نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی
سال هشتم / شماره بیست و نهم /تابستان ۱۴۰۰

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
8th Year / No. 29 / September 2021

بررسی اثر شکل دره بر پاسخ دینامیکی سه‌بعدی غیرخطی سدهای بتنی وزنی

محمدسجاد رودسری [۱]
مرتضی سهرابی گیلانی *[۲]
خشایار بذری [۳]

چکیده

سدهای بتنی ازجمله سازه‌های مرسوم به‌منظور ذخیره و کنترل منابع آبی به‌حساب می‌آیند. در سالیان اخیر با توجه به تعدد ساخت سدها، با ساختگاه‌هایی مواجه هستیم که علی‌رغم تنگ بودن دره از کفایت لازم فونداسیون جهت ساخت سدهای بتنی قوسی برخوردار نیستند. علی‌رغم تعدد پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی عددی سدهای بتنی وزنی، اکثر این تحقیقات معطوف به مدل‌سازی دوبعدی این سدها بوده است. بااین‌حال به نظر می‌رسد که مدل‌سازی دوبعدی سدها در مواردی به جواب‌هایی متفاوت با واقعیت منجر گردد. لذا در این پژوهش به بررسی پاسخ دینامیکی سدهای بتنی وزنی با در نظر گرفتن اثرات شکل دره در حالت سه‌بعدی پرداخته‌شده است. نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی با در نظر گرفتن اندرکنش‌های سد-فونداسیون-دریاچه در سه عرض کف دره متفاوت ۲۰، ۱۰۰ و ۳۵۰ متر تفاوت زیادی را با نتایج تحلیل‌های دوبعدی نشان می‌دهد. مشاهدات حاصل بیانگر آن است که تغییر مکان نسبی تاج سد و الگوی توزیع تنش و ترک‌خوردگی در دره‌های عریض شباهت بیشتری به مدل دوبعدی دارد درحالی‌که در دره‌های تنگ تفاوت بین مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی کاملاً مشهود است بنابراین انجام تحلیل‌های سه‌بعدی در چنین ساختگاه‌هایی ضروری است.

واژه‌های کلیدی:

سدهای بتنی وزنی، تحلیل سه‌بعدی، شکل دره، روش اجزاءمحدود

---

۱ کارشناس ارشد عمران-سازه، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲* استادیار گروه مهندسی عمران-سازه، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳ کارشناس ارشد عمران-سازه، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۵/۰۸

مقدمه

سدها از دیرباز توجه پژوهشگران بسیاری را به خود جلب نموده‌اند. تحقیقات آزمایشگاهی و عددی بسیاری در زمینه سدهای بتنی طی سال‌های گذشته انجام پذیرفته است. بااین‌حال با بررسی این پژوهش‌ها کمبود مطالعات عددی بر پایه مدل‌سازی سه‌بعدی سدهای بتنی وزنی احساس می‌شود. تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر نحوه مدل‌سازی این سازه‌ها به‌منظور نیل به نتایج نزدیک به واقعیت صورت گرفته است. یکی از اولین پژوهش‌های موجود در زمینه سدها توسط وسترگارد در سال ۱۹۳۳ انجام شد. این پژوهش نقطه عطفی در مورد فشار هیدرودینامیک وارد بر سدها محسوب می‌شود زیرا زمینه مناسب برای بررسی اثر زلزله بر سد را فراهم آورد. وسترگارد با فرض سد به‌صورت یک جسم صلب با سطح بالادست بدون شیب و اعمال مؤلفه افقی شتاب زلزله بر آن توانست مدل جرم افزوده[۱] را برای محاسبه فشار هیدرودینامیک بر سد ارائه کند. در سال ۱۹۷۲ چوپرا و چاکابارتی اثر زلزله‌های متفاوت بر رفتار سد وزنی کوینا را موردمطالعه قرار دادند. در این پژوهش با انتخاب زلزله‌هایی که شدتی مشابه با زلزله کوینا داشتند تأثیر این زلزله‌ها بر سد کوینا موردبررسی قرار گرفت. نتیجه حاصله از این مطالعه پیشنهاد داد که با تغییر الگوی قسمت تاج سد و کاهش وزن آن می‌توان از بروز خرابی در قسمت تاج سد جلوگیری نمود (چوپرا و چاکابارتی، ۱۹۷۲).

