellinger, F.M., Birkimer, D.L.(1966), "Measurement of stress and strain on cylindrical test specimens of rock and concrete under impact loading," Technical Report 4-46, US Army Corps of Engineers, Ohio River Division Laboratories, Cincinnati, Ohio.
 - [7] Birkimer, D.L.(1968), "Critical normal fracture strain of Portland cement concrete," PhD thesis, University of Cincinnati.
 - [8] Rossi, P., van Mier, J.G.M., Toutlemonde, F., Le Maou, F., Boulay, C.(1994), "Effect of loading rate on the strength of concrete subjected to uniaxial tension," Mater Struct 1994, 27(5):260-264
 - [9] Zielinski, A.J., Reinhardt, H.W.(1982), "Stress strain behaviour of concrete and mortar at high rates of tensile loading," Cem Concr Res, 12(3):309-319.
 - [10] Schuler, H., Mayrhofer, C., Thoma, K.(2006), "Spall experiments for the measurement of the tensile strength and fracture energy of concrete at high strain rates," Int J Impact Eng, 32(10):1635-1650.
 - [11] Weerheijm, J., Van Doormaal, J.C.A.M.(2007), "Tensile failure of concrete at high loading rates: new test data on strength and fracture energy from instrumented spalling tests," Int J Impact Engng, 34(3):609-626
 - [12] Hao, Y., H. Hao, and X. H. Zhang(2012), "Numerical analysis of concrete material properties at high strain rate under direct tension," International Journal of Impact Engineering 39, no. 1: 51-62.
- [۱۳] عالم باقری، م.، وسید کاظمی، م.، ۱۳۹۲. مدلسازی عددی سد های بتنی با استفاده از نرم افزار abaqus. انتشارات سیمای دانش. تهران
- [14] Lee, J., Gregory, L.(1998), "A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams," Earthquake engineering & structural dynamics, 27.9: 937-956
 - [15] Leppanen, J.(2002), "Dynamic Behavior of Concrete Structures Subjected to Blast and Fragment Impact," Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg Sweden, 71 pp.
 - [16] An, C., et al.(2012), "Ultimate strength behaviour of sandwich pipes filled with steel fiber reinforced concrete," Ocean Engineering 55: 125-135
 - [17] Zhang, S., Wang, G., & Yu, X. (2013), "Seismic cracking analysis of concrete gravity dams with initial cracks using the extended finite element method," Engineering Structures, 56, 528-543.



(ب)

شکل ۶ کانتور ماکزیم تنش اصلی (کششی) در تحلیل غیر خطی (الف)
بدون احتساب نرخ (ب) با احتساب نرخ کرنش

۸- نتیجه گیری

در این مطالعه بررسی اثرات نرخ کرنش بر رفتار لرزه ای غیر خطی سدهای بتنی وزنی با استفاده از مدل پلاستیسیتی آسیب بتن ارائه شده است. که توانستیم اثرات نرخ کرنش را به سادگی در خصوصیات مکانیکی مصالح تاثیر دهیم که دقت تحلیل را افزایش داده است. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که مقادیر آسیبها و ماکزیم تنشهای اصلی (تنش کششی) که در ناحیه گردن می باشد با در نظر گرفتن اثرات نرخ کرنش کاهش یافته است. با گرفتن تاریخچه زمانی تغییر مکان تاج سد مشخص میشود که کاهش تغییر مکان نسبی سد بسیار ناچیز است. در نتیجه با انجام این تحلیل درستی تحقیقات گذشته، که نرخ کرنش سبب ایجاد افزایش مقاومت و کاهش گسترش ترک و آسیب در حجم بتن می شود که مقدار آن قابل توجه است را نشان می دهد.

۹- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۱۰- سهم نویسندگان

نویسندگان به صورت مساوی در نگارش مقاله نقش داشته اند.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)