

بررسی تأثیر مدل‌های لایه‌ی ایزولاسیون بر کاهش پاسخ لرزه‌ای سد بتنی وزنی با در نظر گرفتن آثار اندرکنش

امیر پیروزنیا^{۱*}، مجید پاسبانی خیاوی^۲

۱- دانشجوی دکترای عمران- مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی

Amir.pirooznia@gmail.com

تاریخ پذیرش: [توسط مجله تکمیل می‌شود]

تاریخ دریافت: [توسط مجله تکمیل می‌شود]

چکیده- در این پژوهش به بهسازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی در مقابل آثار اندرکنش با استفاده از انواع مدل‌های لایه‌ی ایزولاسیون پرداخته می‌شود. برای انجام آنالیز از نرم‌افزار Ansys استفاده شده و تأثیر اندرکنش سد، مخزن و فونداسیون در مدل‌ها لحاظ شده است. با توجه به رفتار و هندسه‌ی سد بتنی وزنی، مدل‌سازی به صورت دو بعدی انجام گرفته و برای تحلیل دینامیکی از روش Newmark و برای شرط مرزی انتهای دوردست مخزن هم از شرط مرزی Sommerfeld استفاده شده است. به عنوان یک مطالعه‌ی موردی، آنالیز لرزه‌ای سد Koyuna در کشور هند مورد توجه قرار گرفته و مؤلفه‌های افقی و قائم شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه Taft به مدل اعمال شده است. مدل‌سازی‌ها تحت حالاتی که در آن، سد بدون لایه و دارای لایه‌ی ایزولاسیون در امتداد ارتفاع سد بتنی وزنی و متصل به سطح بدنه‌ی بالادست سد به صورت یکپارچه، منقطع و پلکانی و همچنین سد با ماهیچه‌ی بتنی در پنجه‌ی سد (Fillet)، انجام گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها، تأثیر قابل توجه لایه‌ی ایزولاسیون را در کاهش پاسخ‌های مربوط به تغییر مکان‌ها و تنش‌ها نشان می‌دهد. دلیل این امر استهلاك امواج فشار هیدرودینامیکی ناشی از اندرکنش سد و مخزن هنگام وقوع زمین‌لرزه به وسیله‌ی لایه‌ی ایزولاسیون است.

واژگان کلیدی: اندرکنش، تحلیل تاریخیچه‌ی زمانی، سد بتنی وزنی، لایه‌ی ایزولاسیون.

۱- مقدمه

یکی از ضروری‌ترین و حیاتی‌ترین نیاز بشر، آب است که به ویژه با افزایش جمعیت و ضرورت رشد کشاورزی و صنعت و مصارف آشامیدنی از یک طرف و محدودیت مخازن و منابع آب از طرف دیگر، حساسیت آن روز به روز بیشتر شده است که با ساخت موانعی در مسیر جریان به عنوان سد می‌توان به این اهداف دسترسی پیدا کرد. از جمله سازه‌هایی که طراحی آن‌ها از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است، می‌توان به سدهای بتنی وزنی اشاره کرد.

مدل‌سازی آثار اندرکنش در مسائل مربوط به تحلیل لرزه‌ای سدها دارای سابقه طولانی است. اولین مطالعه را در این زمینه، Westergaard در سال ۱۹۳۳ ارائه داد [۱]. Chopra در سال ۱۹۶۷، آثار تراکم‌پذیری سیال را روی نیروی ناشی از اندرکنش

سازه و سیال بررسی کرد [۲]. مدل فیزیکی او مشابه با مدل Westergaard بود. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده با فرض صلب بودن سد، نیروهای ناشی از اندرکنش در حین حرکت لرزه‌ای زمین به صورت یک نیروی خارجی روی سد در نظر گرفته شده و پاسخ سد در محاسبه‌ی نیروهای اندرکنش دخالت داده نشده است. Chopra در سال ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹، تأثیر انعطاف‌پذیر بودن سد را روی نیروهای اندرکنش با مدل‌سازی سد به صورت سیستمی شامل جرم، میراگر و فنر مطالعه کرد [۳].

استهلاك امواج فشاری در محل تماس سد و مخزن، می‌تواند نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از اندرکنش را روی وجه بالادست بدنه سد را کاهش دهد. در دهه‌های اخیر، پژوهشگران به توسعه‌ی روش‌های نوینی پرداخته‌اند که با

استفاده از آن‌ها و با صرف زمان کمتر، به طرح بهینه برای سدهای بتنی وزنی دست یابند. یکی از روش‌های نوین برای کاهش نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از اندرکنش، به کارگیری لایه‌ی از مواد سبک، ارزان و با دوام است که به بدنه‌ی بالادست سد متصل می‌شود.

Hall و El-Aidi در سال ۱۹۸۲، امکان کاهش فشار هیدرودینامیکی را با توجه به دو گزینه‌ی تجربی بالن‌های هوای مهار شده و حباب‌های گاز تزریق شده، برای فراهم کردن لایه‌ی هوا در وجه بالادست سد امتحان کردند [۴]. هیچ‌کدام از این دو روش، کاهشی را در پاسخ دینامیکی سد- مخزن به وجود نیاورد. در ادامه Hall و همکارانش در سال ۱۹۹۲، تأثیر یک ماده‌ی نرم چسبنده به وجه بالادست یک سد بتنی را روی کاهش پاسخ سد مطالعه کردند [۵]. آن‌ها، تراکم‌پذیری ماده را مشابه با رفتار یک بعدی گاز کامل فرض نمودند؛ ولی با این مدل برای لایه‌ی نرم، کاهش قابل توجهی در پاسخ سد بتنی حاصل نشد. اگر حجم پرده‌ی جداساز کم شود، اثر جدایی در کاهش فشار هیدرودینامیکی روی سد کاهش می‌یابد. این امر، ممکن است در هنگام نشت هوای داخل ظرف به علت تغییرات دما، ارتعاشات سد و سیستم جدایی در هنگام زلزله اتفاق بیفتد. در نتیجه، طرح پرده‌ی جداساز نیازمند به هزینه اضافی و نگهداری برای رسیدن به یک اطمینان بالا است.

Hatami در سال ۱۹۹۶، با انتخاب مدل ساده برای سیستم سد و مخزن کاهش فشار هیدرودینامیکی اعمال شده را با استفاده از یک لایه‌ی ایزولاسیون با ضخامت ثابت بررسی کرد. او برای بررسی اثر لایه‌ی ایزولاسیون از روند حل تحلیلی استفاده نمود و تأثیر وجود پرده‌ی جداساز را در کاهش فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد، نشان داد [۶] و [۷].