با توسعه نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ها به روش اجزاءمحدود مطالعات گسترده‌ای بر نحوه مدل‌سازی سدهای بتنی وزنی صورت گرفت. هال و چوپرا در سال ۱۹۸۰ اثرات هیدرودینامیکی را بر روی مخزن‌های دوبعدی و سه‌بعدی که تا بی‌نهایت گسترش‌یافته بودند؛ بررسی کردند (هال و چوپرا، ۱۹۸۰). هدف از این مطالعه ارائه روشی برای انجام تحلیل محاسبات فشار سیال به‌صورت محدود و نامحدود در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی بود. فنوس و چوپرا در سال ۱۹۸۴ اثر جذب انرژی موج توسط رسوبات کف مخزن را در مدل تحت زلزله بررسی نمودند. آن‌ها مدلی دوبعدی و خطی از سیستم سد-مخزن-فونداسیون را مدنظر قرار دادند و با مدل‌سازی مرز کف مخزن به‌صورت مرز جاذب به بررسی اثر جذب انرژی در آن ناحیه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان از مناسب بودن روش پیشنهادی در مدل‌های اجزا محدود دوبعدی می‌داد (فنوس و چوپرا ۱۹۸۴). در سال ۱۹۸۹ وارگاس و فنوس اثر ترک‌خوردگی بتن بر سدهای بتنی وزنی را موردمطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روش اجزا محدود، سد بتنی وزنی را تحت چندین زلزله مختلف با استفاده از روش غیرخطی ترک اندود[۲] بتن مورد تحلیل قرار دادند. نتیجه پژوهش آن‌ها اهمیت ترک‌خوردگی و تأثیر آن در پاسخ دینامیکی سد را نمایان ساخت (وارگاس و فنوس، ۱۹۸۹). در سال ۲۰۰۷ لمباردی مقاله‌ای در زمینه تحلیل سدها ارائه نمود که در آن به تشریح و بررسی رفتار سدها و مقایسه آن به‌صورت تئوری در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی پرداخته‌شده است. در این مقاله تشریح شده است که هنگامی‌که شرایط ژئوتکنیکی در زیر سد متفاوت است ضرایب اطمینان آن در هر بلوک متفاوت به دست می‌آید که اگر به روش سنتی و مرسوم سد بتنی وزنی به‌صورت دوبعدی تحلیل شود اثر این تفاوت در ضرایب اطمینان را نمی‌توان در نظر گرفت. علاوه بر این نشان داد که وجود شیب جانبی دره در محل تکیه‌گاه سد بتنی وزنی سبب کاهش مؤلفه قائم وزن سد در آن ناحیه می‌گردد که کاهش ضریب اطمینان در برابر لغزش را در پی خواهد داشت.

در سال ۲۰۱۲ آریکی سدهای بتنی وزنی را به‌صورت دو سه‌بعدی به‌منظور دستیابی به الگوهای خرابی این نوع سدها تحت زلزله، موردبررسی قرار داد. در این پژوهش او همکارانش

---

۱ Added Mass

۲ Smeared Crack

سد بتنی وزنی آندِراز[1] که در ترکیه واقع است را به دو صورت دوبعدی و سه‌بعدی با نرم‌افزار دایانا[2] مدل نمودند (آریکی و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج مطالعات آن‌ها ضمن نشان دادن تفاوت در الگوی ترک‌خوردگی در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی، نحوه رشد ترک در مدل سه‌بعدی را تشریح کرد. در سال ۲۰۱۵ ایلمازتورک و همکاران سد بتنی وزنی آندِراز را به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی به‌منظور بررسی رفتار سدهای بتنی وزنی به‌صورت خطی موردمطالعه قرار دادند. وی از سیستم سد-مخزن-فونداسیون در تحلیل‌های خود استفاده نمود و از نتایج تحلیل خطر ساختگاه سد مذکور برای تحلیل لرزه‌ای استفاده نمود. نتایج این مطالعه حاکی از تفاوت قابل‌توجه در مقادیر تغییر مکان و تنش‌های ایجادشده بود. در سال ۲۰۱۷ قائدی و همکارانش سیستم سد-مخزن-فونداسیون را تحت تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از مدل خرابی پلاستیک قراردادند و فونداسیون را در تحلیل خود به‌صورت منعطف در نظر گرفتند که با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده پاسخ سد با در نظر گرفتن فونداسیون به‌صورت منعطف کاهش می‌یابد.

