



Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 1

Numerical Analysis of the Effect of Upstream Morphological Changes on Stability of Kharkheh Diversion Dam Using HEC-RAS and SAP Software

Bahram Jafari¹ and Mohammad Heidarnejad²

¹Former M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

²Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: 28.02.2022; Accepted: 26.05.2022

Abstract

The devastating flood of Karkheh River in 2019 besides changes of morphology and conditions of the river bed after operation of the dam warn the experts to double check stability of Karkheh (Hamidieh) Diversion Dam to assure that the dam is in good conditions. Great accuracy and simplicity of mathematical models, besides the easy access they provide to the results and data analyses, makes them a suitable alternative for the empirical methods. The present study is an attempt to use HEC-RAS and SAP software to analyze the effect of upstream morphological changes on stability of Karkheh Diversion Dam. The results suggest that structure of Hamidieh Regulatory-Diversion Dam is conveniently stable and the models are indicative of proper stability factors. According to the results, safety factors of the stability of Hamidieh Dam against sliding of the middle pier under normal and special loads are 1.51 and 6.93 respectively. Considering the age of Hamidieh Dam and wears and damages observed on its hydraulic structures, further studies on curing and repair of this dam are recommended. The results suggest that stresses applied to the lower parts of the weir are slightly larger than the allowable range.

Keywords: Stability of the Diversion Dam, SAP, HEC-RAS, Flood

¹Corresponding author, Email: mo_he3197@yahoo.com



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"

دوره اول، شماره اول

<http://Nawee.gonbad.ac.ir>

مطالعه عددی پایداری سد انحرافی کرخه تحت تأثیر تغییرات مورفولوژی بالادست آن با کمک

نرم افزار های HEC-RAS و SAP

بهرام جعفری^۱ و دکتر محمد حیدر نژاد^۲

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۲ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

چکیده

سیلاب شدید سال ۱۳۹۸ رودخانه کرخه از یک سو و تغییرات مورفولوژی و شرایط بستر رودخانه طی سالیان بعد از آغاز بهره‌برداری از سوی دیگر این هشدار را به کارشناسان می‌دهد تا بار دیگر با بررسی دوباره پایداری سد انحرافی کرخه (حمیدیه) از سلامت سد مطمئن شوند. استفاده از مدل‌های ریاضی به خاطر دقت بالا و در عین حال سادگی و دستیابی سریع به نتایج و آنالیز داده‌ها می‌تواند جایگزین روش‌های تجربی گردد. در این تحقیق سعی بر آن شده تا با کمک نرم افزارهای HEC-RAS و SAP به مطالعه پایداری سد انحرافی کرخه تحت تأثیر تغییرات مورفولوژی بالادست آن پرداخته شود. نتایج نشان می‌دهد که سازه سد تنظیمی - انحرافی حمیدیه با توجه به بارگذاری و مدلسازی صورت گرفته در حال حاضر پایدار بوده و از ضرایب پایداری مناسبی برخوردار می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ضرایب اطمینان کنترل پایداری در مقابل لغزش سازه پایه میانی سد حمیدیه تحت بارگذاری‌های Normal و Special به ترتیب برابر با ۱/۵۱ و ۶/۹۳ است. با توجه به عمر بالای سد حمیدیه و مشاهده آثار فرسودگی و تخریب در سازه های هیدرولیکی آن، انجام مطالعه جهت علاج بخشی و ترمیم این سد پیشنهاد می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که تنش‌های وارده در پایین‌دست بدنه سرریز سد حمیدیه، مقداری از محدوده مجاز فراتر رفته است.

واژه های کلیدی : پایداری سد، سد انحرافی، SAP، HEC-RAS، سیلاب

^۱Corresponding author .Email: mo_he3197@yahoo.com

مقدمه

منابع آب محدود و افزایش مصرف روزافزون، باعث گردیده حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب با اعمال روش‌های علمی نوین، نگرشی تازه به این موضوع داشته باشد و این نگرش با هدف حفظ و صیانت از منابع آب، استفاده بهینه را نیز به همراه داشته و عوامل مخرب را حذف یا کاهش دهد. آگاهی از مشکلات پایداری و قوانین حاکم بر آن برای متخصصان این امکان را فراهم می‌آورد که بهترین روش بررسی پایداری را در سدها اعمال نموده و از زیان‌های احتمالی مالی و جانی پیشگیری کنند. روش‌های مختلفی برای بررسی پایداری وجود دارد روشی که برای یک پروژه مناسب باشد بستگی به عوامل فراوانی دارد. سوال اصلی تحقیق این است که آیا سازه مورد مطالعه از ضریب ایمنی مناسبی برخوردار بوده و پاسخ‌گوی تنش‌های وارده، لغزش و واژگونی می‌باشد یا خیر. نیروهای وارده متغیرهای مسئله هستند. این نیروها در دسته کلی نیروهای هیدرولیکی، ثقل و زلزله قرار می‌گیرند.