در پژوهش‌های اخیر نیز Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۱، تأثیر بالشتک هوا بر کاهش پاسخ لرزه‌ای سد Jinping به ارتفاع ۳۰۵ متر را با استفاده از مدل عناصر محدود مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای مدل‌سازی و تحلیل از فرمول‌بندی اوپلری- لاگرانژی استفاده کردند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که استفاده از بالشتک هوا در وجه بالادست، فشار هیدرودینامیکی اعمال شده بر وجه بالادست را تا حدود ۸۰ درصد و تنش‌های اصلی را تا

میزان ۳۰ درصد کاهش می‌دهد [۸].

میرزا بزرگ و همکاران در سال ۲۰۱۲، تأثیر پرده هوا را بر کاهش فشار هیدرودینامیکی وارد بر وجه بالادست سد قوسی امیرکبیر بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که پرده جداساز، آثار اندرکنش بین سد و مخزن را تا مقدار قابل ملاحظه‌ای از بین می‌برد [۹].

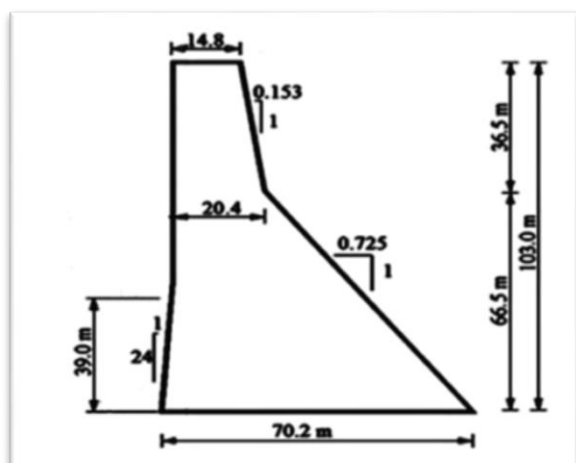
با توجه به موارد ذکر شده، در این مطالعه برای بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی و کاهش فشار هیدرودینامیکی به وجود آمده در زمان وقوع زلزله، مدل‌سازی جامع در حوزه‌ی زمان برای سیستم سد - مخزن- فونداسیون انجام گرفته و در آن تأثیر وجود لایه ایزولاسیون بالادست با در نظر گرفتن شرایط مختلف برای مدل، بررسی شده است [۱۰].

لازم به ذکر است که لایه‌ی ایزولاسیون به عنوان یک مرز برای مرز سد- مخزن با ضریب انعکاسی کم به کار گرفته می‌شود که منجر به کاهش در فشار هیدرودینامیکی گسترش یافته در مخزن می‌شود. این کاهش‌ها نشان‌دهنده‌ی تأثیر میرایی قابل توجه مصالح نرم متصل به بدنه‌ی بالادست سد همچون رزین (Rubber) در استهلاک فشارهای هیدرودینامیکی به وجود آمده در حین زلزله است. پس برای این منظور، حجم بدنه‌ی سد به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و با انتخاب قیود متعدد هندسی و شرایط متنوع مرزی در محل تماس سد و مخزن، به ارزیابی پاسخ‌های تنش و تغییر مکان سد بتنی وزنی پرداخته می‌شود تا تأثیر لایه‌ی ایزولاسیون در بهبود پاسخ لرزه‌ای سد تحت شرایط مختلف مشخص شود.

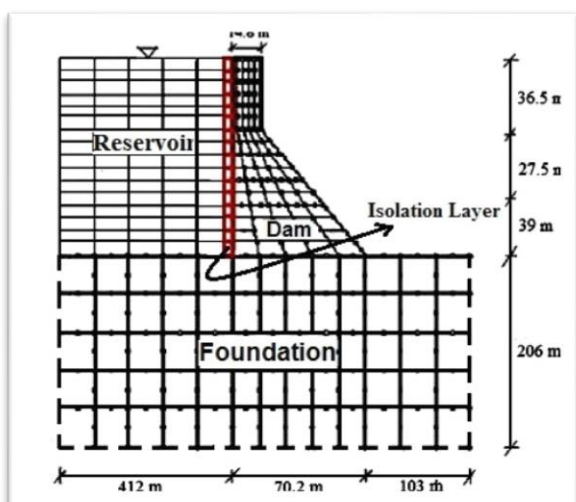
۲- معرفی سیستم سد - مخزن - فونداسیون

برای تحلیل مدل‌های مورد نظر، مصالح سد وزنی بتنی دارای رفتار همگن، خطی و ایزوتروپیک و آب مخزن، محیطی همگن و ایزوتروپ، غیر لزج، غیر چرخشی و با تغییر مکان‌های کوچک و تراکم‌پذیر فرض می‌شود. به دلیل عمق و ارتفاع زیاد مخزن سد بتنی وزنی، از اثر امواج سطحی آب چشم‌پوشی شده و فشار در سطح آزاد مخزن، صفر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شرایط حاکم بر رفتار سد بتنی وزنی و شکل هندسی مخزن، مسئله به صورت دو بعدی در نظر گرفته شده و مؤلفه‌ی افقی و قائم شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه به مدل اعمال می‌شود.

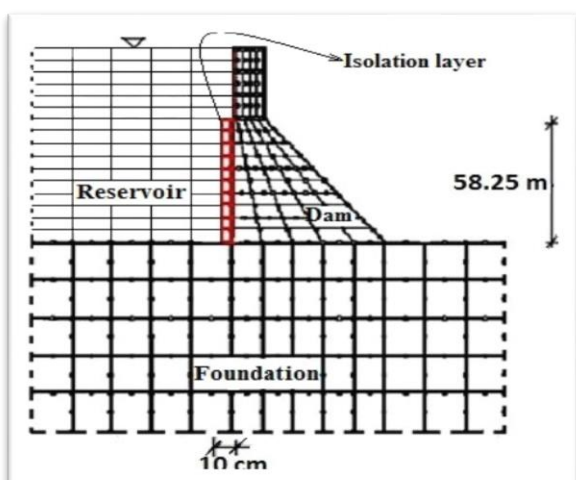
کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۴۹۹ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- ابعاد هندسی مقطع عرضی سد بتنی وزنی Koyna