بامطالعه و بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سدها می‌توان گفت که عموماً سدهای بتنی وزنی به‌صورت دوبعدی مدل‌سازی و تحلیل می‌شوند و مطالعات معدودی به‌صورت سه‌بعدی بر روی این سدها انجام‌گرفته است که اکثر آن‌ها معطوف به سدهای بتنی قوسی یا فرضیات مدل‌سازی بوده است. امروزه با توجه به کثرت تعداد سدهای ساخته‌شده، اکثر دره‌های مناسب برای احداث سدها مورد بهره‌برداری قرارگرفته است و در ساختگاه‌های موردمطالعه با دره‌های تنگی روبه‌رو هستیم که به دلیل وجود مشکلاتی نظیر عدم مقاومت تکیه‌گاهی مناسب امکان ساخت سد بتنی قوسی در آن‌ها وجود ندارد و لذا امکان‌سنجی ساخت سدهای بتنی در این ساختگاه ها احساس می‌شود. بااین‌وجود به نظر می‌رسد که فرض مدل‌سازی دوبعدی سد در این دره‌های تنگ نتایج دقیق و جامعی از چگونگی رفتار سد در این شرایط به دست ندهد. لذا به دلیل ماهیت پرهزینه و حساس سدها، بررسی دقیق رفتار سه‌بعدی این سازه‌ها با در نظر گرفتن اثرات تغییر عرض دره ضروری به نظر می‌رسد.

فرضیات و مدل‌سازی

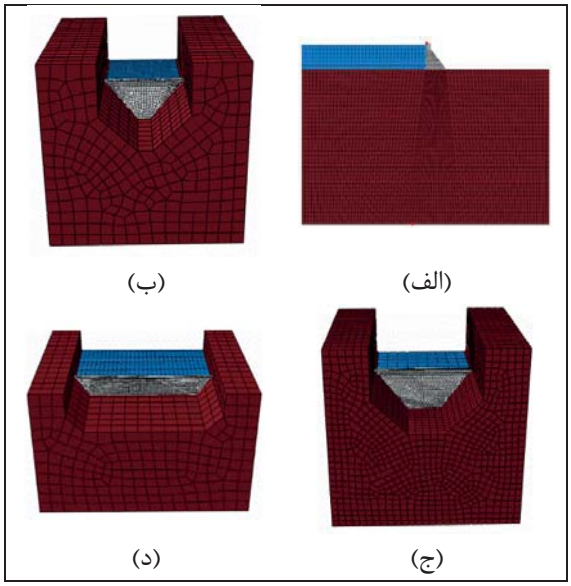
به‌منظور انجام مطالعات مطرح‌شده از روش اجزاءمحدود برای مدل‌سازی و تحلیل استفاده‌شده است، بدین منظور مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی از سیستم سد، فونداسیون و مخزن با در نظر گرفتن اندرکنش‌ها ساخته‌شده است به‌طوری‌که گره‌های کف بدنه سد به فونداسیون بسته‌شده‌اند و مدل‌ها تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی موردبررسی قرارگرفته است. در این پژوهش از سدی به ارتفاع ۵۰ متر با شیب‌های پایین‌دست و بالادست به ترتیب برابر ۱:۰,۸۵ و ۱:۰,۰۵ و عرض تاج ۸ متر برای مدل‌سازی استفاده‌شده است. تراز آب دریاچه در هر دو تحلیل دو سه‌بعدی به میزان ۴۷ متر فرض گردید و فشار سطح آزاد آب صفر در نظر گرفته شد ارتفاع و طول فونداسیون به‌منظور تحلیل‌های دقیق به ترتیب برابر ۲,۵ و ۳ برابر ارتفاع سد از هر طرف فرض شد و به‌منظور جلوگیری از بازگشت امواج از انتهای دریاچه مرز دور دریاچه به‌صورت مرز جاذب مدل‌سازی شده است. به‌منظور در نظر گرفتن میرایی از فرض میرایی رایلی با ضریب میرایی ۵ درصد استفاده شده است (لطفی ۲۰۰۴).

در مدل‌سازی سه‌بعدی به‌منظور بررسی اثر عرض کف دره سه مقدار متفاوت ۳۵۰ برای دره‌های باز، ۱۰۰ متر برای دره‌های متوسط و ۲۰ متر برای دره‌های تنگ در نظر گرفته شد، شیب کناری دره در همه مدل‌ها ۴۵ درجه فرض شد. شکل‌های ((۱-

