کنگره استحصال آب و آبخیزداری
Water Harvesting and Watershed Management Congres
سومین همایش بین المللی سامانه های سطوح آبگیر باران
3rd International Conference on Rainwater Catchment Systems
February 18-19, 2015 Birjand, Iran ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۳ بیرجند

ارزیابی و مقایسه پایداری سد خاکی بوستان با استفاده از تعادل حدی و اجزاء محدود

فخرالسادات قرشی نسب[۱]، فضل الله سلطانی[۲]، فهیمه موحدی[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشدخاک و پی دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان

۲-استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان

چکیده

اساسا مشکل طراحی در یک سد خاکی تعیین مقطع عرضی مناسبی است که وقتی با مصالح در دسترس ساخته شود بتواند کار کرد لازم با اطمینان کافی را در یک هزینه کم داشته باشد. مرحله ساخت در هر سد خاکی یکی از مهم ترین مراحلی است که در دوام و پایداری سد تاثیر بسزایی دارد . در این مقاله به بررسی رفتار و پایداری سد خاکی همگن بوستان که در استان گلستان واقع شده است پرداخته شده است، که در این تحقیق به بررسی رفتار سازه ای سد خاکی قبل و هم در بعد از آبگیری و همچنین میزان افت آب در بالادست با استفاده از مقایسه نتایج خروجی نرم افزار های SLOPE/W و نرم افزار PLAXIS صورت گرفته است که با توجه به بررسی نتایج مشاهده گردید که نتایج و ضرایب اطمینان حاصل شده از نرم افزار PLAXIS با دقت بالاتری نسبت به خروجی نرم افزار SLOPE/W می‌باشد.

واژه های کلیدی: پایداری شیروانی، ضریب اطمینان، سد خاکی، SLOPE/W، PLAXIS.

Evaluation and Comaparison of the Stability of Boostan Earth Dam Using Limit Equilibrium and Finite Element

Fakhro Sadate Ghorieshi Nasab[1*], Fazlolahe Soltani[2], Fahime Movahedi[3]

1- Soil and Foundation Graduate student at the University of Kerman
2- Assistant professor, University of Kerman
3- Soil and Foundation Graduate Student University of Kerman

Abstract

Essentially the determination of the proper cross-section is the major problem in the designation of good earthy dams good. One that can have a proper function while keeping the expenses of construction low. The Construction is one the most important steps in earth dams and it has a significant impact on the durability of the dam. This paper examines the behavior and stability of a homogeneous earth dam called Bostan located in Golestan province. This study examines the structural behavior of earthy dam before and after inundation and also th extent of upstream water level loss using a comparison between SLOPE / W and PLAXIS output results. Results showed that the coefficients and results of PLAXIS is more precise than SLOPE / W .

Keywords: stability Boustan Dam, reliability, SLOPE / W, PLAXIS.

* Corresponding Author's E-mail(fakhri.ghorshi@yahoo.com)

الف- مقدمه

امروزه سدهای بزرگ اعم از خاکی یا بتنی از مهمترین سازه‌های آبی به شمار می‌روند که در تامین آب مورد نیاز جوامع انسانی نقش اساسی را ایفا می‌کنند. بنابراین پایداری سدها به ویژه در دهه‌های اخیر مورد توجه خاص مهندسین طراح سدهای خاکی و بتنی بوده است. طبیعت متفاوت سازندهای طبیعی در محل احداث سدهای خاکی از یک طرف و رفتار پیچیده مصالح خاکی سد از طرف دیگر ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای رفتاری خاک را ضروری می‌نماید . تحقیقات نشان می‌دهند که ارزیابی غلط این گونه پارامترها اغلب علت به مخاطره افتادن پایداری سدهای خاکی بوده است.

هر سد خاکی بایستی در طول مرحله ساخت و بهره برداری، مخزنی ایمن و پایدار داشته باشد. پی‌های حاوی خاک های ریزدانه به اندازه کافی نفوذ ناپذیر هستند که بتوانند مانعی در برابر نشت از زیر بدنه و فشار بر کنش باشند. باربری این گونه پی‌ها در در اثر اشباع شدن کاهش می‌یابد و مشکل اصلی این پی‌ها مسئله پایداری است که طراحان را ملزم به در نظر گرفتن تاثیر اشباع بودن پی و سایر اثرات جانبی توسط مخزن سد می‌نماید(محمدی‌ها، ۱۳۹۰).