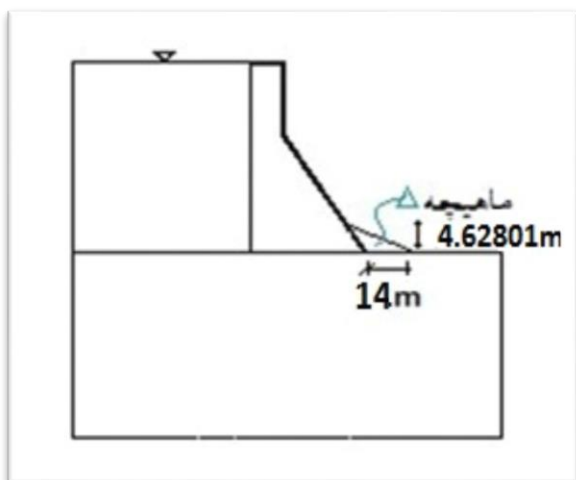
شکل ۲- مدل سد- مخزن- فونداسیون- لایه ایزولاسیون یکپارچه



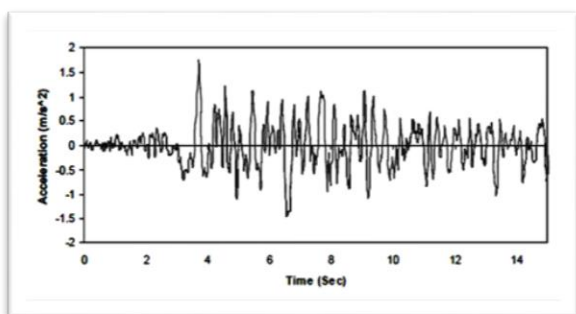
شکل ۳- مدل سد- مخزن- فونداسیون- لایه ایزولاسیون مقطع

برای آنالیز لرزه‌ای سد بتنی وزنی از نرم‌افزار Ansys استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت آنالیز لرزه‌ای با در نظر گرفتن هندسه‌ی نامنظم دامنه‌ها و آثار اندرکنش مخزن و پی را دارا است. برای این منظور عناصر مناسبی که رفتار تراکم‌پذیری سیال را نمایش دهد، پیش‌بینی شده است. همچنین برای مرز دوردست قطع شده نیز از شرط مرزی Sommerfeld استفاده شده است. مشخصات هندسی سد بتنی وزنی Koyna در شکل (۱) و همچنین مدل دارای لایه‌ی ایزولاسیون یکپارچه، منقطع و پلکانی به ترتیب در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) که دارای فونداسیونی انعطاف‌پذیر به ضخامت دو برابر ارتفاع سد، مخزنی پر از آب تا تراز تاج سد و به طول چهار برابر ارتفاع سد است [۱۱]، نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که در مدل با لایه‌ی ایزولاسیون منقطع، اندازه‌ی ارتفاع لایه به وسیله‌ی مدل‌سازی در نرم‌افزار ANSYS با توجه به نزدیک بودن مقدار تنش اصلی حداکثر در پنجه‌ی سد در مدل دارای لایه‌ی ایزولاسیون منقطع نسبت به مدل با لایه‌ی ایزولاسیون یکپارچه ۱۰ cm با انجام سعی و خطا به مقدار ۵۸/۲۵ m به دست آورده شده است تا با مقایسه بین دو طرح به بهینه‌سازی خود لایه‌ی ایزولاسیون و همچنین سد بتنی وزنی پرداخته شود. در مدل با لایه‌ی ایزولاسیون پلکانی، ارتفاع سد بتنی وزنی به چهار قسمت تقسیم شده است که شامل سه قسمت لایه‌ی ایزولاسیون به ضخامت ۳۰ cm و ارتفاع ۳۹ m، لایه به ضخامت ۲۰ cm و ارتفاع ۱۳/۷۵ m، لایه به ضخامت ۱۰ cm و ارتفاع ۱۳/۷۵ m و هم چنین یک قسمت در بخش تاج سد، بدون لایه‌ی ایزولاسیون به ارتفاع ۳۶/۵ m است. مدول الاستیسیته، وزن واحد حجم و ضریب پواسون بتن سد به ترتیب ۳۱/۰۲۷ گیگا پاسکال، ۲۶۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۲ فرض شده و مدول الاستیسیته و ضریب پواسون فونداسیون نیز به ترتیب ۱۶/۸۶ گیگا پاسکال و ۰/۲ در نظر گرفته شده و از مدل فونداسیون بدون جرم استفاده شده است. برای لایه‌ی ایزولاسیون اعمالی بر سد می‌توان از موادی همچون رزین (Rubber) استفاده نمود که مدول الاستیسیته، وزن واحد حجم و ضریب پواسون رزین به ترتیب ۰/۵ مگا پاسکال، ۱۳۰۰

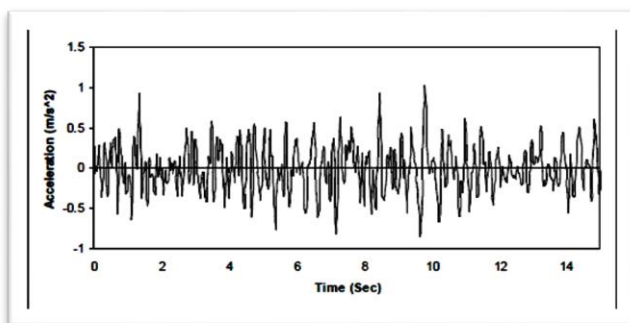
فشاری در آب نیز ۱۴۴۰ متر بر ثانیه و فونداسیون انعطاف‌پذیر فرض و گام زمانی برابر $\Delta t = 0.02 \text{ sec}$ انتخاب شده است. به منظور آنالیز دینامیکی، ۱۵ ثانیه‌ی اول مؤلفه‌ی افقی و قائم شتاب‌نگاشت Taft که در ۲۱ ژوئیه‌ی سال ۱۹۵۲ در مدرسه‌ی لینکن ایالت کالیفرنیا آمریکا ثبت شده، با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) انتخاب شده است. همان گونه که مشخص است، بیشینه شتاب افقی و قائم زمین‌لرزه‌ی Taft به ترتیب، $0.18g$ و $0.10g$ است.



