بررسی اثر تخلیه سریع بر روی ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالادست سدهای خاکی غیر همگن، مطالعه موردی: سد بالا رود

محمد ابراهیم بنی‌حبیب[1]، استادیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
محمد حسین پورمحمدی، مربی واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۱۶ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۹/۰۴/۲۱

چکیده

در حالت تخلیه سریع به علت وجود فشار آب منفذی در بدنهٔ سد و حذف نیروی آب روی شیب بالادست، که به افزایش پایداری کمک می‌کند، شیب بالادست در حالت بحرانی قرار می‌گیرد. برای تحلیل پایداری در این حالت، با روش‌های مختلف ارزیابی ضرایب اطمینان، از برنامهٔ SEEPE/W و SLOPE/W استفاده شد. با استفاده از روش‌های مختلف تحلیل پایداری در حالت تخلیه سریع با سرعت‌های تخلیهٔ یک، دو، چهار و شش متر در روز ضرایب اطمینان ارزیابی شدند و روش‌های مختلف در هر کدام از این سرعت‌های تخلیه مورد مقایسه قرار گرفتند. روش‌های مورگان اشترن- پرایس، اسپنسرو بیشاب و روش‌های اول و دوم مهندسین ارتش آمریکا نتایج یکسانی را برای مقادیر ضرایب اطمینان درحالت تخلیه سریع ارائه می‌دهند و روش معمولی از روند هیچ‌کدام از روش‌های ارزیابی ضریب اطمینان در حالت تخلیه سریع تبعیت نمی‌کند. بدین‌ترتیب روش‌هایی که فقط تعادل لنگرها یا تعادل لنگرها و نیروها را با هم درنظر می‌گیرند، ضریب اطمینان در حالت تخلیه سریع را نزدیک به هم ارزیابی می‌کنند. درصد کاهش ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع در هرکدام از سرعت‌های ثابت فوق‌الذکر با ضرایب اطمینان به دست آمده با روش‌های مختلف در حالت نشت دائمی به‌صورت نمودار مقایسه شده، این نتیجه حاصل شد که ضریب اطمینان در روش مورگان اشترن- پرایس و در حالت تخلیه سریع با سرعت تخلیه شش متر بر ثانیه نسبت به نشت دایم به ترتیب حداقل، حداکثر و متوسط پنج درصد، ۵۶ درصد و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پایداری، تعادل لنگرها، سد تأخیری، مورگان اشترن، نیروی آب

مقدمه

سدهای خاکی بعضاً در طرح‌های مهار سیلاب به‌کار گرفته می‌شود. استفاده از سدهای خاکی به‌عنوان سد تأخیری می‌تواند شرایط تخلیه سریع را به وجود آورد. حذف سریع وزن آب روی شیب بالادست سد خاکی بدون این که فرصت کافی برای زهکشی بخش اشباع بدنه سد به وجود آورد، می‌تواند ناپایداری ناشی از تخلیه سریع را ایجاد نماید (رحیمی، ۱۳۸۰). مورگان اشترن[2] یک سری نمودار برای تعیین ضریب اطمینان ناشی از افت ناگهانی سطح آب مخزن تهیه کرده است فقط برای سدهای خاکی همگن کاربرد دارد (Newmark، ۱۹۸۵).

در سال ۱۹۷۰ مهندسین ارتش امریکا یک روش دو مرحله‌ای برای تعیین ضریب اطمینان حاصل از افت سریع پیشنهاد کردند که به روش اول مهندسین ارتش آمریکا موسوم شد. روش دیگری که لاووکارافیا[3] در سال ۱۹۶۰ ارائه

[1] banihabib@ut.ac.ir
[2] Morgenstern
[3] Low and karafiath

نمود و بعداً به ترتیب به‌وسیله وایت و دونکن[1] در سال ۱۹۸۷ و دونکن و ونگ[2] و وایت در سال ۱۹۹۰ اصلاح شد به روش دوم مهندسین ارتش آمریکا موسوم شد (U.S Army Corps of Engineers، ۱۹۹۳). تفاوت عمده دو روش در این است که روش اول از مقاومت برش زهکشی نشده استفاده می‌نماید و نتایج محافظه‌کارانه‌تری می‌دهد (Huang، ۱۹۸۳). راینوس[3] قدرت تخلیه پوسته یک سد غیر همگن را در حالت افت ناگهانی سطح آب بررسی نمود و رابطه‌ای برای بررسی فشار منفذی ناشی از افت ناگهانی سطح آب ارائه کرد (Newmark، ۱۹۸۵). گول[4] و همکارانش نشان دادند که سرعت بحرانی افت سطح آب معادل ۰/۱۷ متر بر روز است سازمان عمران آمریکا این سرعت را ۰/۱۵ متر بر روز پیشنهاد کرده است (رحیمی،۱۳۸۰).

در سدهای خاکی، که به‌عنوان سد تأخیری به‌کار می‌رود و در حوضه‌های کوچک و متوسط ممکن است زمان تخلیه کامل سد در حد یک یا چند روز طول بکشد. در این صورت در سدهای تأخیری، سرعت افت ناگهانی سطح آب بین یک تا چند متر در روز خواهد بود که بالاتر از سرعت بحرانی پیشنهاد شده به‌وسیله تحقیقات پیشین است. بنابراین بررسی تغییرات ضریب اطمینان در حالت افت ناگهانی در سدهای خاکی غیر همگن، که به‌عنوان سد تأخیری به‌کار می‌روند، ضرورت دارد که ضرایب اطمینان در سرعت‌های بالاتر از سرعت تخلیه بحرانی پیشنهاد شده به‌وسیله تحقیقات پیشین مورد ارزیابی قرارگیرد. در تحقیق حاضر روش‌های مختلف ارزیابی ضریب اطمینان در حالت افت ناگهانی در سرعت‌های بالای تخلیه مقایسه شده، در نهایت میزان کاهش ضریب اطمینان افت ناگهانی در سرعت‌های مختلف تخلیه نسبت به ضریب اطمینان در حالت نشت دائم در سد خاکی غیر همگن مورد بررسی قرارمی‌گیرد.