جهت پایداری خاکریز بایستی ضریب اطمینان به دست آید، که این ضریب اطمینان در کارهای مهندسی به صورت نسبت حداکثر باری که منجر به فروریزش نشود(بار بحرانی) به بار مجاز تعریف می‌شود(محمدی‌ها، ۱۳۹۰).

ب- مواد و روش‌ها

۱-مشخصات عمومی سد مورد مطالعه

سد بوستان در نزدیکی روستای صوفی شیخ در فاصله ۳۵ کیلومتری گنبد کاووس به منظور تامین و تنظیم آب رودخانه گرگان رود احداث گردیده است و از آنجایی که خاک های منطقه از نظر نقطه نظر زمین شناسی لس بوده و قسمت اعظم آن از لای با دانه بندی متوسط تشکیل شده، سد از نوع همگن انتخاب شده است. شیروانی‌های این سد بنا بر توصیه USBR برای سدهای کوتاه که روی خاک‌های رسی و سیلتی قرار دارند دارای شیب ۱:۵ و ۱:۶ می‌باشد. این خاکریز روی دو لایه پی از همین نوع مصالح با مشخصات ارائه شده در جدول(۱) ساخته شده و سطح آب زیرزمینی در زمان ساخت در بین این دو لایه قرار داشته است . این سد دارای عرض و طول تاج به ترتیب برابر با ۱۰ و ۶۲۲ متر ، ارتفاع ۲۲ متر بوده و خاکریزی آن در ۹ مرحله در طی سه سال انجام شده و سد قبل از آبگیری، مدل شده است. مشخصات خاک و بدنه در جدول (۱) آورده شده است.

حالت های مورد بررسی آنالیزمورد بحث :

۱ . مرحله پس از اتمام ساختمان سد و پیش از آبگیری بالادست

۲ . در شرایطی که مخزن دارای حداکثر آب باشد.

۳ . افت سریع آب بالادست(بدون کاهش ارتفاع، ۱۰متر کاهش ، ۱۵ متر کاهش)

۲- معرفی و روش مدل سازی در نرم افزار Geostudio

از نرم افزار SLOPE/W برای پایداری سطوح شیب دار و تعیین ضریب اطمینان (FOS) در طراحی شیب مورد استفاده قرارمی‌گیرد. این فرآیند از طریق روش های حالات حدی از قبیل بی شاپ و جانبو صورت می‌گیرد که در این مطالعه به انحصار از روش مورگن استرن استفاده گردیده است. که در ادامه به بررسی برخی از روش‌های کاربردی که در نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته است پرداخته شده است(جواهری، ۱۳۸۸).

۲ – ۱ – اساس روش مورگن استرن

این روش یک روش ترسیمی –تعادل حدی برای تعیین پایداری شیب است که در آن از طریق تعادل نیروها و لنگرها برای مقطع لغزشی تعیین شده باروش‌هایی از، Grid and Radius و یا روش Entry and Exit ضریب اطمینان مشخص می‌شود. این روش به نوعی هم نیروهای نرمال و هم نیروهای برشی را وارد محاسبات می‌کند(Abramson et al, ۲۰۰۲).

Lamba این روش نسبت نیروهای برشی به نرمال(باعنوان برای قطعات ،ثابت نیست و از یک تابع مشخص پیروی می‌کند). در این روش، یک ضریب اطمینان برای تعادل لنگر و یک ضریب اطمینان برای تعادل نیروها F_mها به عنوانLamba برای مقادیر مختلف نسبت F_fای افقی با عنوان بدست آمده و در نهایت با سعی و خطا این دوضریب اطمینان به هم همگرا می‌شوند.شوند که مقدار نهایی، همان ضریب اطمینان مورد نظر است.

۲-۲ - روش Grid and Radius

این روش ترسیمی برای برای تعیین مقطع لغزشی است به این صورت که در یک طرف شیب، مجموعه‌ای از نقاط را با ترسیم یک شبکه با ابعاد دلخواه مشخص کرده و در طرف دیگر شیب، مجموعه ای از خطوط را ترسیم می‌کنند . سپس نرم افزار از نقاط واقع بر شبکه، یک سری دایره به مرکز مماس می‌کند که شعاع این radius همین نقاط به خطوط radius تا خطوط grid دایره برابر فاصله عمودی این نقاط است. این دایره‌ها روی شیب مورد نظر، مقطعی ایجاد می‌کنند که در نهایت ضریب اطمینان پایداری این مقطع تعیین می‌شود. مقطع بحرانی مقطعی است که کمترین ضریب اطمینان را داشته باشد(Bishop and Morgenstren,۱۹۶۰).

