

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸

ارزیابی لرزه ای سدهای دوست دار محیط زیست (سد CSG)

امیر عارفیان^۱

علی نورزاد^{*۲}

a_noorzad@sbu.ac.ir

محسن قائمیان^۳

عباس حسینی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: سد شن و ماسه سیمانته شده دوزنقه‌ای (سد CSG دوزنقه‌ای) نوع جدیدی از سدها می باشد که با توجه به ویژگی های آن در دهه اخیر از لحاظ محیط زیستی مورد توجه قرار گرفته است. این نوع از سدها به دلیل نحوه انتخاب مصالح در ساخت سد نسبت به سدهای بتنی وزنی آثار تخریبی محیط زیستی کم تری دارند. با عنایت به عمل کرد مثبت این نوع از سدها در مقوله محیط زیستی ضروری است عمل کرد سازه ای آن ها نیز مورد بررسی قرار گیرند.

روش بررسی: به دلیل کمبود مطالعات دینامیکی در زمینه سد CSG، این تحقیق به آنالیز سد CSG دوزنقه‌ای به روش المان محدود و توسط نرم افزار آباکوس پرداخته است.

یافته ها: برای به دست آوردن خرابی های ناشی از زلزله، منحنی های شکنندگی بر پایه شاخص خرابی رسم شده است که عبارتند از طول ترک ایجاد شده در پایه سد و مساحت المان های ترک خورده در سد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد سدهای CSG علی رغم این که از مصالح ضعیف تر که در راستای دست خوردگی کم تر محیط زیست می باشد، در مقایسه با سدهای بتنی ساخته شده‌اند، مقاومت خوبی از خود نشان داده و حتی در بعضی موارد عمل کرد بهتری از سدهای بتنی وزنی از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: محیط زیست، ارزیابی لرزه ای، سد CSG، مقاومت سد.

۱- گروه عمران ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ - دانشیار دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست، پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران * (مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

۴- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی عمران، تهران، ایران.

Seismic Assessment of Environment Friendly Dams (CSG Dam)

Amir Arefian¹

Ali Noorzad^{2*}

a_noorzad@sbu.ac.ir

Mohsen Ghaemian³

Abbas Hosseini⁴

Admission Date: September 21, 2016

Date Received: July 8, 2016

Abstract

Background and Objective: Trapezoidal Cemented Sand and Gravel Dam (trapezoidal CSG dams) are new type of dams which recently considered as environmental point of view specially. These types of dams have less negative effect on environment specially compare to concrete weight dams. Considering the positive environmental performance of these dams, it's important to assess their structural performance.

Method: As the dynamic researches on CSG dams are so limited, this research will analysis the trapezoidal CSG dams using finite element method with ABAQUS software.

Findings: To calculate earthquake damages, fragility curves plotted based on damage index which is the length of cracks on the dam base and areas of the cracks on dam.

Discussion and Conclusion: The final results of this research shows trapezoidal CSG dams comparing with concrete dams showing a good structure resistance and in some other sampels they showed a better performance than concrete gravity dams, considering the materials in trapezoidal CSG dams weakened to reduce the negative environment aspect of dams.

Key words: Environment, Seismic Assessment, CSG dam, Resistance dam.

1- Department of Civil Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
*(Corresponding author).

2- Associate Professor, Faculty of Civil, Water & Enviromental Engineering Shahid Beheshti University, Theran, Iran