مواد و روش‌ها

مشخصات سد مورد مطالعه: سد بالارود به‌منظور مهار سیلاب‌های رودخانه بالارود و تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی دشت اندیمشک در خوزستان احداث می‌شود، مقطع عرضی این سد در شکل ۱ نشان‌داده شده است. برای بررسی مسئله تخلیه سریع از اطلاعات سد فوق به شرح زیر استفاده شده‌است (شرکت مهندسین مشاور دز آب، ۱۳۸۳):

هسته رسی: مصالح هسته عمدتاً از نوع CL و CL-ML است، شیب جانبی هسته معادل یک قائم به ۰/۲۵ افقی‌است.

پوستهٔ بالا دست و پایین دست: پوسته‌های بالا دست و پایین دست سد مورد مطالعه از مصالح مخلوط شن و ماسه حاصل از منبع قرضه درشت دانه و شامل GM-GW ، GP ،GW و GP-GM است.

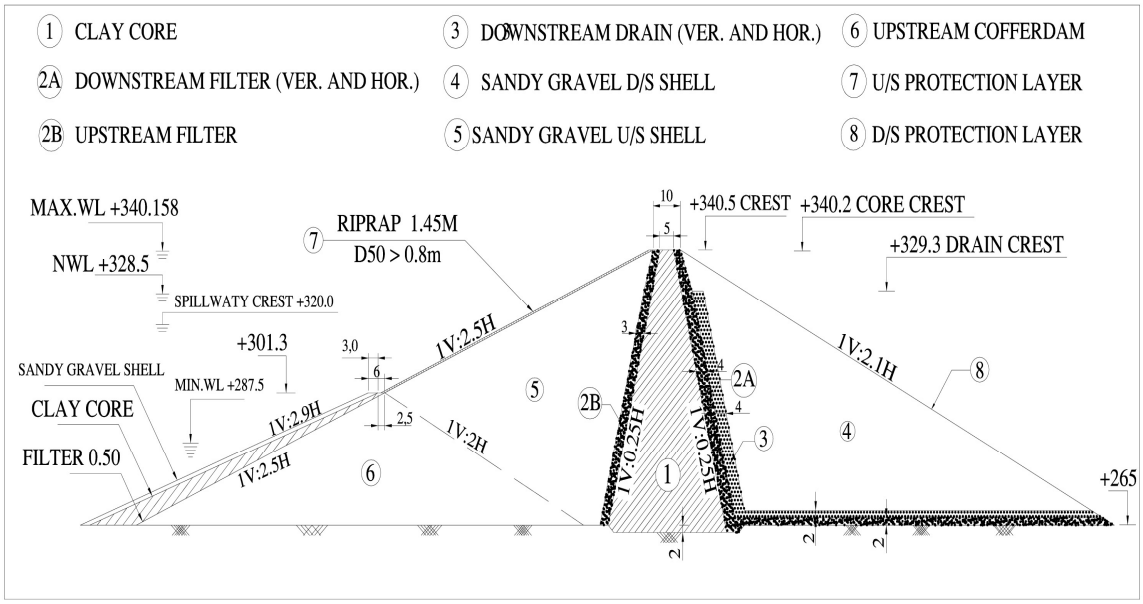
پی سد: پی سد از لایه‌های گل سنگ و با میان لایه‌های ماسه سنگ تشکیل شده‌است. مشخصات مکانیکی مصالح قسمت‌های مختلف سد در جدول ۱ ارایه شده است.

نرم افزارهای مورد استفاده: نرم‌افزار مورد استفاده ویرایش GEO – SLOPE ،V5.14 است که در کشور کانادا تهیه شده است دو ماجول از این نرم‌افزار شامل SEEPE/W و SLOPE/W در تحقیق حاضر استفاده شده است.

ماجول SEEPE/W : با استفاده از این ماجول بررسی‌های زیر قابل انجام است(SLOPE/W User Manual ، ۲۰۰۲):

- موقعیت سطح آزاد جریان آب در هسته رسی در حالت تراواش پایدار،
- محدودهٔ اشباع از بدنه سد و ترسیم شبکهٔ جریان در محدودهٔ بدنه سد،
- تعیین میزان دبی تراوش از بدنه و پی و بررسی نیاز یا عدم نیاز به طرح زهکش افقی در داخل بدنه،
- میزان گرادیان هیدرولیکی بیشینه در نواحی مختلف پی و بدنه سد.