۳ - معرفی نرم افزار PLAXIS

برنامه PLAXIS یک نرم افزار پیشرفته‌ای است که برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. در این نرم افزار می‌توان از المان‌های مثلثی ۶ گرهی مثلثی و ۱۵ گرهی استفاده نمود. معمولا در مسائل مهم ژئوتکنیک، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل سازی رفتار غیرخطی و وابسته به زمان خاک-ها می‌باشد. مدل کامپیوتری با فرض المان‌های محدود می‌باشد، که اولین ویرایش این نرم افزار به منظورآنالیز سدهای خاکی احداث شده در کشور هلند در سال(۱۹۸۷) میلادی توسط گروه ژئوتکنیک دانشگاه دلفت معرفی گردیده است(Chiristian et al, ۱۹۹۴).

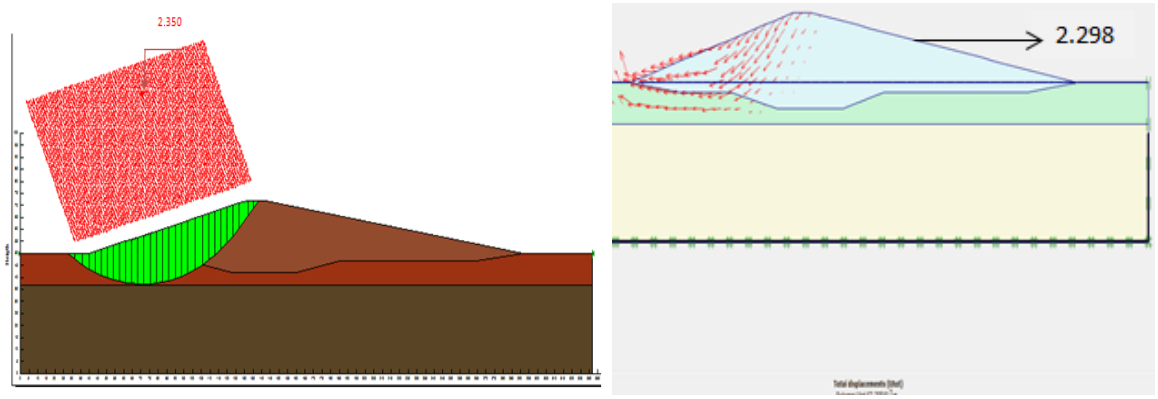
این برنامه قادر به آنالیز دو بعدی انواع خاک‌ها در لایه‌های مختلف و شرایط مرزی مختلف می‌باشد، همچنین مدلسازی سازه‌های غیرخاکی مانند بتن، فولاد، الیاف مصنوعی از دیگر قابلیت‌های این برنامه می‌باشد(۱۹۹۴ ,Chiristian et al).

در برنامه فوق سطوح وسط لایه را نیز می‌توان مدل کرد. این المان‌های رابط جهت بررسی تأثیر متقابل سازه و خاک (اندرکنش بین سازه و خاک) مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از این المان‌ها ناحیه میانی تماس لایه خاک با پایه ستون ها ، شمع‌ها، دیوارهای حائل و ... که در آن ناحیه تنش برشی ایجاد شده بیشتر می‌باشد را می‌توان شبیه سازی کرد . به جای پارامتر معمولی زاویه اصطکاک داخلی بین دانه‌ها و چسبندگی لایه خاک، در این المان‌ها زاویه اصطکاک و چسبندگی دیوار استفاده می‌گردد. در برنامهplaxis ، با زیاد کردن و کم کردن المان‌ها می‌توان حالت ساخت مرحله ای سدها و حفاری تونل‌ها و خاکبرداری‌ها را نیز شبیه سازی کرد. این روش امکان ارزیابی واقع بینانه تر تنش‌ها و تغییرمکان‌ها را که در ساخت مرحله به مرحله سدها ایجاد می‌شوند را فراهم می‌نماید(۲۰۰۳، Corps)

در این نرم افزار مدل‌های رفتاری موهر-کلمب، مدل سخت شوندگی هذلولی، مدل نرم شوندگی و مدل نرم شوندگی خزشی قابل بکار گیری است.