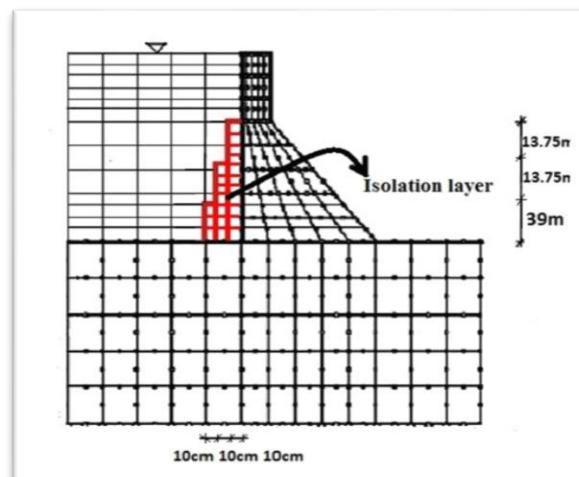
شکل ۵- مدل سد- مخزن- فونداسیون- ماهیچه‌ی بتنی (Fillet)



شکل ۶- مؤلفه‌ی افقی شتاب‌نگاشت زلزله Taft



شکل ۷- مؤلفه‌ی قائم شتاب‌نگاشت زلزله Taft

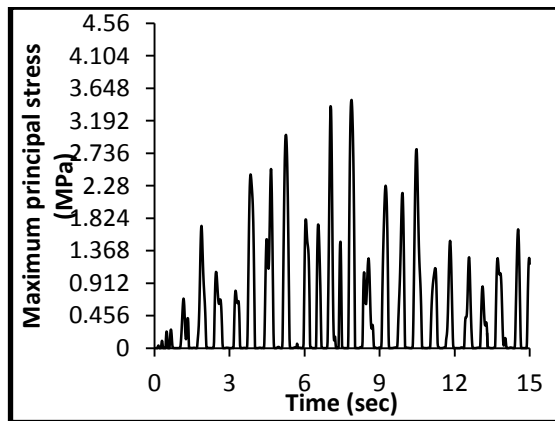


شکل ۴- مدل سد- مخزن- فونداسیون- لایه‌ی ایزولاسیون پلکانی

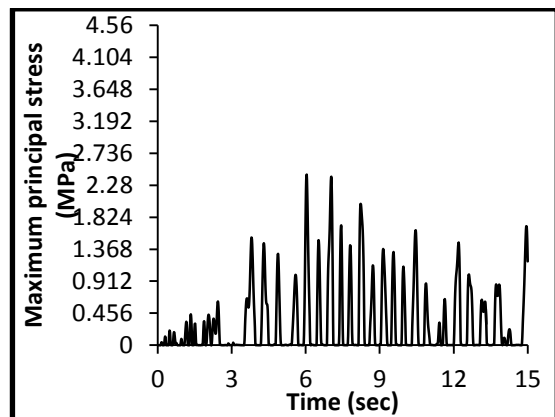
در حالتی دیگر از مدل‌سازی، اگر در پنجه و یا پاشنه‌ی سدهای بتنی، تنش بیشتر از حد مجاز شود و این افزایش تنش، محدود به همین نقاط حساس باشد؛ می‌توان با افزودن یک زائده‌ی بتنی به نام ماهیچه (Fillet) مقدار تنش را به حد مجاز کاهش داد. ارتفاع این زائده در پنجه‌ی سد از رابطه‌ی $h_f = 6.5H - 1.1H^2 - 0.9$ با توجه به شکل (۵)، به دست می‌آید که در رابطه‌ی بالا، H ارتفاع آب ذخیره شده در پشت سد که در حالت حداکثری و به اندازه‌ی ارتفاع سد که بر عدد ۱۰۰ تقسیم شده است، در نظر گرفته می‌شود. h_f ارتفاع ماهیچه است. در مدل مورد نظر، ارتفاع ماهیچه با جایگذاری در معادله‌ی فوق، $4/62801m$ محاسبه شد. البته اندازه‌ی قاعده‌ی مثلث ماهیچه به وسیله‌ی مدل‌سازی در نرم‌افزار ANSYS و به روش سعی و خطا برای نزدیک شدن تنش اصلی حداکثر در پنجه‌ی سد در مدل دارای ماهیچه به مدل سد بتنی با لایه‌ی ایزولاسیون $10cm$ ، به مقدار $14m$ به دست آمده است که هدف از انتخاب این ابعاد برای ماهیچه‌ی تعبیه شده در پنجه‌ی سد، مقایسه‌ی مناسب با مدل سد بتنی وزنی با لایه‌ی ایزولاسیون $10cm$ برای دستیابی به طرح بهینه مورد نظر در سد از لحاظ اقتصادی و اجرایی است.

برای انجام تحلیل لرزه‌ای و انتگرال‌گیری عددی از روش Newmark استفاده شده که پارامترهای آن به صورت $\beta = 0.25$ و $\gamma = 0.5$ انتخاب شده است. سرعت امواج

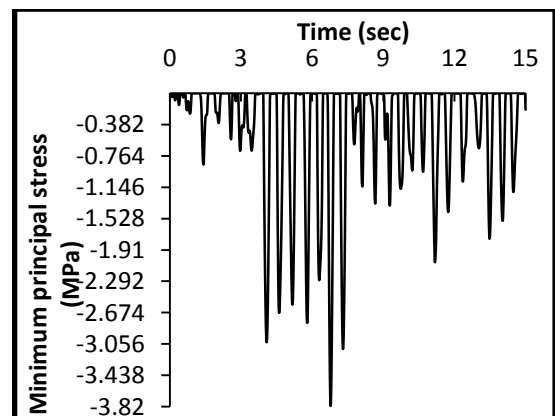
یکپارچه، منقطع و پلکانی به ضخامت ۱۰cm و همچنین مدل دارای ماهیچه استخراج شده‌اند. منحنی‌های (۸) تا (۱۷)، پاسخ تاریخیچه‌های زمانی تنش‌های اصلی بیشینه و کمینه را برای حالات مختلف لایه‌ی ایزولاسیون نمایش می‌دهند.