3- Civil Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

4- Department of Civil Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

با توجه به نیاز روز افزون بشر به سد سازی و هم چنین پیشرفت و توسعه این صنعت، مهندسين همواره سعی در حرکت به سمت دو عامل کاهش هزینه ها و حفظ محیط زیست دارند. در بعضی موقعیت ها، منابع و معادن محدود هستند، لذا تهیه مصالح از معادن، منفصل و جداگانه انجام می-شود. به همین دلیل هزینه های بالاتر و دست خوردگی بیش تر محیط زیست حاصل می گردد و در نهایت منجر به کاهش بازده حفاری و استخراج بیش تر می شود که همگی دغدغه های بزرگ برای ساخت سدها هستند. سدهای CSG نوع جدیدی از سدها هستند که بارهای وارده بر محیط زیست پیرامون را کاهش می دهند. عدم توجه به اصول حرفه ای در این زمینه نیز منجر به مشکلات جدی می شود، مثل کاهش محسوس بازده یا افزایش حجم پروژه ها که خود باعث ایجاد افزایش هزینه ها می گردد. مصالح شن و ماسه سیمانته شده (CSG)، نوع جدیدی از مصالح به کار رفته در بدنه سدها هستند که خواصی بین خواص سدهای بتنی و سدهای خاکی دارند. تغییر شکل سطح مقطع سدهای مثلثی به ذوزنقه ای باعث کاهش تنش های ایجاد شده در المان های بدنه سد می گردد (۱). در سال ۱۹۹۲، لاند^۱ محقق فرانسوی مقاله ای در مورد تقارن مقطع سدها منتشر نمود و اشاره کرد که می توان به نوع جدیدی از سد دست یافت که نسبت به سد RCC هزینه کم تر و ایمنی بیش تری دارد (۲).

در سال ۲۰۰۴، فوجیساوا^۲ گزارشی در مورد «سد CSG ذوزنقه ای شکل و خواص مصالح CSG» ارائه نمود. او هم چنین به معرفی فرازبند ناگاشیما^۳ پرداخت که برای اولین بار از تکنولوژی ساخت CSG بهره برده بود (۳،۴). یانگ با استفاده از پروژه های ایستگاه برق- آبی Baisha, Jieman و Hongkou آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون را بر روی مصالح CSG با مقادیر متفاوت انجام داد (۵).

لین^۴ مصالح CSG را به عنوان مصالح الاستوپلاستیک ایده آل در نظر گرفت و آنالیز المان محدود را بر روی سد CSG برای بحث درباره تأثیر حساسیت بر روی تنش و پایداری، که با چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و مدول یانگ مصالح رابطه دارد، با نرم افزار ANSYS انجام داد (۶). سای روش برنامه-ریزی عددی غیرخطی را برای بهینه کردن سد CSG انتخاب کرد. طرح اولیه نشان می دهد که با ارضاء تنش و پایداری، شیب سد CSG می تواند بیش تر از شیب سد سنگ ریز معمولی باشد. سد CSG از میزان سنگ کم تری استفاده می کند و هزینه کمی در بردارد، در ضمن مقطع سدایمن و منطقی است (۷). جی روش المان محدود الاستیک خطی و روش طیف پاسخ را برای مقایسه ویژگی های کاری استاتیکی و دینامیکی سد CSG با سد وزنی انتخاب کرد. برخی قوانین از تأثیر ویژگی های کاری استاتیکی و دینامیکی سد CSG با پیگیری تغییرات شیب سد می توانست دریافت شود و این که چطور نفوذپذیری سد و فونداسیون از ویژگی های کاری سد تأثیر می پذیرد نیز بررسی شده بود (۸).

۲- روش کار

روش تحقیق در مطالعه حاضر به ترتیب در گام های ذیل انجام پذیرفته است:

- ساخت هندسه مدل
 - بیان پارامترهای رفتار پلاستیک سد
 - انجام آنالیز مقدماتی به منظور تعیین نیروهای جانبی وارد بر پی
 - اعمال زلزله به مدل و محاسبه طول ترک و مساحت المان های ترک خورده
 - در نظر گرفتن حالت حدی :
- طول پایه سد * ۰/۲۶ : LS1
- مساحت بزرگترین مانولیت * ۰/۱۹۵ : LS2
- رسم منحنی های شکنندگی