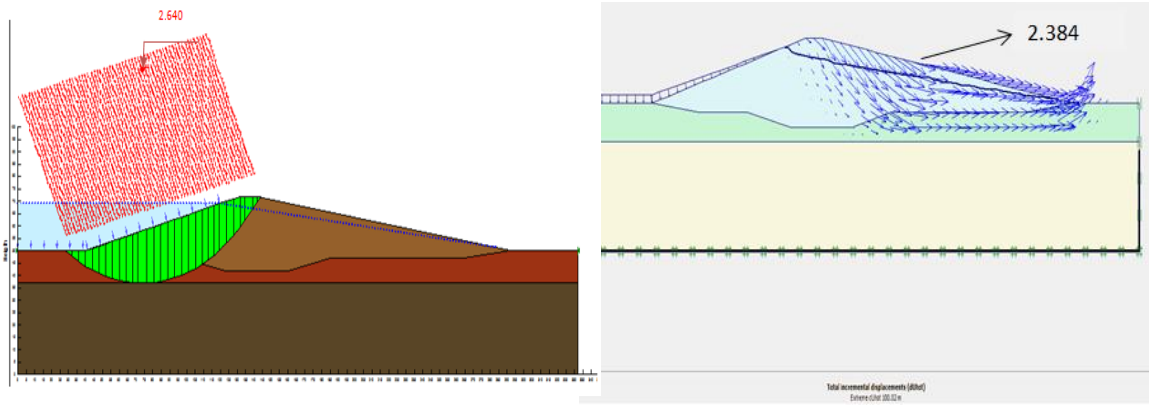
در این مقاله ضریب اطمینان را از نرم افزار SLOPE/W بدست می‌آوریم و با نتایج به دست آمده از نرم افزار PLAXIS مقایسه می‌کنیم. برای اینکه از ضریب اطمینان بدست آمده در این روش مدل سازی مطمئن شویم، باید اصولی را در ترسیم گراف‌های ضریب اطمینان ترسیمی توسط برنامه رعایت کنیم این خطوط به نوعی بهتر است موازی سطح شیب دار باشند و فاصله‌ای مناسب با آن داشته باشند که بر همین مبنا کلیه مراحل مدل سازی را در تحقیق فوق منظور نموده ایم. البته عوامل مختلفی از قبیل چسبندگی خاک، ضریب اصطکاک خاک، تنش‌های موجود و تراز آب در تعیین مقدار ضریب اطمینان نیز تاثیر بسیار زیادی خواهد داشت.

ج - تجزیه و تحلیل نتایج



شکل شماره ۲ - نتایج خروجی مدل سازی در نرم افزار Geostudio و Plaxis در حالت پایان ساخت

با توجه به شکل شماره ۲ ضریب اطمینان بدست آمده از نرم افزارهای مورد بررسی در نرم افزار Geostudio برابر با ۲/۳۵ و در نرم افزار Plaxis برابر با ۲/۲۹۸ می‌باشد.



شکل شماره ۳ - نتایج خروجی مدل سازی در نرم افزار Geostudio و Plaxis در حالت حداکثر میزان آب در مخزن

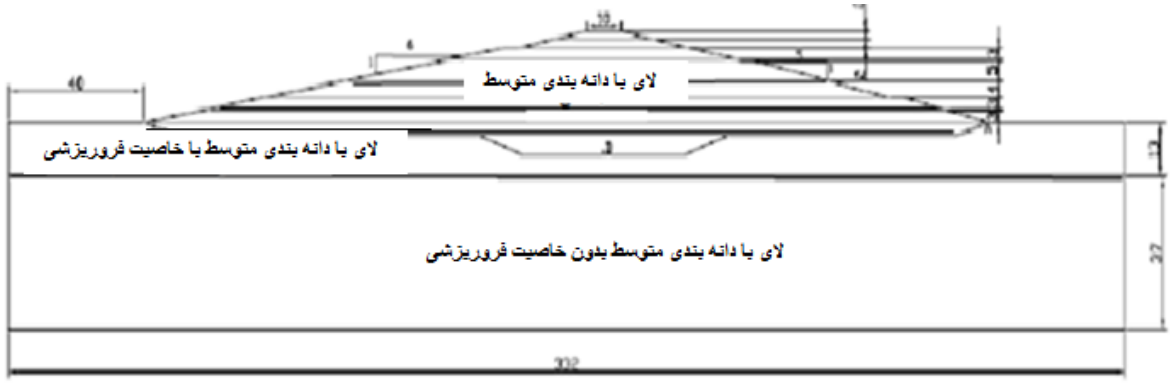
با توجه به شکل شماره ۳ ضریب اطمینان بدست آمده از نرم افزارهای مورد بررسی در نرم افزار Geostudioبرابر با ۶۴ /۲و در نرم افزار Plaxis برابر با ۲/۳۸۴ می‌باشد.