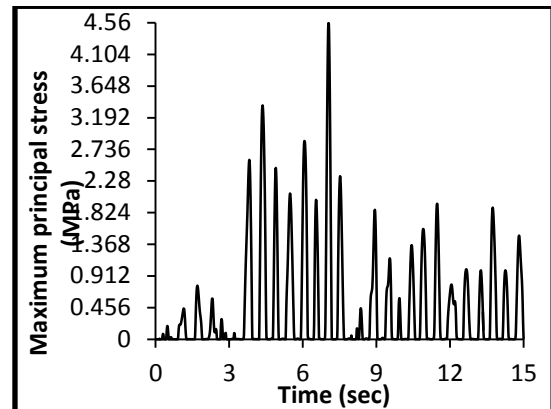
شکل ۱۱- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی بیشینه در پنجه سد برای حالت لایه منقطع



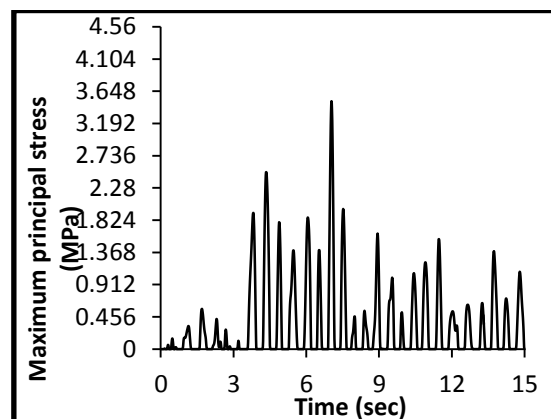
شکل ۱۲- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی بیشینه در پنجه سد برای حالت لایه پلکانی



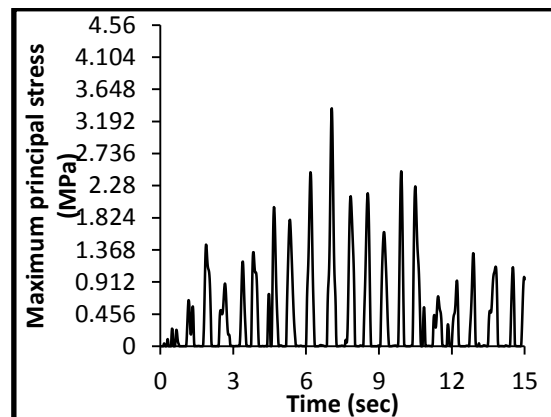
شکل ۱۳- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی کمینه در پنجه سد برای حالت بدون لایه



شکل ۸- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی بیشینه در پنجه سد برای حالت بدون لایه



شکل ۹- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی بیشینه در پنجه سد برای حالت ماهیچه بتنی

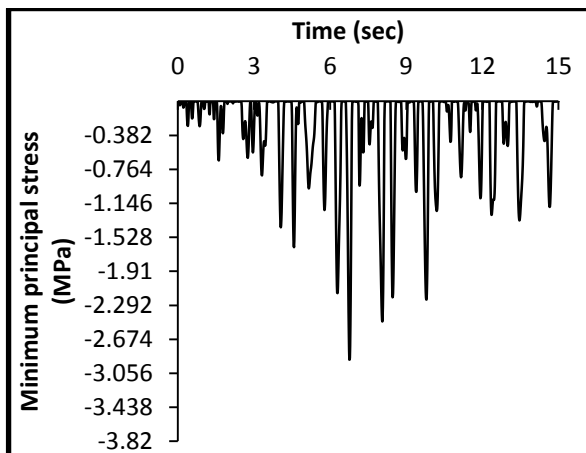


شکل ۱۰- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تنش اصلی بیشینه در پنجه سد برای حالت لایه یکپارچه ۱۰cm

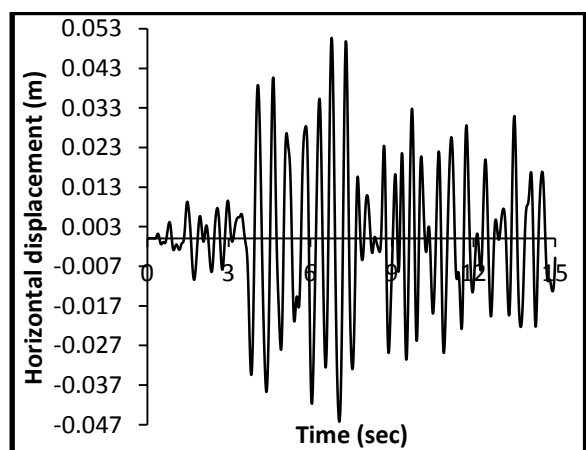
۳- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها

بعد از تحلیل مدل، تاریخیچه‌های زمانی توزیع تغییرمکان افقی در تاج سد و تنش‌های اصلی بیشینه و کمینه در پنجه سد و فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد با استفاده از نرم‌افزار Ansys، برای سیستم بدون لایه و دارای لایه‌ی ایزولاسیون

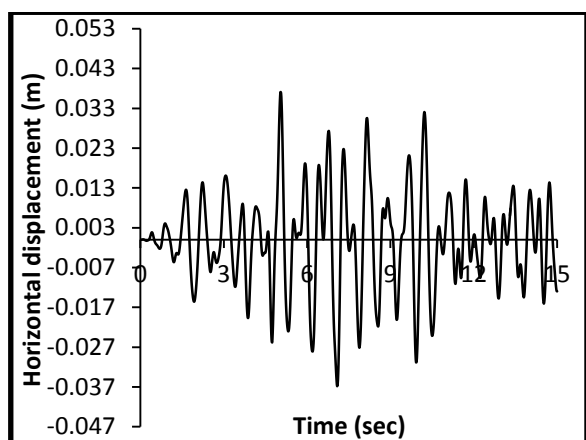
مطابق منحنی‌های (۱۸) تا (۲۵) استخراج شده است:



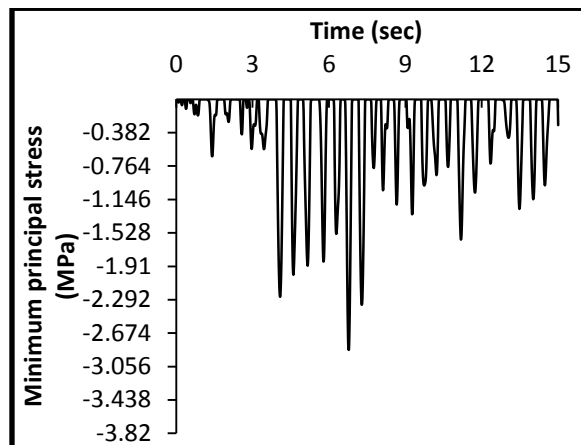
شکل ۱۷- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تنش اصلی کمینه در پنجه سد برای حالت لایه پلکانی



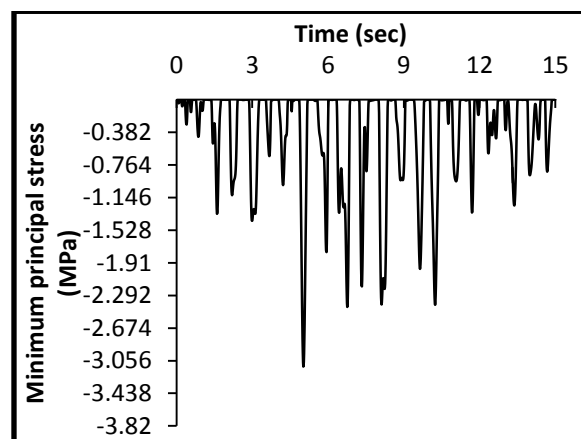
شکل ۱۸- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت بدون لایه