1- Londe
2- Fujisawa
3- Nagashima

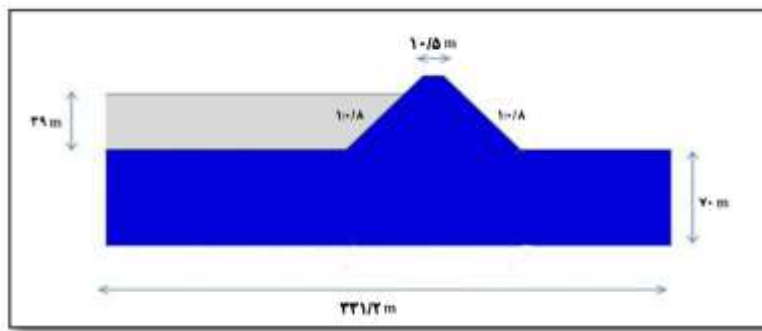
راست فونداسیون و دیگری در سمت چپ فونداسیون) می‌باشد. این دیوارها با فاصله از طرفین فونداسیون قرار می‌گیرند تا بتوان دمپرها را بین این دیوارها و فونداسیون مدل کرد. بنابراین ابتدا هندسه مدل ساخته شده است که شامل دو پارت (۱ آب و ۲) سد و پی می‌باشد (شکل ۱).

➤ مقایسه منحنی شکنندگی سد CSG با سدهای بتنی وزنی

۳-مدل سازی

۳-۱- ایجاد هندسه مدل

ترسیم مدل هندسی، در ماژول Part انجام می‌شود. مدل هندسی شامل بدنه سد، فونداسیون و دو دیوار (یکی در سمت



شکل ۱-مدل هندسه سد و فونداسیون

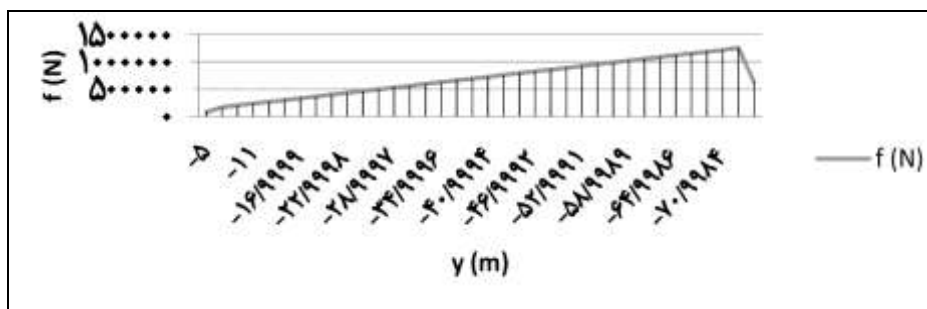
Figure 1. Dam geometry model and foundation

پس از آن پارامترهای میرایی مصالح و شرایط مرزی لایزمر، در نظر گرفته شده است و تمام محاسبات در نرم افزار آباکوس برای انجام مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۲- آنالیز استاتیکی

ابتدا یک آنالیز مقدماتی انجام می‌دهیم تا نیروهای جانبی وارد بر پی تعیین گردد، سپس این نیروها را به صورت بار به کناره های پی سد وارد می‌کنیم (شکل ۲).

سپس مدل رفتاری Concrete Damaged Plasticity برای مدل کردن رفتار مصالح بدنه سد و مدل رفتاری موهر - کولمب، برای مدل کردن رفتار مصالح فونداسیون مورد استفاده قرارگرفت. مدل Concrete Damaged Plasticity قابلیت کلی برای مدل کردن بتن و دیگر مصالح شبه شکننده را در همه انواع سازه ها (تیرها، خرپاها، پوسته ها و جامدات) فراهم می کند.



شکل ۲- نیروهای جانبی وارد بر کناره های پی

Figure 2. Lateral forces imposed on the foundation sides

۳-۳- آنالیز دینامیکی

از سایت peer Berkeley سه زلزله ی Kocaeli, Duzci, Lomaperiata گرفته شده و بر اساس PGA آن ها را نرمال و سپس خروجی زلزله ها با PGAهای ۰/۱g, ۰/۳g, ۰/۶g, ۱g به دست آورده شده است. نوع خاک تیپ II. و زلزله ها به مدل وارد گردیده است.