در ارتباط با این مفاهیم پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. سیموئس و همکاران با بررسی شکل بهینه سد بتنی وزنی به روش SLP در معرض بار زلزله ارائه دادند که سیستم سازه‌ای توسط روش المان محدود مدل شده است. آنالیز پاسخ دینامیکی توسط آنالیز مودال با روند انتگرال گیری گام به گام محاسبه می‌شود. بارگذاری شامل وزن سد، فشار آب، فشار برکنش به علاوه زلزله و فشار هیدرودینامیک مربوط به زلزله هست (Simoes and Lapa, 1994; Simoes, 1995). ملازاده و همکاران نیز به بهینه کردن سه سد پایین فلت، ریچارد و فریانت توسط الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این امر از دو آیین‌نامه ارتش آمریکا و Bureau of Reclamation استفاده و نتایج را باهم مقایسه نمودند (U.S. Bureau of Reclamation, 1977). تحقیقی نیز در رابطه با سدهای بتنی وزنی انجام گرفت و اثرات تغییر طول سرریز بر روی ظرفیت ذخیره و تخلیه مخزن و در نهایت تأثیرات آن بر روی ارتفاع سد بررسی شد و یک مدل بهینه یابی ارائه گردید و علاوه بر آن اهمیت استفاده از ریسک بهینه در انتخاب سیلاب طراحی نشان داده شده است. همچنین در سال ۱۳۸۵ فرهنگد آذر و همکارانش روی بهینه‌سازی شکل سدهای بتنی وزنی به

روش ESO کار نمودند (Asareh et al., 2006). هدف از این پژوهش بهینه‌سازی شکل سدهای بتنی وزنی بوده بطوری که کاهش حجم در بتن‌ریزی را به دنبال داشته باشد. در این راستا یک برنامه کامپیوتری تحلیل اجزاء محدود با المان‌های مثلثی ۶ گرهی به همراه پیاده‌سازی الگوریتم ESO بر مبنای حذف ۳ المان بر اساس تراز تنش فون میسر به زبان برنامه‌نویسی فرترن تهیه شده است. مبنای آن تکامل سازه از یک ۴ مدل هندسی اولیه فرضی به یک مدل نهایی بهینه می‌باشد. غضنفری و هاشمی مطالعه‌ای انجام دادند که بهینه‌سازی پروفیل سد وزنی به صورت دوبعدی تحت بارگذاری‌های متفاوت با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی باز پخت را مد نظر قرار داده بود. در این راستا سد و پی توسط شبکه المان محدود به زبان برنامه‌نویسی فرترن مدل شده است و بهینه‌سازی سیستم تحت انواع بارگذاری توسط الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت انجام گرفته است (Ghazanfari Hashemi, 2007).

اولین تحقیقاتی که بر روی گسترش ترک در سد پرداخته شد موجب اهمیت دادن به آنالیزهای مربوط به پاسخ سد در برابر بارهای لرزه‌ای را ایجاد کرد (Chopra and Chakrabarti, 1972). در این تحقیقات با فرض صلب بودن پی سد آنالیز بر روی سازه انجام می‌گرفت (Pal, 1974). تحقیقاتی در همین راستا با در نظر گرفتن فونداسیون بدون جرم و با روش تحلیل ترک پخشی صورت گرفته است که در آن فونداسیون به صورت مستطیلی نیمه بی‌نهایت مدل می‌شود (El-Aidi and Hall, 1989). صلب بودن پی دور از واقعیت است در نتیجه در نظر گرفتن مدول الاستیسیته پی مورد توجه قرار گرفت. واقع بینانه‌ترین مدل‌هایی که برای سد در نظر گرفته می‌شود با در نظر گرفتن اندرکنش سیستم سد-پی-مخزن تحت بارهای لرزه‌ای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح می‌باشد (Bhattacharjee and Leger, 1993). در آنالیز غیرخطی یکی از روش‌های مرسوم استفاده از روش ترک‌پخشی است. این روش که برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ ارائه گردید که برای آنالیز غیرخطی با در نظر گرفتن اندرکنش سیستم سد-فونداسیون-مخزن مورد استفاده قرار گرفت (Ghaemian and Ghobarah, 1998).

کالر و کاراتون با استفاده از مدل پیوسته خرابی که با در نظر گرفتن رفتار نرم‌شوندگی بتن سد است بررسی‌هایی انجام دادند. تاثیر اندازه مش را در انرژی شکست بررسی کردند و با در نظر گرفتن نسبت میراگرهای ویسکوز در مخزن سد تاثیر آن را در پاسخ زلزله بررسی کردند. همچنین به اثر زلزله در فرکانس‌های بالا زمانی که سختی سازه ناگهانی به دلیل ایجاد ترک کاهش می‌یابد، پرداختند (Calayir and Karaton, 2005). قائمیان و میرزابزرگ در مقاله‌ای معیار باز و بسته شدن دوباره‌ی ترک‌ها بر اساس مقدار کرنش‌های اصلی را مورد مطالعه قرار دادند (Mirzabozorg and Ghaemian 2005). همانطور که می‌دانیم در شرایط بارگذاری رفت و برگشتی مقداری کرنش پسماند در المان‌هایی که ترک در آن‌ها بسته شده است وجود دارد، لذا بر همین اساس کرنش کل می‌تواند به دو مولفه‌ی کرنش الاستیک و کرنش پسماند تقسیم‌بندی شود. تست‌های ارتعاشی صورت گرفته بر روی سد پایین‌فلت نشان داد که تحت ارتعاشات با دامنه کم، یک سد وزنی همانند یک جسم جامد پیوسته عمل می‌کند هر چند که ممکن است لغزش‌هایی مابین مونولیت‌های آن صورت گیرد (Mirzabozorg et al., 2008). در نتیجه در ابتدای شروع زلزله رفتار سد با استفاده از یک مدل سه‌بعدی به بهترین شکل می‌تواند توصیف شود. با بیشتر شدن دامنه حرکت، نیروهای اینرسی بسیار بیشتر از نیروهای برشی که می‌توانند از طریق درز بین مونولیت‌های سد منتقل شوند، خواهند بود. در نتیجه مونولیت‌ها نسبت به هم لغزیده و تمایل دارند که به شکل مستقل ارتعاش کنند. از آنجا که ابعاد و مشخصات دینامیکی مونولیت‌های مختلف یک سد ممکن است متفاوت بوده و تغییر یابند، اثرات سد بر روی تنش شکل‌های پی در امتداد پایه سد متغیر خواهد بود. در نتیجه یک مدل سه‌بعدی برای پی سد ضروری به نظر می‌رسد. در مدلسازی دوبعدی، اگر سد مانند یک جسم جامد بدون لغزش بین مونولیت‌ها عمل کرده و همه مشخصات آن و همچنین مشخصات رکورد زلزله در امتداد طول آن تغییر نکند، می‌توان فرض نمود که سد به همراه پی رفتار کرنش صفحه‌ای دوبعدی دارند. رفتار تنش صفحه‌ای که در بدنه‌های نازک ورقه مانند دیده می‌شود برای پی‌های پیوسته مناسب به نظر نمی‌رسد.