[1] Wright and Duncan
[2] Wong
[3] E. Reinus
[4] Goel



شکل ۱- مقطع عرضی سد بالارود (شرکت مهندسین مشاور دز آب،۱۳۸۳)

جدول۱- مشخصات مکانیکی مصالح قسمت‌های مختلف سد (شرکت مهندسین مشاور دز آب، ۱۳۸۳)

مصالح		γwet ($tonm^{-3}$)	γsat ($tonm^{-3}$)	Φ (degree)	C ($tonm^{-2}$)	Kx (ms^{-1})	Ky (ms^{-1})
هسته	UU	۱/۹۷	۲/۰۷	۹	۶/۱	۱/۸۲*۱۰$^{-۶}$	۱/۸۲*۱۰$^{-۷}$
	CU	۱/۹۷	۲/۰۷	۱۹	۲/۵		
	CD	۱/۹۷	۲/۰۷	۲۵	۰		
فیلتر		۱/۹۵	۲	۳۵	۰	۰/۰۱	۰/۰۱
زهکش		۱/۹۵	۲	۳۵	۰	۰/۱	۰/۱
پوسته		۱/۹۸	۲/۱۹	۳۸/۴	۱/۱	۵*۱۰$^{-۴}$	۲/۵۴*۱۰$^{-۴}$
پی		۲/۶	۲/۷	۳۵	۲۵	۱/۳*۱۰$^{-۷}$	۱/۳*۱۰$^{-۷}$

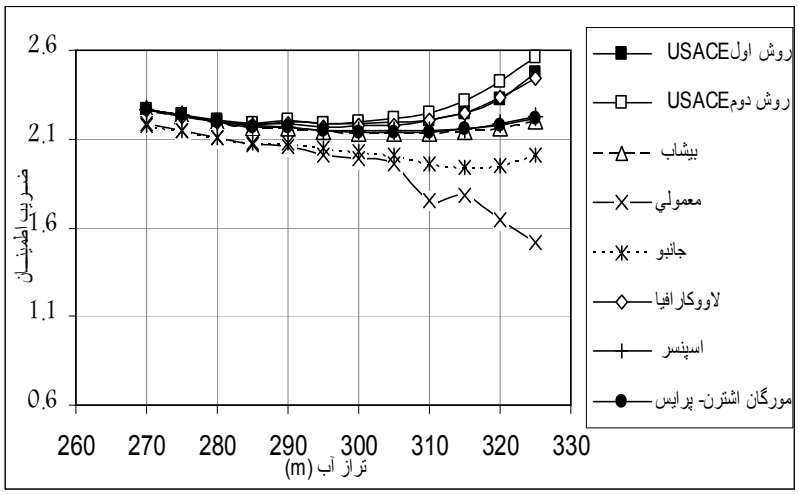
ماجول SLOPE/W: این ماجول روش‌های بیشاب[1]، جانبو[2]، مورگان اشترن – پرایس[3]، اسپنسر[4]، روش اول مهندسین ارتش آمریکا، روش دوم مهندسین ارتش آمریکا، لاووکارافیا و روش معمولی[5] را برای ارزیابی ضریب اطمینان پایداری مورد استفاده قرارمی‌دهد. لازم به ذکر است که این برنامه قادر است حداقل ضرایب اطمینان را برای سطوح لغزش دایروی و گوه‌ای محاسبه نماید (Sherard و همکاران، ۱۹۶۳).

نتایج و بحث

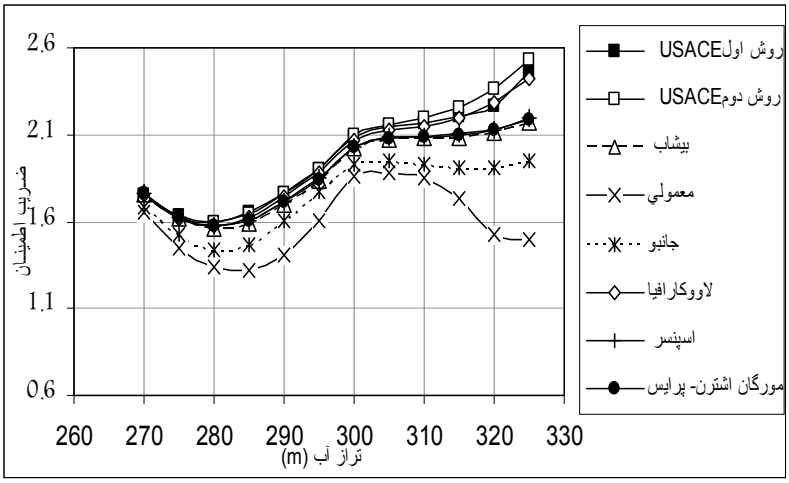
تحلیل پایداری سد مورد مطالعه در حالت سطح آب ثابت: پایداری سد بالارود در حالت سطح آب ثابت با روش مختلف تحلیل شده و نتایج آن در شکل ۲ ارایه‌شده است. این نمودار تغییرات ضریب پایداری سد بالارود در ترازهای مختلف سطح آب با روش‌های مختلف تحلیل پایداری را ارایه می‌کند. بررسی این نمودار نشان‌می‌دهد که هر چه تراز آب در پشت مخزن سد پایین‌تر رود ضرایب اطمینان هم کم‌تر می‌شوند و علت آن می‌تواند کاهش اثر پایدارکننده وزن آب بر

[1] Bisop
[2] Jambu
[3] Morgenstern - Price
[4] Spencer
[5] Ordinary

روی شیب بالادست باشد. ولی همین که تراز آب از تراز ۳۰۰ کم‌تر شود ضرایب اطمینان شروع به افزایش می‌کند. علت آن می‌تواند اثر وجود فرازبند در این تراز باشد. به این ترتیب که فرازبند پس از ساخته شدن بدنه اصلی سد، بخشی از بالا دست سد می‌شود و در سدهای غیر همگن نظیر این سد، در حالت نیمه پر، وزن قسمت پنجهٔ بالادست به‌عنوان عامل اصلی پایداری در اثر غیر مستغرق شدن افزایش یافته و ضریب اطمینان را زیاد می‌کند (SLOP/PUserManual، ۲۰۰۲) و به علت شیب ملایم‌تر شیروانی بالا دست فرازبند، از تراز ۳۰۰ متر به پایین، وزن قسمت پنجهٔ بالادست به‌عنوان عامل اصلی پایداری افزایش بیش‌تری می‌یابد. روش معمولی به دلیل در نظر نگرفتن نیروهای جانبی خاک از روند بقیه روش‌ها پیروی نمی‌نمایدکه در بخش پنجم مقاله بحث می‌شود.