1 Andiraz

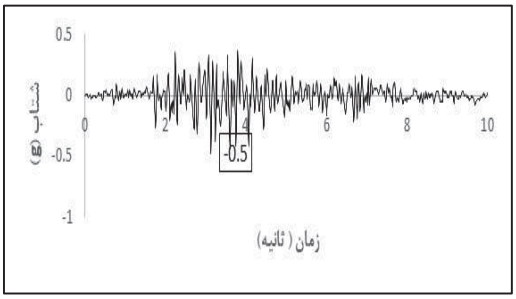
2 DIANA

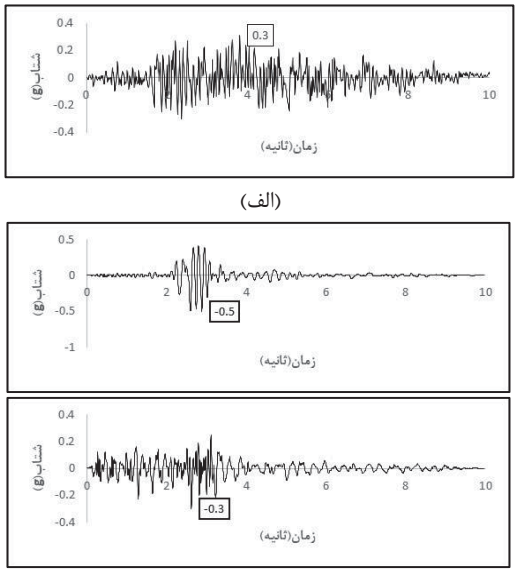
الف) تا (۱-د)) سیستم سد، فونداسیون و مخزن را برای حالات دوبعدی و سه‌بعدی نشان می‌دهد.



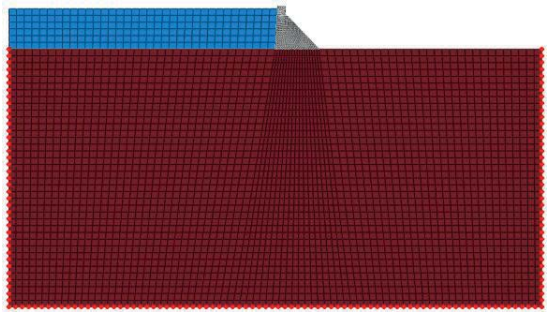
شکل (۱): مدل اجزاءمحدود سیستم سد، فونداسیون و دریاچه به‌صورت: (الف)دوبعدی، (ب) عرض کف دره ۲۰ متر، (ج) عرض کف دره ۱۰۰ متر و (د) عرض کف دره ۳۵۰ متر

به‌منظور انجام تحلیل دو نوع بار استاتیکی شامل بار وزن و فشار هیدرواستاتیک و بار دینامیکی زلزله با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های زلزله کوینا و بم به‌تمامی مدل‌ها اعمال گردید. مؤلفه‌های افقی و قائم شتاب‌نگاشت‌های مورداستفاده مقیاس شده به 0.5g و 0.3g در شکل (۲) نشان داده‌شده است که مطابق با شکل (۳) در محل‌های مشخص‌شده اعمال گردیده است.





شکل (۲): مؤلفه‌های افقی و قائم شتاب‌نگاشت‌های زلزله الف)کوینا ۱۹۶۷ و (ب)بم ۲۰۰۳



شکل (۳): مدل المان محدود سد، فونداسیون و دریاچه و محل اعمال شتاب‌نگاشت‌ها

مدول الاستیسیته بتن بدنه سد برابر با ۱۸ گیگا پاسکال و جرم مخصوص آن به میزان ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شد. همچنین مدول الاستیسیته سنگ‌بستر برابر با ۸ گیگا پاسکال و به‌صورت بدون جرم[1] فرض گردید. به‌علاوه مقدار ضریب پواسون در هر دو جزء بتن بدنه و سنگ‌بستر برابر ۰/۲ اعمال گردید. به‌منظور مدل‌سازی مخزن به‌صورت ماده آکوستیک از مدول بالک و جرم مخصوص با مقادیر به ترتیب ۲/۰۷ گیگا پاسکال و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شد.