طرح سدهای مقاوم در برابر زلزله و همچنین ارزیابی ایمنی سدهای موجود در برابر زلزله‌های آینده نیازمند روش‌های تحلیلی موثق و معتبر می‌باشد. حریری و کلبدی در تحقیقات خود بر روی سد قوسی، وزنی و پشت بنددار به ترتیب از سدهای دز، کوینا و سفیدرود در نرم‌افزار آباکوس استفاده کردند. هر کدام از سدها را تحت بارهای زلزله به ترتیب ال سنترو، کوینا و منجیل قرار دادند و نتایج تنش‌ها، جابجایی تاج سدها و همچنین ترک‌خوردگی آن‌ها را با مدل‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار دادند. جهت انجام تحلیل المان محدود سد از ۲۰۴۰ المان چهار نقطه‌ای ایزوپارامتریک کرنش صفحه‌ای و جهت مدلسازی دریاچه از ۳۷۷۴ المان آکوستیک استفاده کردند (Hariri-Ardebili and Seyed-Kolbadi, 2015).

بررسی‌های صورت گرفته نشان از کارایی مدل‌های ریاضی برای گزینه‌ای مناسب جهت جایگزین روش‌های تجربی دارد. از طرفی با توجه به اینکه از عمر سازه سد انحرافی کرخه (حمیدیه) بیش از ۶۰ سال می‌گذرد و در طول زمان تغییراتی در رژیم جریان و مورفولوژی بستر رودخانه بر اثر فرسایش و رسوبگذاری رخ داده است، بررسی همه نیروها و حالات مختلف بارگذاری حاصل از نیروهای استاتیکی و دینامیکی هدف از پژوهش است. در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر این تغییرات بر پایداری سد تحت تاثیر نیروهای موثر می‌پردازیم و در این راه از تلفیق کاربرد نرم افزار HEC-RAS در آب‌های سطحی و نرم‌افزار SAP در تحلیل سازه در این پژوهش استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

حوضه مورد مطالعاتی

مطالعات احداث سد انحرافی کرخه (حمیدیه) بر روی رودخانه کرخه در سال ۱۳۱۸ آغاز شده و در سال ۱۳۳۶ به بهره‌برداری رسیده است. این سد در ۱۱ کیلومتری شمال شهرستان حمیدیه و ۳۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان اهواز واقع شده است. در طرفین این سد چهار آبگیر به نام‌های وصیله و چمران (در سمت چپ) و قدس و دشت آزادگان (در سمت راست) قرار دارند. در حال حاضر آبگیر وصیله با طول کانال ۱۰/۸ کیلومتر و ظرفیت اسمی ۴۰ مترمکعب در ثانیه، آبگیر چمران با طول کانال ۳۳ کیلومتر و ظرفیت اسمی ۹۰ متر مکعب در ثانیه،

نمای کلی سد حمیدیه، نگاره ماهواره‌ای جانمایی سد و پلان کلی سد حمیدیه را نشان می‌دهد. سد انحرافی حمیدیه با اینکه از زمان بهره‌برداری تاکنون نقش بسیار مهمی در تنظیم و انحراف آب برای آبیاری مزارع پایین دست را به‌عهده داشته متأسفانه از دید بهره‌برداری مورد توجه و رسیدگی قرار نگرفته است، لذا مطالعات کنترل پایداری این سد با توجه به وضعیت فعلی آن، هدف این تحقیق می‌باشد. مشخصات کلی سد حمیدیه به شرح زیر است:

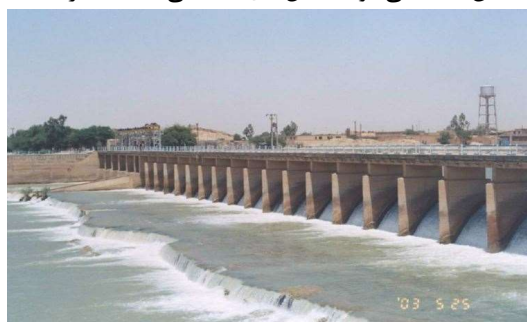
موقعیت سد: ۳۵ کیلومتری شمال غرب اهواز، نوع سد: بتنی، سال شروع عملیات اجرایی: ۱۳۲۹، سال شروع بهره‌برداری: ۱۳۳۶، طول تاج: ۱۹۲ متر، ارتفاع سرریز از کف: حدود ۴/۵ متر، گنجایش مفید دریاچه: ۴/۲ میلیون مترمکعب، مجرای عبور رسوب به ظرفیت ۵۳۵ مترمکعب بر ثانیه، دهانه سرریز میانی به عرض ۵/۸ متر و یک سازه ماهی رو، آبگیر قدس در جناح راست به ظرفیت ۱۳ مترمکعب در ثانیه، آبگیر دشت آزادگان در جناح راست به ظرفیت ۷۵ مترمکعب در ثانیه، آبگیر چمران در جناح راست به ظرفیت ۹۰ مترمکعب در ثانیه، آبگیر قدس در جناح راست به ظرفیت ۱۳ مترمکعب در ثانیه، تراز اوجی سرریز: ۱۹/۷۵، تراز کف حوضچه: ۱۴/۹۵