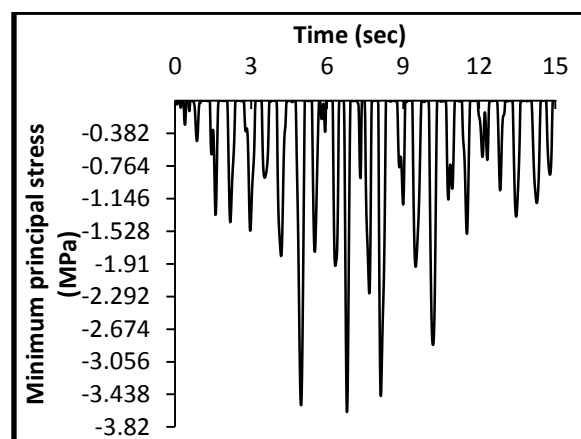
شکل ۱۹- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه ۱۰ cm



شکل ۱۴- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تنش اصلی کمینه در پنجه سد برای حالت ماهیچه بتنی

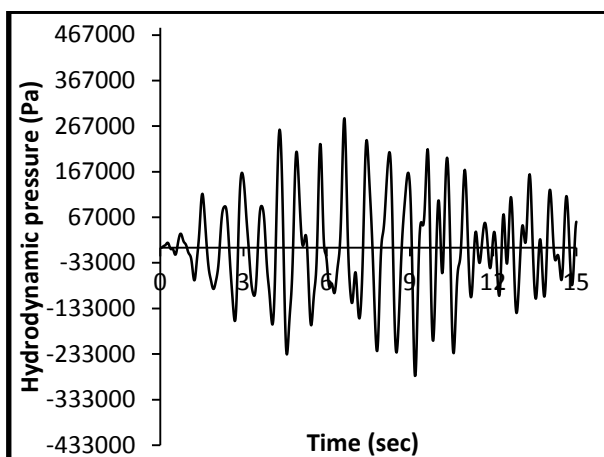


شکل ۱۵- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تنش اصلی کمینه در پنجه سد برای حالت لایه ۱۰ cm

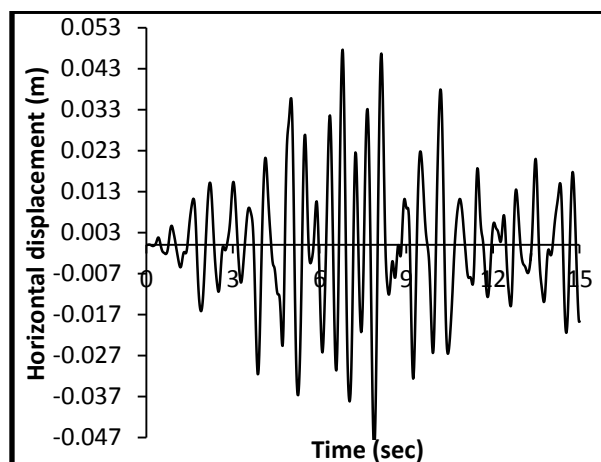


شکل ۱۶- منحنی پاسخ تاریخیچه‌ی زمانی تنش اصلی کمینه در پنجه سد برای حالت لایه منقطع

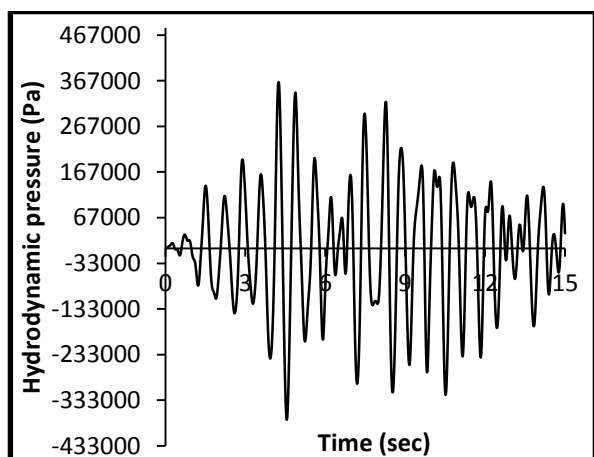
در ادامه، پاسخ‌های تاریخیچه زمانی مربوط به تغییر مکان افقی تاج و فشار هیدرودینامیکی در مجاورت پاشنه سد و مخزن



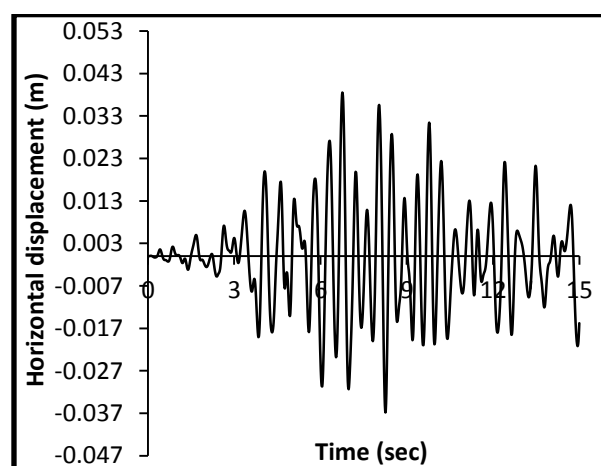
شکل ۲۳- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه ۱۰ cm



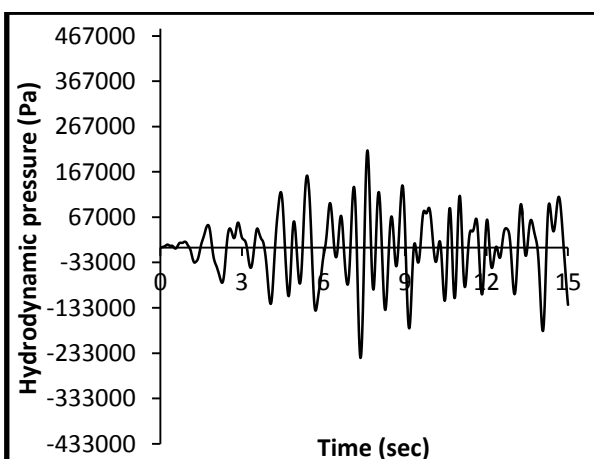
شکل ۲۰- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه منقطع