شکل ۳- ترک کششی ناشی از زلزله ی Duzci با

$$PGA = 0.1g$$

Fig 3- The crack of Duzci earthquake, PGA: 0.1g

۴-نتایج

۴-۱- مشاهده خروجی های حاصل از تحلیل پس از انجام آنالیز دینامیکی غیر خطی با اعمال سه زلزله، خروجی ها مطابق با اشکال زیر خواهند بود:

۴-۱-۱- خروجی های حاصل از تحلیل سد با زلزله

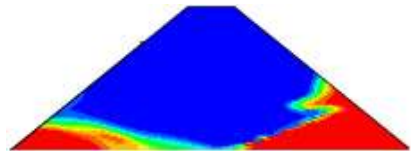
DUZCI ی



شکل ۴- ترک کششی ناشی از زلزله ی Duzci با

$$PGA = 0.3g$$

Fig 4- The crack of Duzci earthquake, PGA: 0.3g



شکل ۵- ترک کششی ناشی از زلزله ی Duzci با PGA= 0.6g

شکل ۵- ترک کششی ناشی از زلزله ی Duzci با PGA= 0.6g



Figure 6. The crack of Duzci earthquake, PGA: 1g

Figure 5. The crack of Duzci earthquake, PGA: 0.6g

۴-۱-۲ خروجی های حاصل از تحلیل سد با زلزله

Kocaeli

همان طور که در اشکال (۳ تا ۶) دیده می شود، ترک کششی از پنجه سد شروع شده و در $PGA = 0.6g$ ترک کششی در پاشنه رویت می گردد. در $PGA = 1g$ ترک های کششی در پنجه و پاشنه به هم می رسند.

شکل ۷- ترک کششی ناشی از زلزله Kocaeli با $PGA = 0.1g$ شکل ۷- ترک کششی ناشی از زلزله Kocaeli با $PGA = 0.1g$

Figure 8. The crack of Kocaeli earthquake, PGA: 0.3g

Figure 7. The crack of Kocaeli earthquake, PGA: 0.1g

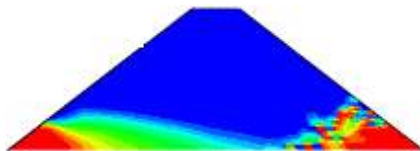
شکل ۸- ترک کششی ناشی از زلزله Kocaeli با $PGA = 0.3g$ شکل ۸- ترک کششی ناشی از زلزله Kocaeli با $PGA = 0.3g$

Figure 10. The crack of Kocaeli earthquake, PGA: 1g

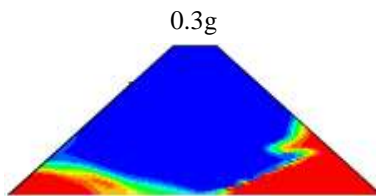
Figure 9. The crack of Kocaeli earthquake, PGA: 0.6g

۴-۱-۳- خروجی های حاصل از تحلیل سد با زلزله Loma Perita



شکل ۱۲- ترک کششی ناشی از زلزله Loma Perita با $PGA=0.3g$

Figure 12. The crack of Loma Perita earthquake, PGA:



شکل ۱۴- ترک کششی ناشی از زلزله Loma Perita با $PGA=1g$

Figure 14. The crack of Loma Perita earthquake, PGA: 1 g

شکنندگی (Fragility curve) می گردد. منحنی شکنندگی بیان گر احتمال فراگذشت یک رخداد از یک حالت حدی است. برای به دست آوردن منحنی شکنندگی حداقل سه زلزله نیاز است که در این تحقیق از پنج زلزله استفاده شده است. برای رسم منحنی شکنندگی باید حالت حدی تعریف شود.