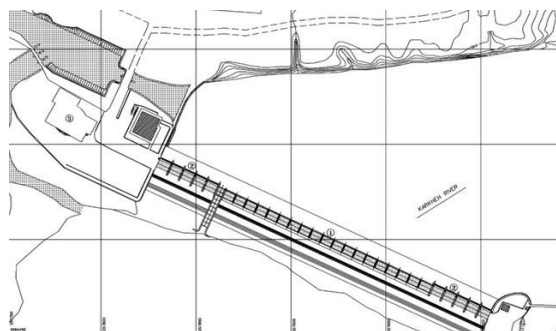
شکل ۲- جانمایی سد حمیدیه

آبگیر دشت آزادگان با طول کانال ۱۷ کیلومتر و ظرفیت اسمی ۷۵ متر مکعب در ثانیه و آبگیر قدس با طول کانال ۲۵ کیلومتر و ظرفیت اسمی ۱۳ مترمکعب در ثانیه در حال بهره‌برداری می‌باشند. به دلیل مشکلات ناشی از وجود جریان آب بر روی سازه امکان برداشت مشخصات هندسی اوجی در بالادست و پائین‌دست توسط مشاورین نقشه بردار نبوده است. بنابراین معادله منحنی پائین‌دست و شعاع قوس‌های بالادست و پائین‌دست اوجی نامشخص می‌باشد. جریان پس از عبور از آستانه سرریز وارد یک تندآب شده که در انتهای آن جهت استهلاک انرژی آب و جلوگیری از فرسایش پائین‌دست از حوضچه آرامش استفاده شده است. ظرفیت هر یک از دریچه‌های مجرای تخلیه رسوبات در تراز عادی بهره‌برداری مخزن (تراز ۱۹/۷۵ متر از سطح دریا) ۲۲۶ مترمکعب بر ثانیه و ظرفیت کل سیستم تخلیه رسوبات ۲۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

در راستای احداث سد عظیم مخزنی کرخه و لزوم اختصاص منابع آبی تنظیمی دائم و مطمئن به پایین دست آن، بخشی از این منابع آبی به سد انحرافی حمیدیه (کرخه) اختصاص داده می‌شود. شکل‌های (۱) الی (۳) به ترتیب



شکل ۱- نمای سد حمیدیه



شکل ۳- پلان سد حمیدیه

جدول ۱- هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت های مختلف در محل سد حمیدیه

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
حداکثر دبی ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	۸۵۵	۱۳۶۱	۱۶۷۹	۱۹۸۲	۲۳۶۹	۲۶۵۸	۳۳۱۲

اطلاعات پایه

اطلاعات هیدولوژی

مقادیر حداکثر هیدروگراف های سیلاب با دوره بازگشت های مختلف در محل سد حمیدیه بدون تاثیر سد کرخه در جدول (۱) ارائه شده است. حداقل، متوسط و حداکثر آورد ماهانه و سالانه رودخانه کرخه در محل سد حمیدیه با استفاده از میانگین ۳۵ سال آماری برآورد شده است که در جدول (۲) ارائه گردیده است.

اطلاعات هیدرولیکی

تراز سطح آب در شرایط بهره برداری عادی و یا فوق العاده در جدول (۳) آورده شده است. این اطلاعات ضمن مدل نمودن مقطع رودخانه کرخه در بازه سد انحرافی

جدول ۲- متوسط درازمدت آورد ماهانه رودخانه کرخه در محل سد حمیدیه (مترمکعب بر ثانیه)

ماه	حداقل	حداکثر	متوسط
فروردین	۱۰۴/۴	۱۳۳۳/۴	۴۱۶/۹
اردیبهشت	۴۵/۹	۸۰۲/۵	۳۰۴/۸
خرداد	۴۲/۲	۳۹۶/۵	۱۲۰
تیر	۸/۹	۱۴۴/۹	۵۳/۵
مرداد	۹/۶	۹۱/۸	۳۷/۹
شهریور	۵/۴	۶۵/۳	۳۲/۲
مهر	۷/۸	۲۳۷/۳	۴۲/۷
آبان	۱۳/۲	۴۱۶/۹	۸۰/۵
آذر	۲۸	۸۹۳/۶	۱۴۷/۷
دی	۴۱/۹	۴۱۹/۲	۱۵۹/۲
بهمن	۶۰/۴	۶۳۷/۹	۲۱۶
اسفند	۶۵/۷	۸۹۲/۴	۲۹۶/۶