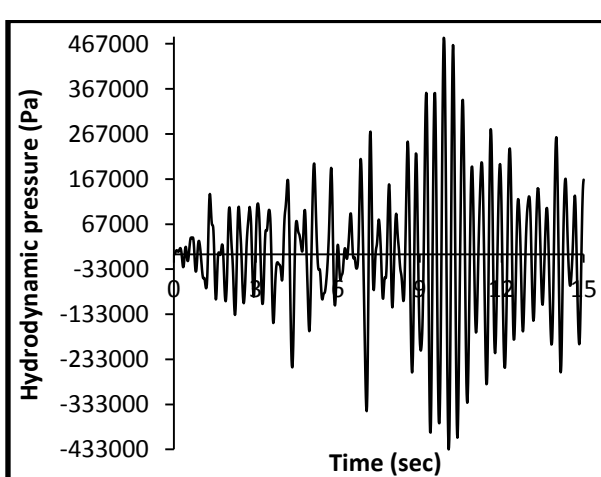
شکل ۲۴- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه منقطع



شکل ۲۱- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه پلکانی



شکل ۲۵- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه پلکانی



شکل ۲۲- منحنی پاسخ تاریخیچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت بدون لایه

۴- ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌ها

برای بررسی مناسب‌تر و مقایسه‌ی عددی حالات مختلف، نتایج حاصل از پاسخ‌های حداکثر به صورت جداول (۱) تا (۶) ارائه شده است:

جدول (۴): درصد کاهش پاسخ تنش‌های اصلی

درصد کاهش نسبت به حالت بدون لایه‌ی ایزولاسیون	حداکثر تنش اصلی (%)	حداقل تنش اصلی (%)
وجود ماهیچه در پنجه	۲۲/۹۸	۲۴/۸۲
لایه‌ی منقطع ۱۰cm	۲۳/۴۹	۴/۳۵
لایه‌ی یکپارچه ۱۰cm	۲۵/۸۱	۱۷/۹۹
لایه ایزولاسیون پلکانی	۴۶/۶۰	۲۳/۷۹

جدول (۱): مقادیر عددی تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل در پنجه

مدل سد بتنی وزنی	حداکثر تنش اصلی (Mpa)	حداقل تنش اصلی (Mpa)
بدون لایه‌ی ایزولاسیون	۴/۵۵۳۶۴	-۳/۸۱۰۷۹
وجود ماهیچه در پنجه	۳/۵۰۶۹۵	-۲/۸۶۴۸۱
لایه‌ی منقطع ۱۰cm	۳/۴۸۴۱۷	-۳/۶۴۴۹۱
لایه‌ی یکپارچه ۱۰cm	۳/۳۷۸۵	-۳/۱۲۵۰۳
لایه ایزولاسیون پلکانی	۲/۴۳۱۵	-۲/۹۰۳۹۴

جدول (۵): درصد کاهش پاسخ حداکثر تغییر مکان

درصد کاهش نسبت به حالت بدون لایه‌ی ایزولاسیون در طرح	حداکثر تغییر مکان مثبت (%)	حداکثر تغییر مکان منفی (%)
لایه‌ی منقطع ۱۰cm	۶/۰۴	۰/۰۱
لایه ایزولاسیون پلکانی	۲۴/۰۳	۲۰/۴۵
لایه‌ی یکپارچه ۱۰cm	۲۶/۸۴	۲۰/۴۴

جدول (۲): مقادیر عددی حداکثر تغییر مکان

سد بتنی وزنی در حالت	حداکثر تغییر مکان افقی مثبت تاج سد (m)	حداکثر تغییر مکان افقی منفی تاج سد (m)
بدون لایه	۰/۰۵۰۶۹۹۱	-۰/۰۴۶۲۵۵۴
لایه منقطع	۰/۰۴۷۶۳۸۶	-۰/۰۴۶۰۴۶۵
لایه پلکانی	۰/۰۳۸۵۱۶۳	-۰/۰۳۶۷۹۴۴
لایه یکپارچه	۰/۰۳۷۰۸۹	-۰/۰۳۶۷۹۹۱

جدول (۶): درصد کاهش پاسخ حداکثر فشار هیدرودینامیکی

درصد کاهش نسبت به حالت بدون لایه‌ی ایزولاسیون در طرح	حداکثر فشار مثبت (%)	حداکثر فشار هیدرودینامیکی منفی (%)
لایه‌ی منقطع ۱۰cm	۲۴/۳۲	۱۳/۱۷
لایه‌ی یکپارچه ۱۰cm	۴۰/۸۲	۳۵/۱۴
لایه ایزولاسیون پلکانی	۵۵/۴۰	۴۳/۷۱

جدول (۳): مقادیر عددی فشار حداکثر هیدرودینامیکی

سد بتنی وزنی در حالت	حداکثر فشار مثبت پاشنه (Pa)	حداکثر فشار هیدرودینامیکی منفی پاشنه (Pa)
بدون لایه	۴۸۰۳۷۵	-۴۳۲۸۶۲
لایه منقطع	۳۶۳۵۵۳	-۳۷۵۸۴۳
لایه یکپارچه	۲۸۴۲۸۹	-۲۸۰۷۵۹
لایه پلکانی	۲۱۴۲۴۲	-۲۴۳۶۵۸

۵- نتیجه‌گیری

در طول زلزله، سهم فشار هیدرودینامیکی در پاسخ لرزه‌ای سد بتنی وزنی قابل توجه است. نتیجه‌ی تنش‌ها، منجر به آغاز و گسترش ترک‌های داخلی سد در طول رخداد لرزه‌ای قوی می‌شود. راهکار صریح برای کاهش پاسخ سد بتنی این است که میرایی سازه‌ای آن به مقدار بالایی، افزایش یابد؛ اما به سبب

لازم به ذکر است که وجود لایه‌ی ایزولاسیون، ایمنی کل سد را افزایش می‌دهد و پاسخ تغییر مکان و تنش‌ها را در کل بدنه‌ی سد کاهش می‌دهد در حالی که وجود ماهیچه فقط وضعیت