شکل۲- ضرایب اطمینان در سطح آب ثابت در ترازهای مختلف



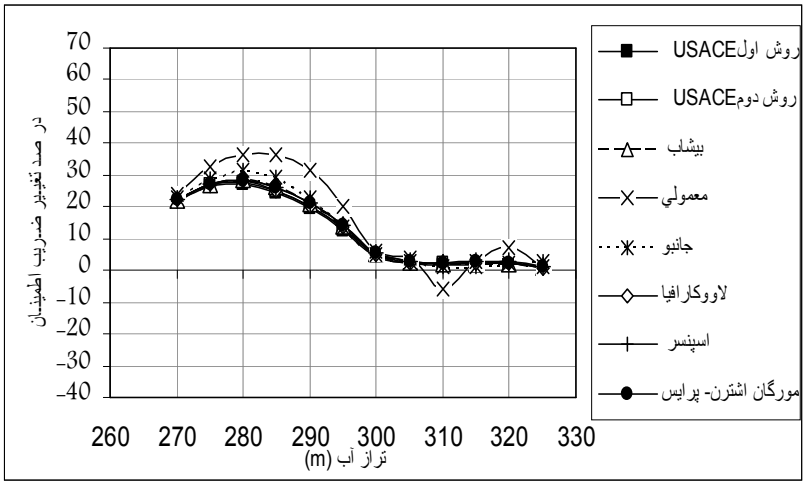
شکل۳- ضرایب اطمینان در فروکش سریع آب با سرعت یک متر در روز

تحلیل پایداری سد در حالت تخلیه سریع با سرعت یک متر در روز: در سد مورد مطالعه سطح آب از تراز ۳۳۰ با سرعت یک متر در روز به تراز ۲۷۰ آورده شد. همان‌طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است در همهٔ روش‌ها از تراز ۳۲۵ تا ۲۸۰ ضرایب اطمینان کاهش می‌یابند. بعد از این تراز ضرایب شروع به افزایش می‌کنند به جز در روش معمولی که از روند بقیه روش‌ها تبعیت نمی‌کند. روش‌های بیشاب، مورگان اشترن– پرایس و اسپنسر نتایج یک‌سانی را برای ضرایب اطمینان می‌دهند. روش جانبو ضرایب اطمینان را کم‌ترین مقدار نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی می‌کند. در این سرعت تخلیه هیچ کدام از ضرایب اطمینان از مقدار حداقل مجاز خود یعنی ۱/۲۵ کم‌تر نخواهند شد. بنابراین

سرعت یک متر در روز سرعت تخلیه مجاز برای تخلیه سریع آب است. به علت روکش آب بند شیروانی بالادست فرازبند تخلیه آب بدنه در تراز پایین تر از ۳۰۰ کاهش پیدا کرده، ضریب اطمینان دراین ترازها در حالت فروکش سریع کاهش پیدا می‌کند که علت آن در بخش تحلیل پایداری سد مورد مطالعه در حالت سطح آب ثابت، ذکر شد. شکل ۴، میزان درصد کاهش ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع نسبت به حالت سطح ثابت آب را ارایه می‌کند این نمودار نشان می‌دهد که روش جانبو بیش‌ترین درصد کاهش ضرایب اطمینان را دارد و درصد کاهش ضرایب اطمینان در روش‌های مورگان اشترن – پرایس و اسپنسر در حالت افت سریع یکسان است. درصد کاهش با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$D = \frac{(F_S - F_R)}{F_S} \times 100 \qquad (۱)$$

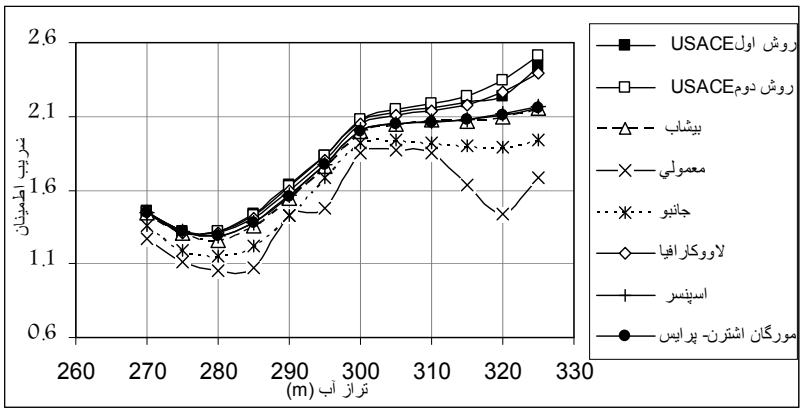
که در آن، F_S ضریب اطمینان در حالت سطح ثابت آب، F_R ضریب اطمینان در حالت تخلیهٔ سریع از تراز متناظر با سطح ثابت به پایین، و D درصد کاهش ضریب اطمینان در حالت تخلیه سریع نسبت به حالت نشت پایدار است