جدول ۳- تراز سطح آب در شرایط بهره برداری عادی و یا فوق العاده

شرایط بهره برداری	تراز از سطح آب (متر از سطح دریا)
تراز آب مخزن در شرایط عادی بهره برداری	۱۹/۷۵
تراز آب مخزن در شرایط آورد متوسط رودخانه	۲۱/۶۰
تراز آب مخزن در شرایط سیلاب ۱۰۰ ساله	۲۳/۴۵
حداقل تراز پایاب	۱۴/۷۰
تراز پایاب در شرایط آورد متوسط رودخانه	۱۶/۵۶

جدول ۴- ضرایب زبری مانینگ در طول بستر و سواحل رودخانه

ضرایب زبری	حداقل	متوسط	حداکثر
بستر	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۵
طرفین	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۰۵۵

جدول ۵- مقاومت فشاری بتن سازه‌های هیدرولیکی طرح

مقاومت فشاری مشخصه نمونه سیلندری استاندارد (مگاپاسکال)				محل نمونه‌گیری
حداکثر	حداقل	میانگین	با حاشیه اطمینان ۸۴ درصد	
۳۰/۴	۱۲/۷	۲۱/۲	۱۶/۳	سرریز
۳۶/۸	۱۵/۷	۲۳/۸	۱۸/۳	مجرای تخلیه رسوب
۳۵/۶	۱۰/۸	۲۱/۸	۱۴/۳	دیوارهای هادی
۳۶/۸	۱۰/۸	۲۲/۵	۱۶/۷	تمامی داده‌ها

جدول ۶- مقاومت کششی دو نیم شدن بتن سازه‌های هیدرولیکی طرح

مقاومت کششی دو نیم شدن (مگاپاسکال)				محل نمونه‌گیری
حداکثر	حداقل	میانگین	با حاشیه اطمینان ۸۴ درصد	
۴	۱/۶	۳/۱	۲/۳	سرریز
۴/۱	۲/۳	۳/۵	۲/۸	مجرای تخلیه رسوب
۴/۱	۱/۶	۳/۳	۲/۶	تمامی داده‌ها

فرضیات مدل‌سازی کنترل پایداری سد حمیدیه با

نرم‌افزار SAP

در کنترل پایداری سد حمیدیه با استفاده از نرم‌افزار SAP فرضیات و موارد ذیل مدنظر قرار گرفته است:

- با توجه به تغییر مقاطع در امتداد پلان طولی سد حمیدیه، در سه مقطع مختلف سد شامل اوجی سرریز، پایه‌های کناری سرریز و مجرای تخلیه رسوب آنالیز پایداری انجام شده است.

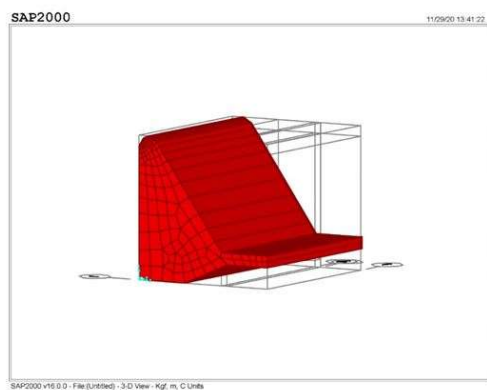
- جهت کنترل پایداری سد حمیدیه، مدل‌سازی مقاطع در دو حالت دوبعدی و سه بعدی (المان‌های Solid) صورت پذیرفت که پس از تطبیق خروجی نرم‌افزار با محاسبات دستی مشخص گردید نتایج خروجی مدل سه بعدی از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد لذا مدل سه‌بعدی جهت بررسی نهایی تحقیق مدنظر قرار گرفت.

- کنترل پایداری در جهت اطمینان و در بحرانی‌ترین حالت ممکن نسبت به پایاب و پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی محاسبه شده است.

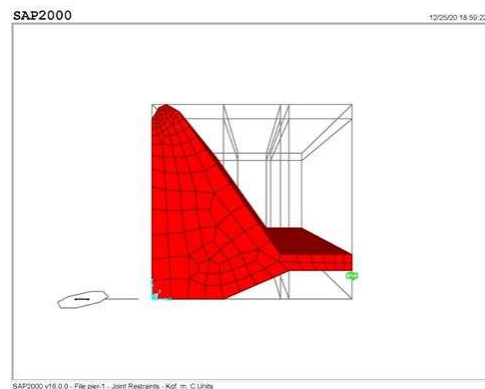
- در ترکیبات بارگذاری فوق‌العاده که شامل بارهای زلزله است، آنالیز پایداری در دو جهت متعامد بررسی شده است.

نتایج و بحث

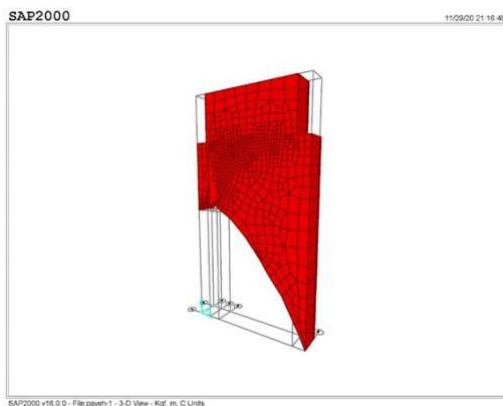
سرریز سد حمیدیه به صورت سه بعدی و براساس برداشت میدانی و پروفیل طولی سازه سرریز مدل شده است. در شکل (۴) و (۵) نمای مدل شده سرریز قابل مشاهده می‌باشد. در شکل (۶) و (۷) نمای مدل شده پایه‌های میانی سرریز قابل مشاهده می‌باشد. در شکل (۸) و (۹) نمای مدل شده مجرای تخلیه رسوب قابل مشاهده می‌باشد.