۴-۲-۱- ترسیم منحنی شکنندگی بر اساس حالت حدی ۱

$$LS1 = 0.26 * \text{dam base length}$$

$$Ls1 = 0.26 * 91 = 23.66$$

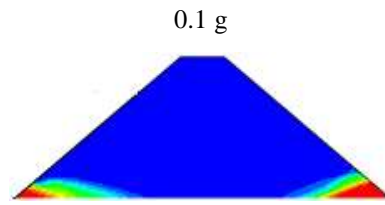
منحنی شکنندگی برای 1 limit state (based on length of crack at the base) به صورت شکل (۱۵) می باشد.

مطابق با اشکال (۷ تا ۱۰) ترک کششی در ابتدا در پاشنه و در $PGA=0.3$ ترک در پنجه به وجود می آید.



شکل ۱۱- ترک کششی ناشی از زلزله Loma Perita با $PGA=0.1g$

Figure 11. The crack of Loma Perita earthquake, GA:



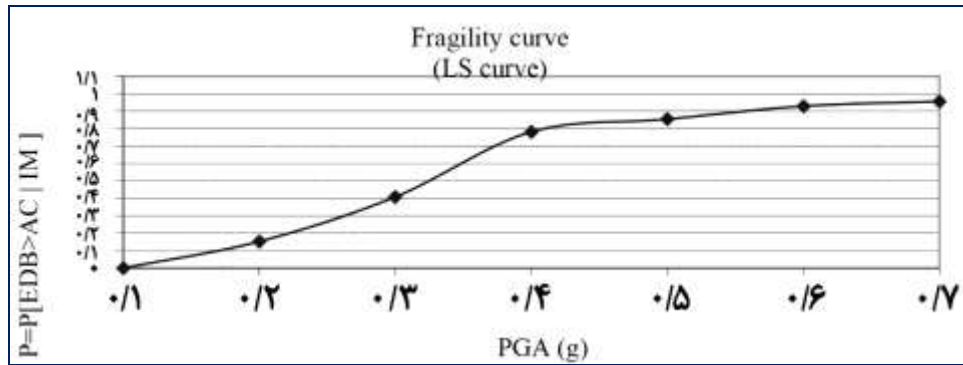
شکل ۱۳- ترک کششی ناشی از زلزله Loma Perita با $PGA=0.6g$

Fig 13. The crack of Loma Perita earthquake, PGA: 0.6g

مطابق با اشکال (۱۱ تا ۱۴) ترک های کششی در ابتدا در پاشنه و در $PGA=0.6$ ترک در پنجه به وجود می آید.

۴-۲-۲- رسم منحنی های شکنندگی

به منظور بیان کمی آسیب پذیری اجزای مختلف سازه ای و یا غیر سازه ای بر حسب میزان خطر زلزله می توان در مورد هر نوع از سازه ها یا اجزای غیر سازه ای حساس به جابه جایی نسبی و اجزای غیر سازه ای حساس به شتاب، احتمال وقوع یا فرا گذشت از یک میزان خسارت خاص را بر حسب یک ویژگی معرف زلزله نظیر PGA, PGV, PGD بیان نمود. تکرار این عملیات برای مقادیر مختلف PGA یا سایر تک پارامترها، منجر به تولید منحنی های نرمال شده ای موسوم به منحنی



شکل ۱۵- منحنی شکنندگی بر اساس طول ترک در پایه سد

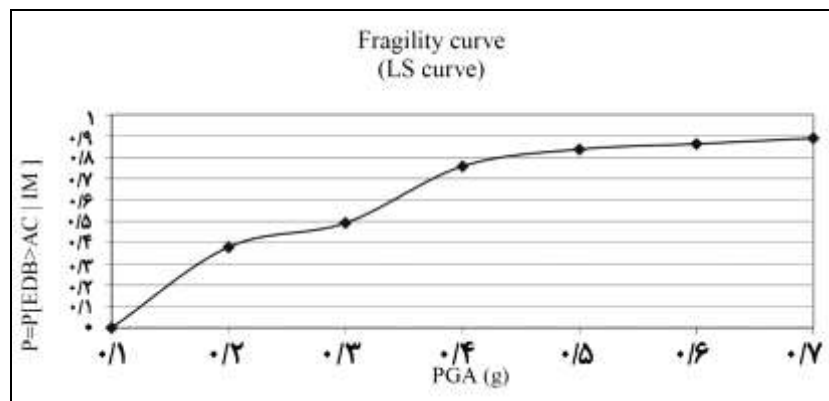
Figure 15. Seismic fragility curves based on the length of crack at the base

$$LS2=0.0195 * 2644 = 51/56$$

منحنی شکنندگی برای Limit state ۲ (based on total areas of cracked elements in the body of dam) به صورت شکل (۱۶) خواهد بود.