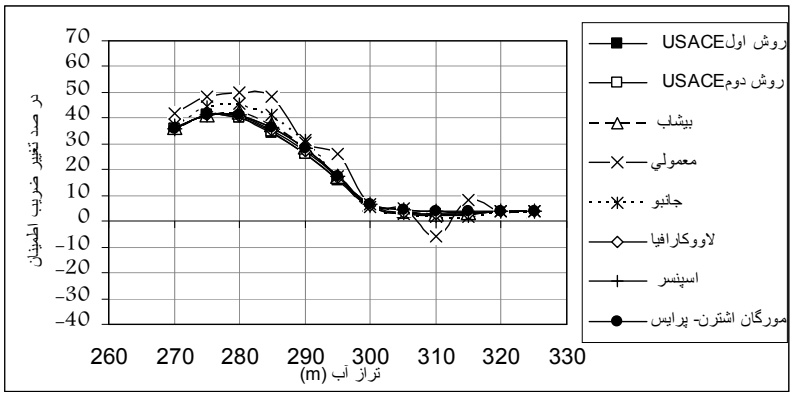
شکل ۴- کاهش ضریب اطمینان در حالت تخلیه سریع آب با سرعت یک متر در روز نسبت به حالت سطح ثابت آب

تحلیل پایداری سد در حالت تخلیه سریع با سرعت دو متر در روز: تحلیل پایداری سد موردنظر در حالت تخلیه سریع با سرعت افت آب معادل دو متر در روز با روش‌های مختلف ارزیابی شده و در شکل ۵ ارائه شده‌است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود در فروکش آب از تراز ۳۳۰ تا تراز ۲۷۰ در همهٔ روش‌های ارزیابی، ضرایب اطمینان از تراز ۳۲۵ تا ۲۷۵ کاهش می‌یابند و از تراز ۲۷۵ تا ۲۷۰ شروع به افزایش می‌کنند، که علت آن در بخش تحلیل پایداری سد مورد مطالعه در حالت سطح آب ثابت، ذکر شد. روند تغییرات ضرایب اطمینان در روش‌های مختلف همانند سرعت یک متر در روز است.

در سرعت دو متر در روز در همهٔ روش‌های ارزیابی ضرایب اطمینان، مقادیر ضرایب اطمینان از مقدار حداقل مجاز یعنی ۱/۲۵ کم‌تر نخواهد شد، بنابراین سرعت دو متر در روز سرعت تخلیهٔ مجاز سد خواهد بود. درصد کاهش ضرایب اطمینان در روش‌های مختلف با سرعت افت آب مخزن معادل دو متر در روز در شکل ۶ ارایه شده‌است. این نمودار نشان می‌دهد که درصد کاهش ضرایب اطمینان در روش‌های مورگان اشترن – پرایس و اسپنسر نسبت به حالت نشت دایمی یک‌سان است و روش جانبو بیش‌ترین درصد کاهش ضرایب اطمینان را دارد.



شکل۵- ضریب اطمینان در فروکش سریع آب با سرعت دو متر در روز

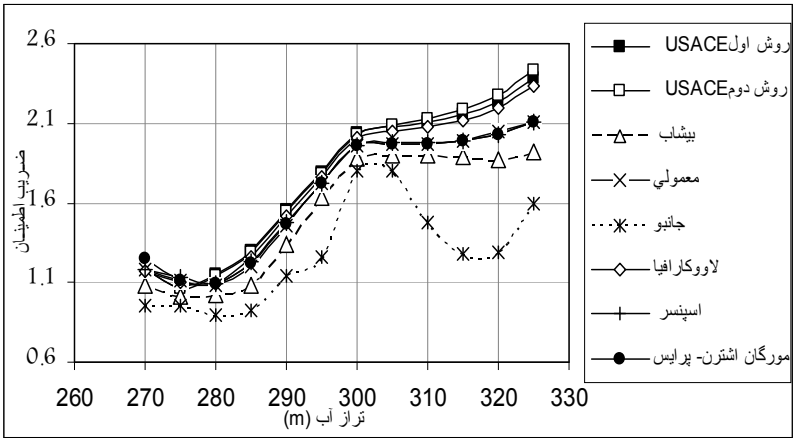


شکل۶- درصد کاهش ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع با سرعت دو متر در روز نسبت به حالت سطح ثابت آب