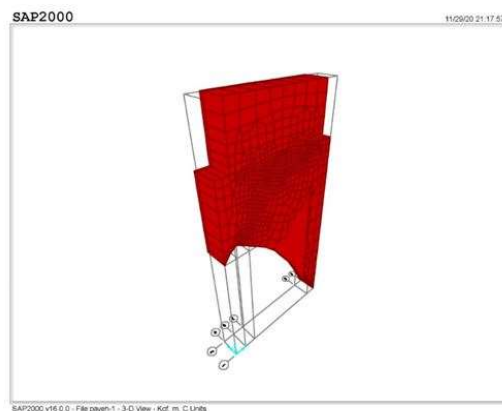
شکل ۵- مدل سه بعدی سرریز سد حمیدیه



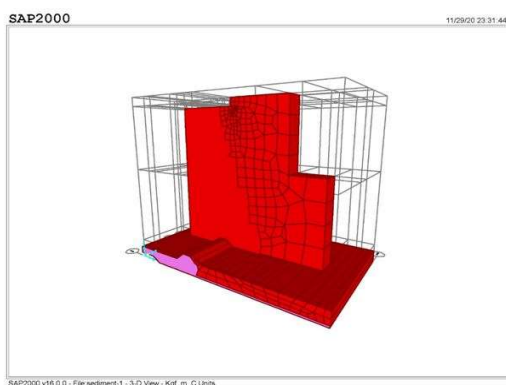
شکل ۴- مدل سه بعدی سرریز سد حمیدیه (نمای پرسپکتیو)



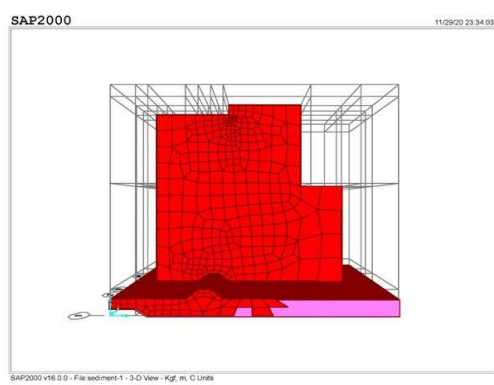
شکل ۷- مدل سه بعدی پایه های میانی سرریز سد حمیدیه



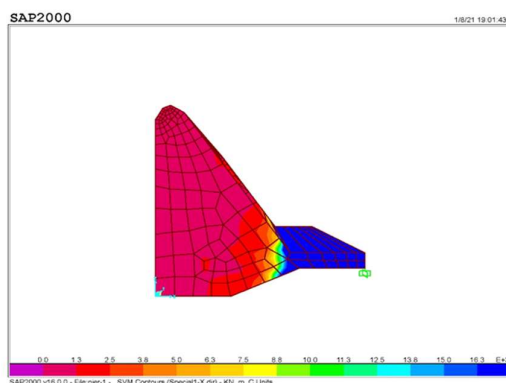
شکل ۶- مدل سه بعدی پایه های میانی سرریز سد حمیدیه (نما از زاویه دیگر)



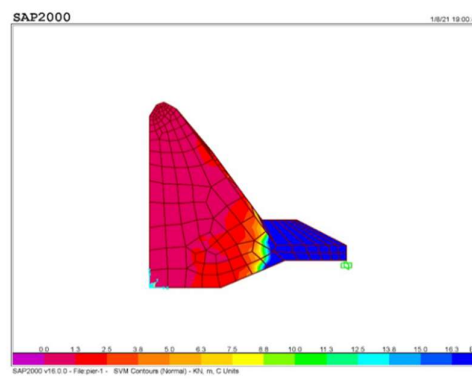
شکل ۹- مدل سه بعدی مجرای تخلیه رسوب سد حمیدیه



شکل ۸- مدل سه بعدی مجرای تخلیه رسوب سد حمیدیه (نمای پرسپکتیو)



شکل ۱۱- تنش فون میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری فوق العاده ۱



شکل ۱۰- تنش فون میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری عادی

سرریز به ترتیب با ۲۴۸۶۰ کیلونیوتن بر مترمربع در پنجه سرریز و ۹۷ کیلونیوتن بر مترمربع در بدنه بالادست سرریز واقع شده است.

در شکل ۱۲ تنش فون-میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری فوق العاده ۲ (وزن سازه + فشار هیدرواستاتیک ناشی از تراز سیلابی مخزن سد + فشار رسوب) مشاهده می گردد. تنش وارده به سازه سرریز با مقاومت فشاری مجاز بتن با حاشیه ۸۴٪ معادل ۱۶۳۰۰ کیلونیوتن بر مترمربع سنجیده شده است. براساس کانتور تنش‌های وارده، مشاهده می‌گردد میزان تنش در پاشنه و بدنه اصلی سازه سرریز در محدوده مجاز می‌باشد ولی در پنجه سرریز در محل حوضچه آرامش که با طیف رنگی آبی مشخص شده است میزان تنش وارده تا حدی بالاتر از حد مجاز می‌باشد. حداکثر و حداقل میزان تنش وارده در بدنه سرریز به ترتیب با ۲۲۸۲۳ کیلونیوتن بر مترمربع در پنجه سرریز و ۹۵/۳ کیلونیوتن بر مترمربع در بدنه بالادست سرریز واقع شده است.