بر اساس منحنی های شکنندگی، با افزایش احتمال گذشت از حالت حدی تعریف شده افزایش می یابد. البته بعد از $PGA = 0.4$ با میزان افزایشی با کاهش روبه رو می شود.

۴-۲-۲ ترسیم منحنی شکنندگی بر اساس حالت حدی ۲
 $LS2=0.0195 * \text{tallest monolith section of dam}$



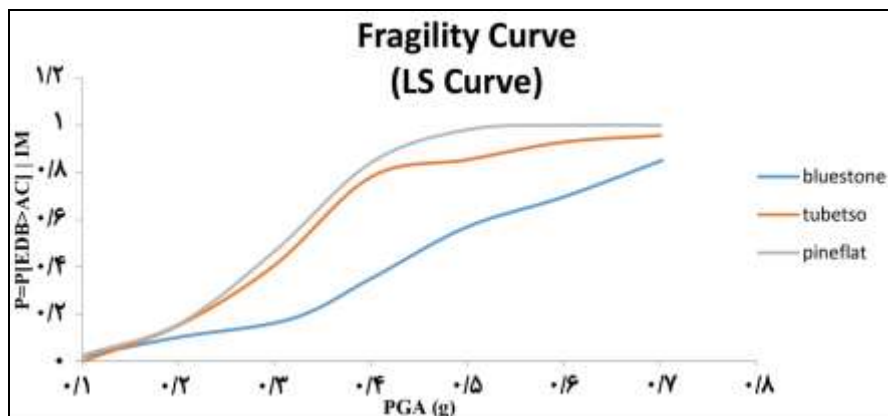
شکل ۱۶- منحنی شکنندگی بر اساس مساحت المانهای ترک خورده

Figure 16. Seismic fragility curves based on the areas of cracked elements

۴-۳ مقایسه با سدهای بتنی وزنی

در شکل (۱۷) منحنی شکنندگی سد تبتسو در مقایسه با سدهای Blue Stone و Pine Flat رسم شده است. حالت حدی در هر سه منحنی طول ترک در پایه سد می باشد. همان طور که ملاحظه می گردد احتمال رخ دادن LS مذکور در سد تبتسو بیش تر از سد BLUE STONE و کم تر از سد PINEFLAT می باشد.

بر اساس منحنی شکنندگی بر اساس مساحت المان های ترک خورده مشاهده می شود با افزایش PGA احتمال گذشت از حالت حدی تعریف شده افزایش می یابد. البته باز هم بعد از $PGA=0.4$ با مقدار افزایشی با کاهش روبه رو می شود و مشاهده می گردد نتایج مشابه نتایج حالت حدی اول می باشد. این نتیجه توسط Kondo و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر روی سدهای بتنی وزنی نیز تایید شده بود (۹).



شکل ۱۷- منحنی های شکنندگی بر پایه طول ترک

Figure 17. Seismic fragility curves based on crack length at the base

نتیجه گیری

- استفاده از دو حالت حدی بیست و شش صدم طول پایه سد و صد و پنج ده هزارم، بزرگ ترین مقطع سد برای بررسی منحنی های شکنندگی سدهای دوزنقه ای با مصالح CMD مناسب می باشد.
- استفاده از معیار مساحت المان های ترک خورده نسبت به معیار طول ترک در base سد به خصوص در PGA های کوچک تر از ۰/۴ محافظه کارانه تر می باشد.
- از مقایسه منحنی های شکنندگی سد CSG با سدهای بتنی وزنی توسط مطالعه موردی سدهای Bluestone، Toubetsu و Pineflat به این نتیجه می رسیم که علی رغم این که سدهای CMD از مصالح ضعیف تری نسبت به سدهای بتنی ساخته می شوند، لیکن مقاومت خوبی داشته و حتی در بعضی شرایط بهتر از سدهای بتنی وزنی از خود نشان می دهند که این موضوع می تواند تا حدودی به دلیل شکل این سدها و استفاده از مقطع با شکل دوزنقه ای باشد.