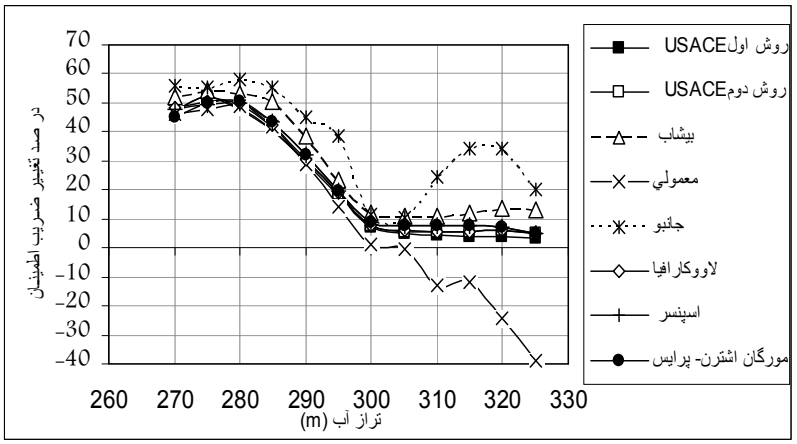
تحلیل پایداری سد در حالت تخلیه سریع با سرعت چهار متر در روز: تحلیل پایداری سد مورد نظر در حالت تخلیه سریع با سرعت افت آب مخزن معادل چهار متر در روز با روش‌های مختلف ارزیابی شده و در شکل ۷ ارایه شده‌است. همان طور که در این شکل قابل مشاهده می‌شود در فروکش آب از تراز ۳۳۰ تا تراز ۲۷۰ در همهٔ روش‌های ارزیابی از تراز ۳۲۵ تا ۲۷۵ ضرایب اطمینان کاهش می‌یابند. روند تغییرات ضرایب اطمینان در روش‌های مختلف همانند سرعت‌های افت مخزن یک و دو متر بر روز است. در سرعت چهار متر در روز در فروکش سریع آب تا تراز ۲۹۰ در همهٔ روش‌های ارزیابی، ضریب اطمینان از مقدار حداقل مجاز کم‌تر نخواهد شد ولی در ترازهای پایین‌تر از آن ضریب اطمینان مقدار مجاز کم‌تر خواهد شد، بنابراین تراز ۲۹۰ یک تراز بحرانی (۲۵ متر بالاتر از کف) است. در شکل ۸ نشان می‌دهد که درصد کاهش ضرایب اطمینان در روش‌های مختلف به جز روش‌های جانبو، معمولی و بیشاب، کمابیش یکسان است روش جانبو بیش‌ترین کاهش ضرایب اطمینان را دارد.

تحلیل پایداری سد در حالت تخلیه سریع با سرعت شش متر در روز: تحلیل پایداری سد موردنظر در حالت تخلیه سریع با سرعت افت آب مخزن معادل شش متر در روز با روش‌های مختلف ارزیابی شده و در شکل ۹ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که در فروکش آب تا تراز ۲۹۰ در همهٔ روش‌های ارزیابی ضریب اطمینان از مقدار حداقل مجاز خود یعنی ۱/۲۵ کم‌تر نخواهد شد. ولی در ترازهای پایین‌تر از مقدار حداقل مجاز کم‌تر خواهد شد و پایداری سد به خطر خواهد افتاد. بنابراین تراز ۲۹۰ یک تراز بحرانی با سرعت تخلیهٔ شش متر در روز برای سد محسوب می‌شود. روش‌های بیشاب، مورگان اشترن- پرایس و بیشاب نتایج یکسانی را برای مقادیر ضرایب اطمینان می‌دهند و روش جانبو کم‌ترین مقادیر ضرایب اطمینان را در این سرعت تخلیه می‌دهد. درصد کاهش ضرایب اطمینان در شکل ۱۰ در روش‌های مورگان اشترن – پرایس و اسپنسر یکسان است و روش جانبو بیش‌ترین درصد کاهش را برای مقادیر ضرایب اطمینان می‌دهد.

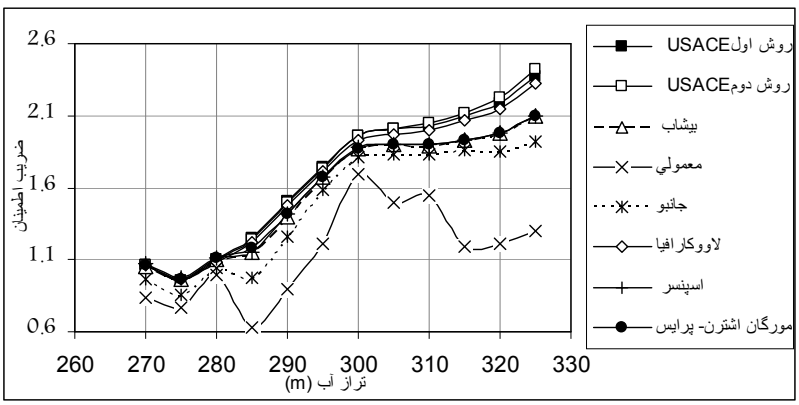
تحلیل روش‌های مختلف ارزیابی ضریب اطمینان در سرعت‌های مختلف تخلیه سریع: جدول ۲ مشخصات روش‌های مختلف تحلیل پایداری شیب‌های سد خاکی را نشان می‌دهد. روش‌های مورگان اشترن – پرایس و اسپنسر با درنظر گرفتن فشار جانبی، تعادل لنگرها و نیروها و ضریب اطمینان را ارزیابی کرده ولی روش جانبو فقط تعادل نیروها و روش‌های بیشاب و معمولی و روش‌های اول و دوم مهندسین ارتش آمریکا فقط تعادل لنگرها را در ارزیابی ضریب اطمینان و روش معمولی نیروهای ناشی از فشار جانبی خاک و تعادل نیروها را در نظر نمی‌گیرد.