با توجه به مقایسه تنش های وارده در سه حالت بارگذاری مشخص می‌گردد توزیع تنش‌ها تا حد زیادی در هر سه ترکیب بارگذاری یکسان بوده است. همچنین میزان تنش‌های حداکثر و حداقل در هر سه ترکیب بارگذاری دارای اختلاف زیادی نمی‌باشد و در یک محدوده مشخص قرار گرفته است. همچنین در شکل ۱۳ مدل تغییر شکل یافته بدنه سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری فوق العاده ۱

در شکل ۱۰ تنش فون-میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری عادی (وزن سازه + فشار هیدرواستاتیک ناشی از تراز نرمال مخزن سد + فشار رسوب) مشاهده می‌گردد. تنش وارده به سازه سرریز با مقاومت فشاری مجاز بتن با حاشیه ۸۴٪ معادل ۱۶۳۰۰ کیلونیوتن بر مترمربع سنجیده شده است. براساس کانتور تنش‌های وارده، مشاهده می‌گردد میزان تنش در پاشنه و بدنه اصلی سازه سرریز در محدوده مجاز می‌باشد ولی در پنجه سرریز در محل حوضچه آرامش که با طیف رنگی آبی مشخص شده است میزان تنش وارده تا حدی بالاتر از حد مجاز می‌باشد. حداکثر و حداقل میزان تنش وارده در بدنه سرریز به ترتیب با ۲۱۲۸۳ کیلونیوتن بر مترمربع در پنجه سرریز و ۸۵ کیلونیوتن بر مترمربع در بدنه بالادست سرریز واقع شده است.

در شکل ۱۱ تنش فون-میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری فوق العاده ۱ (وزن سازه + فشار هیدرواستاتیک ناشی از تراز نرمال مخزن سد + فشار رسوب+ اثرات نیروی زلزله) مشاهده می‌گردد. تنش وارده به سازه سرریز با مقاومت فشاری مجاز بتن با حاشیه ۸۴٪ معادل ۱۶۳۰۰ کیلونیوتن بر مترمربع سنجیده شده است. براساس کانتور تنش‌های وارده، مشاهده می‌گردد میزان تنش در پاشنه و بدنه اصلی سازه سرریز در محدوده مجاز می‌باشد ولی در پنجه سرریز در محل حوضچه آرامش که با طیف رنگی آبی مشخص شده است میزان تنش وارده تا حدی بالاتر از حد مجاز می‌باشد. حداکثر و حداقل میزان تنش وارده در بدنه

مشاهده می‌گردد.

جهت محاسبه پایداری سازه اوجی سرریز سد حمیدیه در مقابل واژگونی، نسبت لنگرهای مقاوم M2 و لنگرهای محرک M3 حاصل از ترکیبات بارگذاری سه گانه نسبت به بحرانی ترین نقطه بدنه سرریز (پایین دست) مدنظر قرار گرفته است. مطابق ستون M2/M3 (F.S) جدول ۷ مشاهده می‌گردد.

جهت محاسبه پایداری سازه‌های هیدرولیکی در مقابل لغزش، از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

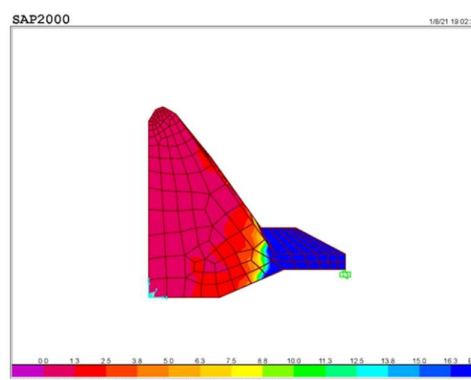
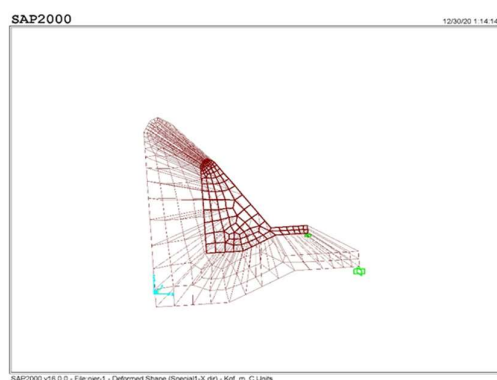
$$S.F = \frac{f' \Sigma F_v}{\Sigma F_H} \quad (1)$$

که در این رابطه ΣF_v مجموع نیروهای قائم و ΣF_H

مجموع نیروهای افقی وارد بر بدنه سازه هیدرولیکی می‌باشد. ضریب f' برای بارگذاری عادی ۰/۶۵ و برای بارگذاری فوق العاده ۰/۸۵ در نظر گرفته شده است.

در جدول ۸ کنترل پایداری در مقابل لغزش سرریز سد حمیدیه صورت پذیرفته است. همان گونه که مشاهده می‌گردد. طی خروجی‌های جدول مشاهده می‌گردد بیشترین ضریب اطمینان تحت ترکیب بارگذاری عادی با مقدار ۴۳/۲ و حداقل ضریب اطمینان تحت ترکیب بارگذاری فوق العاده ۱ (لحاظ بار زلزله) به مقدار ۳/۵ اتفاق افتاده است.