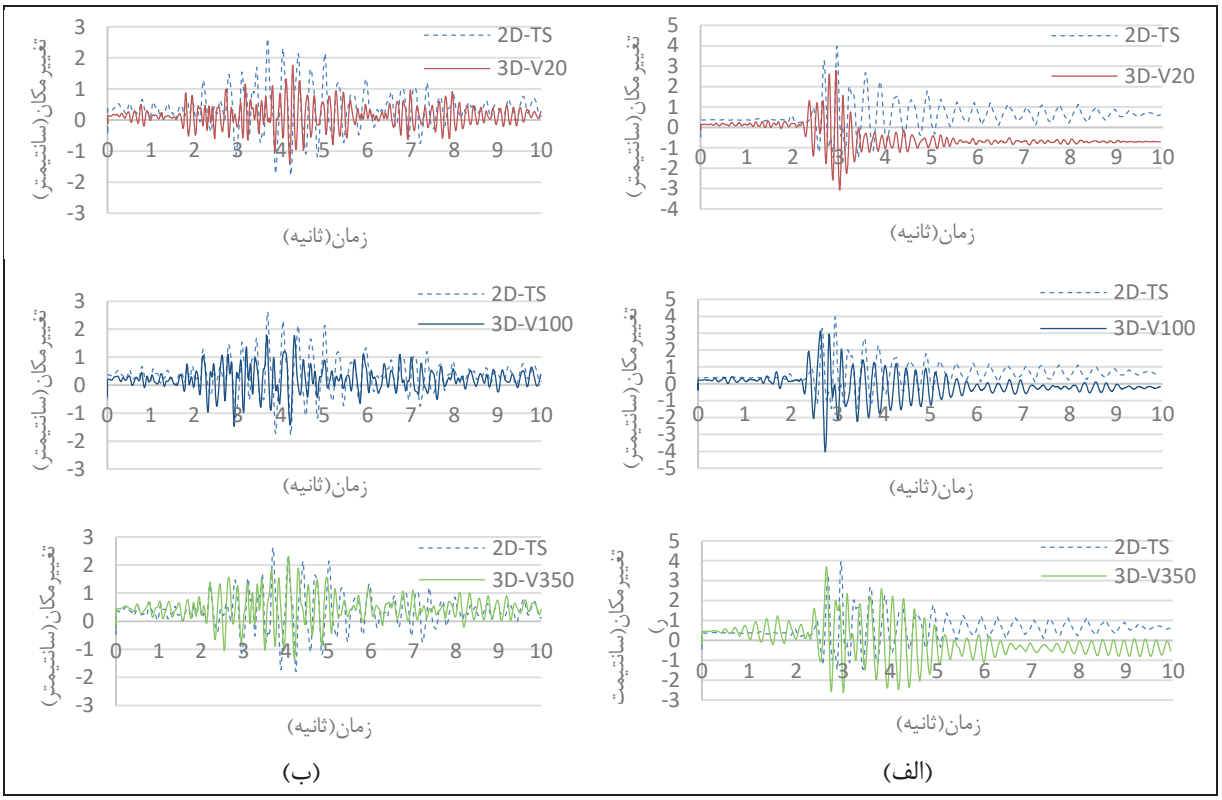
6 Massless foundation

به‌منظور بررسی دقیق پاسخ سازه رفتار غیرخطی بتن بدنه سد با استفاده از تئوری خرابی پلاستیک بتن در نظر گرفته شد. روش خرابی پلاستیک که گسترش‌یافته تئوری دراگر-پراگر است توسط لی و فنوس ارائه شد و به دلیل توانایی مدل‌سازی دقیق رفتار بتن در کشش و فشار و تحت انواع مختلف بارگذاری مورد استقبال محققین قرار گرفت که در این مدل رفتاری بتن تنش نهایی کششی و فشاری بتن جزو پارامترهای اساسی هستند (ژانگ و وانگ ۲۰۱۳، لی و فنوس ۱۹۹۸، عالم باقری و قائمیان ۲۰۱۶). مدل‌های مختلف سه‌بعدی مورداستفاده در این پژوهش به‌صورت 3D-Vx نام‌گذاری شد که x بیانگر عرض کف دره در مدل مذکور است. همچنین مدل دوبعدی با عنوان 2D-TS نام‌گذاری شده است.

تحلیل و بحث

تغییر مکان نسبی تاج سد در این بخش نتایج تغییر مکان نسبی تاج سد به فونداسیون در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی تحت زلزله‌های مختلف باهم مقایسه شده است. شکل (۴) مقایسه تغییر مکان تاج سد را برای مدل سه‌بعدی با عرض کف دره‌های مختلف و مدل دوبعدی برای زلزله‌های کوینا و بم نشان می‌دهد.

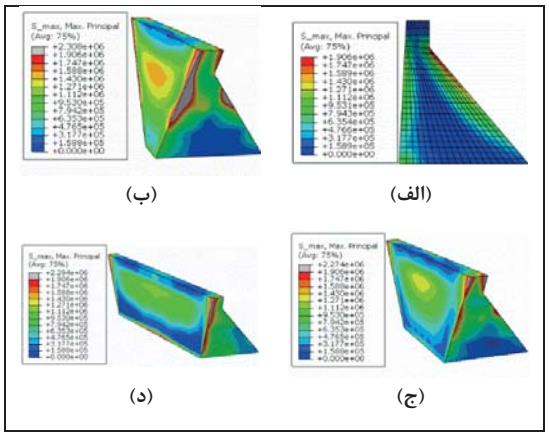
با توجه به شکل(۴) قابل‌مشاهده است که نتایج تغییر مکان نسبی تاج در مدل دوبعدی عموماً بیشتر از مدل سه‌بعدی بوده است. شایان‌ذکر است که با کاهش عرض دره و به‌عبارت‌دیگر در ساختگاه‌های تنگ تفاوت تغییر مکان‌ها بیشتر می‌شود که نشانگر آن است که مدل دوبعدی از کفایت لازم در مدل‌سازی این ساختگاه‌ها برخوردار نیست.