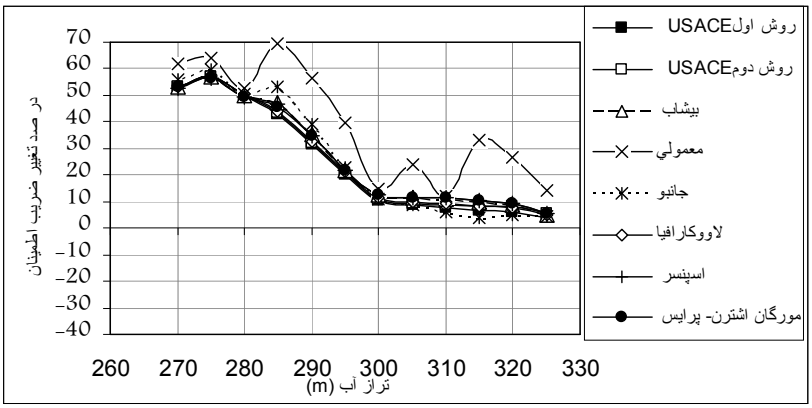
شکل ۷- ضرایب اطمینان در فروکش سریع آب با سرعت چهار متر در روز



شکل ۸- درصد کاهش ضرایب اطمینان با سرعت چهار متر در روز نسبت به حالت سطح ثابت آب



شکل ۹- ضرایب اطمینان در فروکش سطح آب با سرعت شش متر در روز



شکل ۱۰- درصد کاهش ضرایب اطمینان با سرعت شش متر در روز نسبت به حالت سطح ثابت آب

شکل ۱۱ ارزیابی حداقل ضرایب اطمینان در سرعت‌های مختلف تخلیه با روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که اولاً افزایش سرعت تخلیه در کلیه روش‌ها، کاهش ضریب اطمینان را به دنبال دارد. ثانیاً روش‌هایی نظیر مورگان اشترن- پرایس، اسپنسر، بیشاب و روش‌های مهندسی ارتش آمریکا که تعادل لنگرها را در ارزیابی پایداری درنظر گرفته‌اند، ضرایب اطمینان را نزدیک به‌هم ارزیابی می‌کنند و روش جانبو که فقط تعادل نیروها را در پایداری درنظر می‌گیرد و یا روش معمولی که بدون درنظر گرفتن نیروهای جانبی خاک تعادل لنگرها را در نظر گرفته است ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع را متفاوت از سایر روش و محافظه‌کارانه ارزیابی می‌کنند.

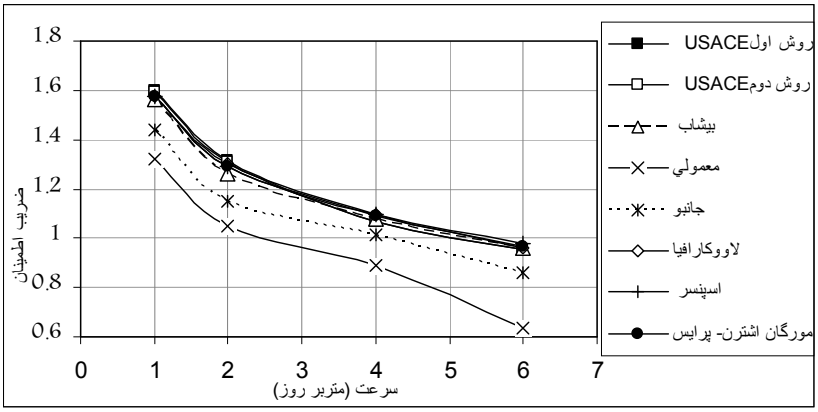
همان‌طور که از شکل های ۱ الی ۱۰ مشخص است روش های مورگان اشترن – پرایس، بیشاب، لاوو کارافیا، اسپنسر و روش‌های مهندسی ارتش آمریکا تعادل لنگرها را به همراه نیروهای ناشی از فشار جانبی خاک را در نظر می‌گیرند و ضرایب اطمینان را نزدیک به هم برآورد می‌کنند. در بین روش‌های فوق روش‌های مورگان اشترن و اسپنسر با در نظر گرفتن تعادل نیروها به همراه تعادل لنگرها از دقت بیش‌تری در ارزیابی ضریب اطمینان برخوردار هستند. در روش جانبو که فقط تعادل نیروها به همراه نیروی جانبی فشار خاک در نظر گرفته شده ضریب اطمینان محافظه کارانه ارزیابی شده است.

مقایسه این روش با روش‌هایی که تعادل لنگرها را در نظر می‌گیرد از اهمیت بررسی تعادل لنگرها نسبت به تعادل نیروها حکایت می‌کند به عبارت دیگر در روش مورگان اشترن و اسپنسر، که هم تعادل نیروها و هم تعادل لنگرها در نظر گرفته شده ضرایب اطمینان تفاوت قابل توجهی با روش‌هایی نظیر بیشاب، که فقط تعادل لنگرها را در نظر می‌گیرد، ندارد بنابراین بررسی تعادل لنگرها اهمیت بیش‌تری نسبت به بررسی تعادل نیروها دارد. در نظر نگرفتن فشار جانبی خاک در روش معمولی علاوه براین‌که موجب محافظه کارانه شدن بیش‌تر ارزیابی ضریب اطمینان می‌شود (شکل ۱۱)، بلکه به علت حذف نیروهای جانبی در بررسی تعادل لنگرها دقت روش به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و نتایج ارزیابی ضرایب اطمینان چه در حالت سطح ثابت (شکل ۲) و چه در حالت افت سریع آب در شکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹ از روند بقیه روش‌ها پیروی نمی‌کند. بنابراین به علت این که این روش دارای فرضیه های ساده کننده زیادی است و همان طور که در مراجع پیشین نیز استفاده آن در تحلیل پایداری با حالت سطح ثابت توصیه نشده است (رحیمی، ۱۳۸۰ و U.S Army Corps of Engineers، ۱۹۹۳)، حالت تخلیه سریع نیز استفاده از این روش توصیه نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

- درسد بالارود سرعت دو متر در روز سرعت مجاز برای تخلیه سریع است ولی سرعت‌های چهار متر در روز و شش متر در روز به دلیل این‌که ضرایب اطمینان را از مقدار حداقل مجاز خود یعنی ۱/۲۵ کم‌تر می‌کنند، سرعت‌های مجاز

در تخلیهٔ سریع سد بالارود، نیستند و این تحقیق نشان می‌دهد که سرعت مجاز افت سریع می‌تواند بیش‌تر از سرعت مجاز پیشنهادی سازمان عمران آمریکا انتخاب شود.