همچنین در جدول ۹ میزان جابجایی و چرخش سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۲ تنش فون-میسز سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری فوق العاده ۲

جدول ۷- محاسبه ضریب اطمینان در مقابل واژگونی در سرریز سد حمیدیه

OutputCase (Text)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)	M2/M3 (F.S)
Normal	19104.315	316.5695	60.347933
Special1	16723.525	277.9286	60.172019
Special2	18656.9211	309.2809	60.323548

جدول ۸- محاسبه ضریب اطمینان در مقابل لغزش در سرریز سد حمیدیه

OutputCase (Text)	F1 (KN)	F3 (KN)	F3/F1 (Fv/Fh)	f'	F.S
Normal	-31.9	2120.44	-66.4715	0.65	43.2065
Special1	-513.023	2114.63	-4.1219	0.85	3.50362
Special2	-116.01	2119.344	-18.2686	0.65	11.8746

جدول ۹- جابجایی و چرخش سرریز سد حمیدیه تحت بارگذاری‌های مختلف

OutputCase (Text)	CaseType (Text)	U1 (m)	U2 (m)	U3 (m)	R1 (Radians)	R2 (Radians)	R3 (Radians)
Normal	Combination	-0.003319	-0.001172	0.002707	0.002371	-0.324944	-0.001153
Special1	Combination	-0.05308	-0.001018	0.002368	0.002057	-0.28447	-0.001014
Special2	Combination	-0.093878	-0.001143	0.002643	0.002312	-0.317337	-0.001126

نتیجه گیری

توصیه می‌گردد.

۴- نرم افزار SAP، نرم افزاری تخصصی در تحلیل و طراحی انواع سازه‌ها می‌باشد که سازه‌های هیدرولیکی مدل شده را نیز شامل می‌گردد. ولی نرم افزارهای کاربردی دیگری به صورت تخصصی جهت بررسی پایداری و محاسبه نیروهای داخلی سدهای بتنی موجود بوده که دارای قابلیت های بهتر و کاربرپسند بوده و صحت نتایج حاصل از آنها در مطالعات مشابه به اثبات رسیده است. از جمله این نرم افزارها می‌توان به Cadam اشاره نمود. لذا جهت تدقیق و صحت سنجی نتایج تحقیق صورت گرفته، انجام مطالعات و مدل سازی سد حمیدیه با این نرم افزار پیشنهاد می‌گردد.

با انجام پژوهش حاضر نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- سازه سد تنظیمی- انحرافی حمیدیه با توجه به بارگذاری و مدل سازی صورت گرفته در حال حاضر پایدار بوده و از ضرایب پایداری مناسبی برخوردار می‌باشد.
- ۲- با توجه به عمر بالای سد حمیدیه و مشاهده آثار فرسودگی و تخریب در سازه‌های هیدرولیکی آن، انجام طرح‌های تحقیقی و پژوهشی جهت علاج بخشی و ترمیم این سد پیشنهاد می‌گردد.
- ۳- تنش‌های وارده در پایین دست بدنه سرریز سد حمیدیه، مقداری از محدوده مجاز فراتر رفته است. لذا بررسی‌های دقیق تر و برداشت های میدانی از جمله هسته- گیری و تست مقاومت از مقاطع سرریز نیز و بررسی آن با مدل‌های فیزیکی دیگر جهت صحت سنجی خروجی‌ها

منابع

Asareh Z., Zomorodian S.M.A., Behbahani S. 2006. Intelligent optimization of the coefficients of the forecasting relations using genetic algorithm. In 7th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran (In Persian).

Bhattacharjee S.S., Leger P. 1993. Seismic cracking and energy dissipation in concrete gravity dams, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 22: 991-1007.

Calayir Y, Karaton M. 2005. A continuum damage concrete model for earthquake analysis of concrete gravity dam-reservoir systems, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(11):857-69.

Chopra A.K., Chakrabarti P. 1972. The earthquake experience at Koyna dam and stresses in

concrete gravity dams, *Earthquake Engineering*, 1(2):151-164.

El-Aidi B., Hall J.F. 1989. Non-linear earthquake response of concrete gravity dam, part 1: modeling *Earthquake Engineering & Structural Dynamic*, 18:837-851.

Ghaemian M., Ghobarah A. 1998. Staggered solution scheme for dam-reservoir interaction, *Journal of Fluid and Structure*, 12: 933-948.

Ghazanfari Hashemi A. 2007. Optimization of weight barrier profiles in two dimensions under different loads using annealing simulation algorithm. MSc. Tarbiat Modarres University, Iran (In Persian).

Hariri-Ardebili M.A., Seyed-Kolbadi S.M. 2015. Seismic cracking and instability of concrete dams: Smeared crack approach, *Engineering Failure*

Analysis, 52: 45-60.

Mirzabozorg H., Ghaemian M. 2005. Nonlinear behavior of mass concrete in three-dimensional problems using a smeared crack approach, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34: 247-269.

Mirzabozorg H., Kianoush M.R., Varmazyari M. 2008. Traveling wave effects on nonlinear seismic behavior of concrete gravity dams, In 14th World Conference on Earthquake Engineering, October, 12-17, Beijing, China.

Pal N. 1974. Nonlinear earthquake response of concrete gravity dams, Report NO. EERC 74-14, Earthquake Engineering Research Center,

University of California, Berkeley.

Simoes L.M.C., Lapa J.A.M. 1994. Optimal shape of dams subject to earthquakes, In International conference on computational structures technology, Advances in structural optimization, Athens, Greece.

Simoes LM.C. 1995. Shape optimization of dams for static and dynamic loading, International course on hydroelectric power plants, Coimbra, Portugal.

U.S. Bureau of Reclamation. 1977. design of small dams. 3rd Ed., Oxford & IBH publishing Co., New Delhi.