۶- مراجع

- [1] Westergaard, H.M., "Water pressure on dams during earthquake". Transactions, ASCE, Vol. 98, (1933), p. 418-433.
- [2] Chopra, A.K., "Hydrodynamic pressure on dams during earthquakes". Journal of engineering mechanics division", Vol. 93, (1967), p.205-223.
- [3] Chopra, A.K., "Earthquake behavior of reservoir-dam system". Journal of engineering mechanics division", Vol. 94, (1968), p.1475-1500.
- [4] Hall, J.F., and EL-Aidi, B., "Hydrodynamic isolation of concrete gravity dams". Proceeding of the seismic eng. Struct. Congress, (1989), p. 307-316.
- [5] Hall, J.F., Dowling, M. J. and EL-Aidi, B., "Defensive earthquake design of concrete gravity dams". Dam engineering, Vol. 3, (1992), p. 249-264.
- [6] Hatami, K. and Ghobarah, A., "Reduction of the seismic response of concrete gravity dams using hydrodynamics isolation". Proc. Seventh Canadian conf. earthq. Eng., (1995), p.333-340.
- [7] Hatami, K., "Effect of Reservoir Boundaries on the seismic Response of Gravity Dams". Ph.D. thesis, McMaster university, Hamilton ontario, Canada, (1997).
- [8] Zhang, S. J., Chen, J., Zhang, Y. Z. and Liu, H. W., "Research of air-cushion isolation effects on high arch dam reservoir". Acta Mech. Sin., Vol. 27, No. 5, (2011), p. 675-686.
- [9] Mirzabozorg, H., Lamea, M. and Sehat, H.R., "Hydrodynamic Isolation and 3d Seismic Response Of Concrete Arch Dams". Dam engineering; Vol 22, No 3, (2012), p. 227-250.
- [۱۰] پیروزی، امیر، "بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردیبهشت، ۱۳۹۲.
- [۱۱] پیروزی، امیر؛ پاسبانی خیاوی، مجید، "تأثیر مرز دوردست قطع شده بر پاسخ لرزه‌ای سد بتنی وزنی تحت اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون"، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، دانشکده آبیاری، کرج، ۱۳۹۲.

ساختار طبیعی سد و خواص جنس و مصالح بتن، کم پیش می‌آید که بتوان درباره‌ی میرایی سازه‌ای از لحاظ کاهش پاسخ، کاری انجام داد. نظریه‌ی کاهش بارگذاری هیدرودینامیکی در سد به نظر می‌رسد که یک راهکار امیدوارکننده برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سدهای بتنی باشد. پس در این مطالعه برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سدهای بتنی وزنی و بهینه‌سازی لرزه‌ای آن، از لایه‌ی ایزولاسیون یا پرده‌ی جداساز هیدرودینامیکی استفاده شد. در طرح پیشنهادی اول و دوم، لایه ایزولاسیون ۱۰ سانتی‌متری مورد آنالیز و بررسی قرار گرفته به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و مدل لایه ایزولاسیون منقطع و پلکانی به منظور بهینه‌سازی سد بتنی وزنی در نظر گرفته شد. با دقت در نتایج می‌توان گفت که طرح لایه ایزولاسیون منقطع و پلکانی در بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های طرح و اجرای لایه‌ی رزینی در بدنه‌ی بالادست سد مؤثر است.

در خاتمه لازم به اشاره است که مدل ارائه شده در این پژوهش، سبب کاهش هزینه‌های مصالح مصرفی از جمله بتن به علت هزینه‌ی کم اجرای رزین و کاهش هزینه‌های مطالعه و مشاوره و طراحی سد و همچنین افزایش ضریب اطمینان سیستم در برابر بارهای لرزه‌ای می‌شود که این موارد از مزیت‌های قابل توجه و با توجیه اقتصادی در طرح‌های ارائه شده در این مطالعه است.

Research Note:

Investigation of The Effect of Isolation Layer on Reduction of Seismic Response of Concrete Gravity Dams Considering Interaction Effects

Amir. Pirooznia^{1*}, Majid. Pasbani-khiavi²

1- Ph. D Student in Hydraulic Structures and Water Eng, Faculty of Eng., Zanjan University, Zanjan, Iran.

2- Assistant Professor., Department of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Amir.pirooznia@gmail.com

Abstract:

One of the important aspects which may affect the seismic response of gravity dams is dam-reservoir-foundation interaction. The dam-reservoir interaction must be taken into account, since the dam undergoes deformation which influences the motion of water in the reservoir. Due to the complexity of a dam-reservoir-foundation system, the finite element method is an efficient tool for studying the dynamic response of such a system not only due to the complicated geometry of the dam-reservoir-foundation system but also due to the mechanism of incident earthquake waves and different boundary conditions which can be simulated more appropriately. In order to seismic analysis of gravity dams, a computational procedure for two-dimensional finite-element analysis of dam-reservoir-foundation systems subjected to seismic excitations is developed using ANSYS software in this research. Water is assumed as a compressible, inviscid fluid with small amplitude displacements and the dam is modeled as an elastic solid. The analysis is carried out in time domain considering dynamic excitations. Newmark time integration scheme is developed to solve the time-discretized equations which are an unconditionally stable implicit method. An application of the procedure to a study of the seismic optimization of concrete gravity dams using hydrodynamic isolation layer under horizontal and vertical ground motions is presented and discussed. In this study, the hydrodynamic isolation layer is used for the geometry and seismic optimization of concrete gravity dams. For this purpose, the volume of dam body is considered as the objective function and constraints of various geometrical and structural behaviors in order to optimize the concrete gravity dam under seismic loading. To demonstrate the effectiveness of the developed numerical model, the response of Koyna dam in India due to Taft ground motion is presented as a case study to show the hydrodynamic isolation effects on seismic optimization of concrete gravity dams. The model has been analyzed and compared for the case without isolation layer, the cases in which the isolation layer attached along the upstream face of dam as integrated, interrupted and stepped and the dam model with fillet in toe.

Consider to obtained results, it is revealed that the isolation layer can have the reducing effect on responses of dam model because of damping the induced hydrodynamic pressure due to earthquake. The layer reduces the dam response due to the hydrodynamics effect of the reservoir in essentially two different ways: (a) The layer serves as a boundary for the reservoir with a low reflection coefficient which results in reduction in the developed hydrodynamic pressure in the reservoir compared with the case of a completely reflective boundary. (b) The isolation of the dam from the hydrodynamic pressure is the result of the layer thickness as well as its material properties which can damp the amplitude of the induced hydrodynamic pressure wave across the layer. It should be noted that the isolation layer can decrease response of displacement and stress in all body of the dam and Subsequently, It can increase the safety of the dam. Accordingly, It can be acknowledged that Optimal selection of isolation layer height and thickness depend on its effectiveness in reducing of response consider to economic and executive justification.

Keywords: Interaction, Time history analysis, Concrete gravity dam, Isolation layer