شکل ۱۱- ارزیابی حداقل ضرایب اطمینان در سرعت‌های مختلف تخلیه با روش‌های مختلف

جدول ۲- مشخصات روش‌های مختلف تحلیل پایداری

ردیف	نام روش	تعادل لنگرها	تعادل نیروها	نیروهای ناشی از فشار جانبی خاک
۱	مورگان اشترن – پرانس	×	×	درنظر گرفته شده
۲	اسپنسر	×	×	درنظر گرفته شده
۳	جانبو	ـــــ	×	درنظر گرفته شده
۴	معمولی	×	ـــــ	درنظر گرفته نشده
۵	بیشاب	×	ـــــ	درنظر گرفته شده
۶	روش اول مهندسی ارتش آمریکا	×	ـــــ	درنظر گرفته شده
۷	روش اول مهندسی ارتش آمریکا	×	ـــــ	درنظر گرفته شده

- درصد کاهش ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع با سرعت‌های مختلف نسبت به حالت نشت دائمی در روش‌های مورگان اشترن – پرایس و اسپنسر یک‌سان است.

- هر چه سرعت تخلیه آب در پشت سد بیش‌تر شود ضرایب اطمینان در روش‌های مختلف کم‌تر می‌شود و درصد کاهش ضرایب اطمینان در حالت تخلیه سریع نسبت به حالت سطح ثابت بیش‌تر می‌شود.

- روش معمولی به علت این‌که مجموع نیروهای جانبی وارد بر قطعات را معادل صفر در نظر می‌گیرد از بقیه روش‌ها تبعیت نمی‌کند. روش جانبو ضرایب اطمینان را کم‌ترین مقدار نسبت به روش‌های دیگر برآورد می‌کند و روش‌های بیشاب، مورگان اشترن- پرایس و اسپنسر و روش‌های اول و دوم مهندسین ارتش آمریکا نتایج یک‌سانی را برای ضرایب اطمینان سطح لغزش در حالت تخلیه سریع آب می‌دهند. چنین روش‌هایی که تعادل لنگر را تأمین می‌کنند جواب‌های نزدیک به هم می‌دهند. به استثنای روش معمولی که به علت حذف نیروی جانبی، استفاده آن توصیه نمی‌شود.

- ضریب اطمینان در حالت تخلیه سریع با سرعت افت شش متر در روز، نسبت به سطح پایدار آب با روش مورگان اشترن - پرایس به ترتیب کمینه، بیشینه و متوسط پنج درصد، ۵۶ درصد و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

۱. رحیمی، ح. ۱۳۸۰. سدهای خاکی. دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. شرکت مهندسین مشاور در آب. ۱۳۸۳. گزارش فنی مطالعات مرحله اول طرح سد مخزنی بالارود، اهواز. شرکت مهندسین مشاور در آب.

3. Huang, Y.H. 1983. Stability andlysis of earth slopes. Van Nostrand Newyork: Reihold Co.

4. Newmark, N. 1985. Effect of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique, (15) 2, 139-160. London, England.
5. SEEP/W User Manual. 2002. GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.
6. Sherard, J.L., R.J. Woodward, S.F. Gizienski and W.A. Clevenger. 1963. Earth-Rock dams, engineering problems of design and construction. John Wiley and Sons, Inc., New York, 725pp.
7. SLOP/W User Manual. 2002. GEO-SLOPE International Ltd. Calgary, Alberta, Canada.
8. U.S. Army Corps of Engineers. 1993. Slope Stability. Appendix G: Procedures and examples for rapid drawdown, EM -1110-2-1902.

The effect of rapid drawdown on the safety factor of non-homogeneous earth dam, case study: Balarood Dam

Mohammad Ebrahim Banihabib[1], Assistant Professor, Abouraihan Scientific Complex, Tehran University, Iran
Mohammad Hossein Poormohamadi, Scientific Board, Shooshtar Unit, Azad Islamic University, Iran

Received: 04 February 2010 **Accepted**: 11 July 2010

Abstract

When upstream water surface of an earth dam falls down rapidly and the upstream slope of the dam cannot be drained, the rapid drawdown analysis is necessary. There are several methods for rapid drawdown analysis including; Bishop, Ordinary, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer, Lowe-Karafiath, United State Army Corps of engineers (USACE) and modified USACE. Modified USACE is presented by Lowe and Karafiath and is modified by Duncan, Wright and Wong. For simulation two models of SEEPE/W and SLOPE/W, are used. Drawdown velocity of 1, 2, 4 and 6 m/day are used in simulation. Simulations show that increasing drawdown velocity causes decreasing safety factor. Rapid drawdown analysis by Bishop, Morgenstern-Price, Spencer, Lowe-Karafiath, USACE and modified USACE give the same results for safety factor. Safety factor of rapid drawdown analysis will decrease 26% compared to steady state analysis on the average.

Key words*:* Drawdown analysis, Earth dam, Morgenstern, Stability, Safety factor

[1] banihabib@ut.ac.ir