جدول (۲) نتایج آنالیز

نتایج		Geostudio	Plaxis
قبل از آبگیری		۲.۳۵	۲.۲۹۸
مخزن دارای حداکثر آب		۲.۶۴	۲.۳۸۴
افت	بدون افت	۲.۶۴۹	۲.۳۸۴
	۱۰ متر افت	۲.۴۳۲	۲.۳۷۵
	۱۵ متر افت	۲.۳۶۵	۲.۳۵۱

با توجه به بررسی انجام شده مقادیر مختلف ضریب اطمینانی که به روش بالا بدست می‌آید کاملا بستگی به نحوه قرارگیری و چیدمان شبکه‌ها دارد که این مورد مهم را بایستی حتما در طراحی و آنالیز این نمونه از خاکریزها مد نظر قرار دهیم از طرفی نیز ما در این تحلیل به منظور افزایش دقت در خروجی مدل‌ها از شکل منحنی کانتورها استفاده نموده ایم. که در اطراف نقاط اصلی ترسیم شده اند. همان طور که مشخص می‌باشد همگرایی قابل قبولی در اطراف گره اصلی ایجاد نموده که به بهترین شکل ممکن کل شبکه را تحت پوشش قرار داده است. با توجه به نوع المان بندی در نرم افزار Plaxis با توجه به جدول شماره ۲ در بالا می‌توان نتیجه گرفت که نسبت به نرم افزار Geostudio از دقت بالاتری برخوردار است.

د- جداول و اشکال :



شکل (1) مقطع عرضی سد با نه مرحله ی ساخت (اندازه ها بر حسب متر می باشند) [2]

جدول (۱) مشخصات مکانیکی و هیدرولیکی خاک پی و بدنه سد [1]

پارامترها	بدنه سد (لای با دانه بندی متوسط)	لای با دانه بندی متوسط با خاصیت فروریزشی	لای با دانه بندی متوسط بدون خاصیت فروریزشی
وزن مخصوص مرطوب/خشک $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$ (KN/m^3)	16/7 – 20/5	14/6 – 18/6	16/7 – 20/5
نفوذ پذیری عمودی/افقی k_y k_x (m/sec)	0/057 0/0057	0/337 0/337	0/032 0/032
مدول یانگ E_{ref} (KN/m^2)	2×10^5	2×10^5	2×10^5
ضریب پوآسون ν	0/25	0/25	0/25
چسبندگی C_{ref} (KN/m^2)	49/1	18/6	24/5
زاویه اصطکاکی φ	26	16/7	28

ه-منابع

محمدی‌ها ،ا، ۱۳۹۰، "مقاله بررسی عددی پایداری شیروانی سد خاکی بوستان در مرحله ساخت با استفاده از روش المان محدود با نرم افزار PLAXIS"

امین جواهری ،ا، و پاک نیت ،ا. "تحلیل استاتیکی ودینامیکی سدهای خاکی با استفاده از چاپ نخست۱۳۸۸ GeoStudi "

Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., an Geotechnique , Vol. 10, No. 4, pp. 164 169. Boyce, G.M., 2002. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons Inc. pp.712.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N., 1960. Stability coefficients for earth slopes.

Christian, J.T., Ladd, C.C. and Baecher, G.B., 1994. Reliability Applied to SlopeStability Analysis. Journalof GeotechnicalEngineering, Vol. 120. 12. pp. 2180-2207.

Corps of Engineers (2003) "Appendix G Procedures and Examples for RapidDrawdown". Engineering Manual, EM 1110-2-1902.Department of theU.S Army Corpsof Engineers.