شکل (۴): مقایسه تغییر مکان نسبی تاج سد در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی برای زلزله‌های (الف) بم و (ب) کوینا

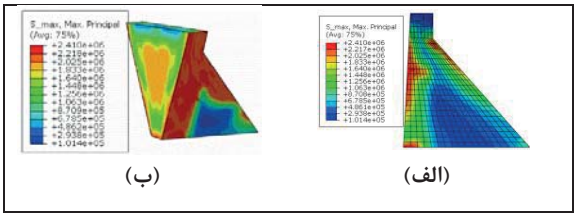
تنش‌های ماکزیمم کششی بدنه سد

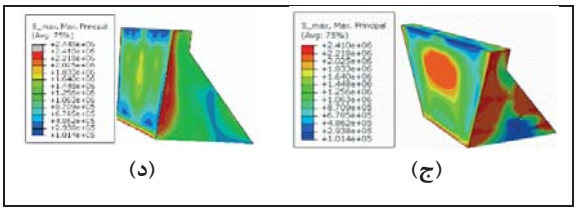
علاوه بر تغییر مکان تاج سد، تنش‌های به وجود آمده نیز از اهمیت شایانی در بررسی رفتار سدهای بتنی برخوردار است. شکل های (۵) و (۶) مقایسه پوش تنش‌های کششی ایجادشده در بدنه سد را برای مدل‌های مختلف سه‌بعدی و دوبعدی در زلزله‌های مختلف نشان می‌دهند.



شکل (۵): تنش‌های کششی بدنه سد تحت اثر زلزله کوینا برای (الف) مدل دوبعدی، (ب) مدل سه‌بعدی با دره ۲۰ متری، (ج) دره ۱۰۰ متری و (د) دره ۳۵۰ متری

با مقایسه توزیع تنش‌های کششی مشاهده می‌شود که با افزایش عرض دره توزیع تنش‌ها شباهت کمتری به مدل دوبعدی دارد. در مدل‌های تحت زلزله بم نیز توزیع تنش کششی در مدل با دره عریض شباهت کمتری به مدل دوبعدی دارد. پروفیل توزیع پوش تنش کششی در مدل‌های تحت زلزله بم تفاوت محسوسی با یکدیگر دارند و نمی‌توان الگو توزیع مشابهی در آن‌ها را به‌منظور مقایسه تنش‌ها در نظر گرفت.



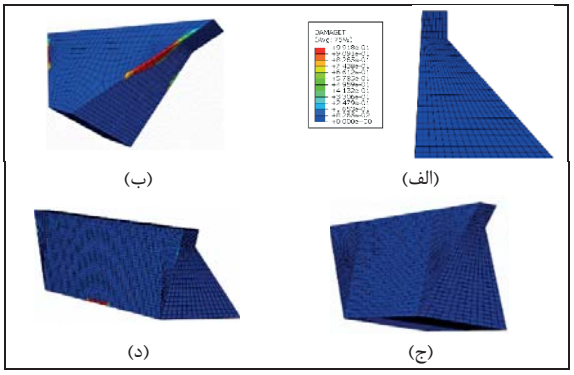


شکل (۶): تنش‌های کششی بدنه سد تحت اثر زلزله بم برای (الف) مدل دوبعدی، (ب) مدل سه‌بعدی با دره ۲۰ متری، (ج) دره ۱۰۰ متری و (د) دره ۳۵۰ متری

به‌طورکلی می‌توان اشاره کرد که مقایسه مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی علی‌رغم وجود مشابهت‌ها، تفاوت‌های زیادی ازنقطه‌نظر تغییر مکان تاج سد و الگوی تنش‌های کششی نشان می‌دهد. همچنین به‌وضوح مشاهده می‌شود که با کاهش عرض دره پوش تنش کششی در محل تکیه‌گاه سد افزایش می‌یابد.