در این مطالعه نشان داده شد سدهای مورد مطالعه که نسبت به سدهای خاکی و بتنی وزنی از اثرات تخریبی محیط زیستی کم تری در هنگام ساخت برخوردارند، از لحاظ لرزه ای نیز عملکرد قابل قبولی داشته و حتی در بعضی شرایط عملکرد بهتری از سدهای بتنی وزنی از خود نشان می دهند که این موضوع می تواند تا حدودی بدلیل شکل این سدها و استفاده از مقطع با شکل دوزنقه ای باشد. Obara و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳ به مبحث محیط زیستی بودن سدهای مورد مطالعه اشاره کرده بودند (۱۰).

نتایج این مطالعه نشان می دهد که برای طراحی و ساخت سدهای دوزنقه ای با مصالح CSG نیاز به آنالیز دقیق می باشد. در این تحقیق خصوصیات سدهای دوزنقه ای با مصالح CSG بر اساس نتایج آنالیز غیر خطی دینامیکی توسط روش finite element و رسم منحنی های شکنندگی شرح داده شده است.

- همان طور که در اشکال دیده می شود تنش کششی حداکثر در پنجه و پاشنه سد ایجاد می گردد و لازم است در این نواحی از مصالح با کیفیت تری استفاده شود. ابتدا در منطقه پاشنه سد دچار گسیختگی می گردد و سپس در ناحیه پنجه گسیختگی به وجود می آید، ولی در نهایت گسیختگی در منطقه پنجه گسترده تر از پاشنه می باشد.

Reference

1. Nozad, A and Zahedi, H. 2012. Design and compilation of trapezoidal dams with sanded sand aggregates.

7. Cai X, Wu Y L, Guo X W, Ming Yu., (2012). Research review of the cement sand and gravel (CSG) dam. Journal of Hohai University, 6(1):19–24 (in Chinese).
 8. Jie, Z., Jinsheng, J., Futian, J., Fengling, M., Wei, F., (2013). Preliminary Study on the Performance of Continuous Sliding Mixing Equipment for CSG, China Institute of Water Resources & Hydropower Research.
 9. Kondo, M., Shida, T., and Enomura, T., (2014). Dynamic Analysis of Seismic Behavior of Raised Concrete Gravity Dam, International Symposium on Dams in Global Environmental Challenges, Bali, Indonesia, 50-59.
 10. Obara, T., An, X., Jine, F., (2013). Environment Impact Evaluation of a New Type Continuous Mixing Plant for Dam Construction, Tsinghua University: China Institute of Water Resources & Hydropower Research
- Publisher: National Committee of the Great Dams of Iran, 256P (in Persian).
2. Londe, P., Lino, M., (1992). Hard fill dam, the faced symmetrical Hard fill dam a new concept for RCC. International Water Power & dam Construction 44, 19–24.
 3. Fujisawa, T., (2004). Material Properties of CSG for the Seismic design of Trapezoid-Shaped CSG dam, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 391-393.
 4. Fujisawa, T., Nakamura, A., Kwasaki, H., Hirayama, d., Yamaguchi, Y., and Sasaki, T. (2004). Material Properties of CSG for the Seismic design of Trapezoid – Shaped CSG dam
 5. Yang, S.H., and Yishan, L., (1981). Water Control. Beijing, Xinhua Publishing House, 562–575.
 6. Lin, L., and Adams, J., (2007). Lessons for the fragility of Canadian hydropower components under seismic loading, 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 1762-1771.