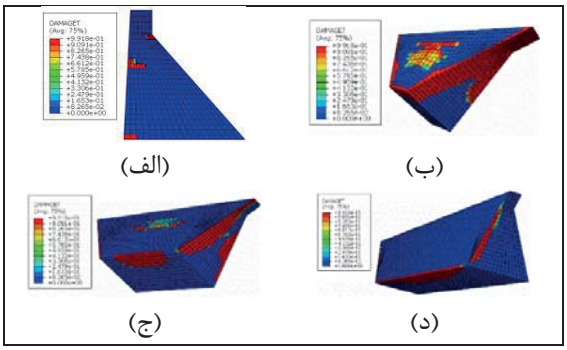
پروفیل ترک‌خوردگی

به‌منظور مطالعه دقیق رفتار غیرخطی مقایسه‌ای بین نحوه توزیع ترک‌خوردگی در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی تحت دو زلزله کوینا و بم در شکل‌های (۷) و (۸) صورت گرفته است.



شکل (۷): نحوه توزیع ترک‌خوردگی تحت زلزله کوینا در (الف) مدل دوبعدی، (ب) دره ۲۰ متری، (ج) دره ۱۰۰ متری و (د) دره ۳۵۰ متری

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود در مدل دوبعدی ترکی تشکیل نشده است درحالی‌که در مدل‌های سه‌بعدی ترک‌خوردگی خصوصاً در نواحی تکیه‌گاهی سد رخ می‌دهد.



شکل (۸): نحوه توزیع ترک‌خوردگی تحت زلزله بم در (الف) مدل دوبعدی، (ب) دره ۲۰ متری، (ج) دره ۱۰۰ متری و (د) دره ۳۵۰ متری

در مدل‌های تحت زلزله بم ترک‌خوردگی در مدل با عرض دره تنگ شدت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با کاهش عرض دره محل به وجود آمدن ترک‌ها نیز تغییر می‌کند و مدل دوبعدی نماینده مناسبی برای مدل‌سازی رفتار این سازه‌ها نخواهد بود.

با توجه به نتایج حاصل از هر دو زلزله کوینا و بم در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که نواحی تکیه‌گاهی سد بیشتر از سایر بخش‌ها مستعد ترک‌خوردگی است و ازآنجاکه در مطالعه دوبعدی امکان مدل‌سازی تکیه‌گاه وجود ندارد امکان بررسی دقیق این ترک‌خوردگی‌ها میسر نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که ذکر شد، سدهای بتنی وزنی یکی از انواع سدهای بتنی هستند که با توجه به سهولت اجرا موردتوجه محققین بسیاری از کشورهای جهان قرار دارند. این سدها در حال حاضر بیشتر به‌صورت دوبعدی و با فرض عریض بودن دره، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. با توجه به پیشرفت فنّاوری در عصر حاضر و توسعه روش‌های محاسباتی دقیق‌تر، به نظر می‌رسد که تحلیل دوبعدی تقریب مناسبی از این سدها ارائه نمی‌کند. وجود دره‌های تنگ در ساختگاه‌هایی که به دلیل وجود مشکلات فونداسیون امکان ساخت سد بتنی قوسی در آن‌ها وجود ندارد؛ اهمیت مطالعه دقیق رفتار سدهای بتنی وزنی را در این شرایط دوچندان می‌کند؛ بنابراین در این پژوهش تلاش بر این بوده است که مقایسه‌ای دقیق بر رفتار سدهای بتنی وزنی به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی صورت گیرد. بدین منظور مدل‌های اجزاءمحدود با فرض اندرکنش‌های بین سد، دریاچه و فونداسیون تحت اثر دو زلزله کوینا و بم با فرض رفتار غیرخطی بتن در بدنه سد موردمطالعه قرار گرفت. بررسی نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که:

- در مدل‌های غیرخطی تفاوت فراوانی در دامنه تغییر مکان در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی مشاهده می‌شود که این تغییرات بعضاً کاهش ۵۰ درصدی دامنه مدل‌های سه‌بعدی نسبت به دوبعدی را نیز نشان می‌دهد.
- عموماً با کاهش عرض دره اختلاف تغییر مکان پیش‌بینی‌شده در مدل‌های دوبعدی نسبت به مدل‌های سه‌بعدی بیشتر می‌شود که نشان از اهمیت این تحلیل‌ها در دره‌های تنگ دارد.
- در مدل‌های سه‌بعدی نیز اختلاف فراوانی بین مقادیر تغییر مکان مدل‌های با دره تنگ نسبت به دره‌های عریض‌تر مشاهده می‌شود.
- شکل و عرض دره تأثیر به سزایی در مقدار و نحوه توزیع تنش‌های کششی در بدنه سد دارد که این امر در تحلیل‌های دوبعدی نمی‌تواند موردبررسی قرار گیرد. عموماً با عریض‌تر شدن دره مقادیر بیشینه تنش‌های کششی از بدنه سد به سمت نواحی تکیه‌گاهی تمایل خواهد داشت.

- نواحی تکیه‌گاهی سد بیشتر از سایر بخش‌ها در سد مستعد ترک‌خوردگی است و ازآنجاکه در مطالعه دوبعدی امکان مدل‌سازی تکیه‌گاه وجود ندارد امکان بررسی دقیق این ترک‌خوردگی‌ها میسر نخواهد بود.

منابع

۱- حیرانی، زهرا، قائمیان، محسن. (۱۳۸۹). تحلیل لرزه‌ای غیرخطی سدهای بتنی وزنی با در نظر گرفتن اندرکنش سد-مخزن-فونداسیون. *مهندسی سازه‌های آبی*، شماره ۶.

2- Westergaard, H. M. (1933). Water pressures on dams during earthquakes. *Trans. ASCE*, *95*, 418-433.

3- Chopra, A. K. & Chakrabarti, P. (1972). The earthquake experience at Koyna dam and stresses in concrete gravity dams. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *1*(2), 151-164.

4- Hall, J. F. & Chopra, A. K. (1980). *Dynamic response of embankment, concrete-gravity and arch dams including hydrodynamic interaction*. University of California, Earthquake Engineering Research Center.

5- Fenves, G. & Chopra, A. K. (1984). Earthquake analysis of concrete gravity dams including reservoir bottom absorption and dam-water-foundation rock interaction. *Earthquake engineering & structural dynamics*, *12*(5), 663-680.

6- Vargas-Loli, L. M. & Fenves, G. L. (1989). Effects of concrete cracking on the earthquake response of gravity dams. *Earthquake engineering & structural dynamics*, *18*(4), 575-592.

7- Lombardi, G. (2007). 3-D analysis of gravity dams, Hydropower & Dams, No.

8- Arici, Y. Binici, B. & Aldemir, A. (2014). Comparison of the expected damage patterns from two-and three-dimensional nonlinear dynamic analyses of a roller compacted concrete dam. *Structure and Infrastructure Engineering*, *10*(3), 305-315.

9- Yilmazturk, S. M. Arici, Y. & Binici, B. (2015). Seismic assessment of a monolithic RCC gravity dam including three dimensional dam–foundation–reservoir interaction. *Engineering Structures*, *100*, 137-148.

10- Ghaedi, K. Hejazi, F. Ibrahim, Z. & Khanzaei, P. (2017). Flexible foundation effect on seismic analysis of Roller Compacted Concrete (RCC) dams using finite element method. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-13.

11- Lotfi, V. (2004, August). Dynamic Analysis of Concrete Gravity Dams by Decoupled Modal Approach in Time Domain. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver*.

12- Zhang, S. & Wang, G. (2013). Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *53*, 217-229.

13- Lee, J. & Fenves, G. L. (1998). A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams. *Earthquake engineering & structural dynamics*, *27*(9), 937-956.

14- Alembagheri, M. & Ghaemian, M. (2016). Seismic performance evaluation of a jointed arch dam. *Structure and Infrastructure Engineering*, *12*(2), 256-274.

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی
سال هشتم/ شماره بیست و نهم /تابستان ۱۴۰۰
Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
8th Year / No. 29 / September 2021

Investigating the the effects of valley's shape on three dimensional dynamic responses of concrete gravity dams

Mohammd Sajjad Roudsari 1
Morteza Sohrabi Gilani *2
Khashayar Bazri 3

Abstract

Concrete gravity dams are one of the conventional structures for storing and controlling water resources. In recent years, due to large number of dam constructions, designers are encounter with narrow valleys which are not adequate for arch dam constructions. In recent decades, many researches have been done on the numerical modeling of concrete gravity dams, however most of these studies consider the dam and its foundation as an ideal two-dimensional model. In narrow valleys, it seems that two-dimensional modeling of these structures may lead to inaccurate results. In this thesis, the 3D behavior of the concrete gravity dams including dam-reservoir-foundation interactions under static and dynamic loads has been studied. The obtaining results for models with three different 20,100 and 350 meters width shows significant differences between two and three dimensional models. Observations from results indicated that the crest relative displacements and stress distributions as well as crack patterns are more similar for wide valleys and 2D model in compare with narrow valleys. In the other words, 2D models don't have necessary adequacy for modelling gravity dams in narrow valleys and three dimensional studies should be conducted in such cases.

Keywords:

Concrete gravity dams, 3D analysis, valley shape, Finite element method

1 Msc, Department of civil engineering, Faculty of engineering, University of guilan
2* Assistant Professor, Department of civil engineering, Faculty of engineering, University of guilan
3 Msc, Department of civil engineering, Faculty of engineering, University of guilan
Received: 2019/03/03 Accepted: 30/07/2019