کنترل هیدرولیکی پی و طرح بهینه دیوار آب بند سد خاکی گمبیری افغانستان

افشین همتی

کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی

شرکت مهندسی مشاور طوس آب مشهد

Afshin_Hemmati2004@yahoo.com

چکیده

سدهای خاکی یکی از با اهمیت ترین سازه های ساخت دست بشر بشمار می روند و عدم توجه به طرح صحیح آنها علاوه بر اعمال هزینه های هنگفت به اقتصاد پروژه، ممکن است منجر به تبعات جانی، اقتصادی و اجتماعی متعددی شود. بنابراین باید سدها را از جنبه های مختلف مورد بررسی و نظارت قرار دهیم. در این زمینه، در کنار تحلیل های تنش- کرنش و تحلیل های پایداری شیروانی، تحلیل‌های تراوش از ضروری ترین بررسی های قابل ذکر در طراحی بدنه و پی خاکریز سدها هستند. کنترل احتمال ایجاد جوشش و ریزشویی در پی سرریز بتنی و نیز مصالح پای شیروانی پنجه دایک خاکی از مهم ترین نتایج این تحلیل ها است. از دیگر موارد قابل استنتاج، تعیین عمق بهینه دیوار آب بند و یا تعیین بهترین راهکارهای ممکن در کنترل تراوش از بدنه و پی سدهای خاکی است. همچنین تعیین توزیع واقعی فشارهای حفره‌ای ناشی از تراوش آب در پی، که با ایجاد بار برکنش احتمال لغزش و واژگونی را در ابنیه خاکی یا بتنی ایجاد می کند، از این طریق امکان‌پذیر است. این کنترل ها علاوه بر تضمین عملکرد صحیح سد، مخاطرات ناشی از تخریب احتمالی سد در اثر این عوامل را نیز به حداقل می رساند. در این پژوهش، ضمن تشریح مدلسازی مقطع عرضی حداکثر دایک خاکی سد انحرافی گمبیری افغانستان در نرم افزار اجزای محدود Seep، به طرح عمق بهینه آب بندی پی آبرفتی پرداخته و عملکرد آن در کاهش تراوش از پی سد مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس با مدلسازی پی سرریز بتنی سد گمبیری افغانستان، به بررسی نتایج حاصل از آنالیز مزبور پرداخته می شود. بررسی ها نشان می دهد که نرم افزار مزبور موارد مورد نظر را بخوبی مدلسازی نموده و نتایج منطقی از عملکرد ابنیه ارائه می دهد. ضمنا عمق دیوار آب بند حداقل برابر ۸ متر تعیین می گردد و تاثیر آن در کاهش میزان تراوش، حدود ۸۰ درصد برآورد می گردد. بررسی گرادیان های هیدرولیکی در نقاط بحرانی هم آنها را در محدوده مجاز نشان می دهد.

کلمات کلیدی: گرادیان هیدرولیکی، سد خاکی، فشار برکنش، تراوش

Hydraulic Control of the Foundation and Design of the Optimum Cutoff Wall Depth of Gambiri Diversion Dam

Afshin Hemmati

M.Sct of Civil engineering, Geotechnical engineering

Toossab Consulting Engineers Company, Mashad, Iran

Abstract

Embankment dams as most important human made constructions, would redound enormous casualty if designed without special considerations. so great respect should be devoted to design and inspection of them. besides prevalent stress- strain analysis and slope stability analysis, seepage anlaysis are mentioned as most important aspects in designation of the body and foundation of embankment dams. Control of infiltration of fines through foundation and hydraulic

gradients at the toe of embankments, design of the optimum depth of the cutoff wall or verification of the best method of leakage reduction through foundation could be mentioned as the results. Estimation of the uplift pressure, which could cause overturning or sliding instability of the spillway, is probable too. These outcomings could guaranty the suitable and safe dam action. In the current study, the process of modeling the highest section of Gambiri diversion embankment in the FEM software Seep, will be discussed. As a result, the optimum depth of the cutoff wall is defined and leakage reduction through foundation is assessed. Further analysis is made about the spillway foundation. Investigation shows porper and logical software results. the optimum depth of the cutoff wall is defined as 8 meters, and leakage reduction through foundation is assessed as 80 percents. Further investigations show that hydraulic gradients at critical foundation points are logical.

Key Words

hydraulic gradients, embankment dams, uplift pressure, leakage

مقدمه

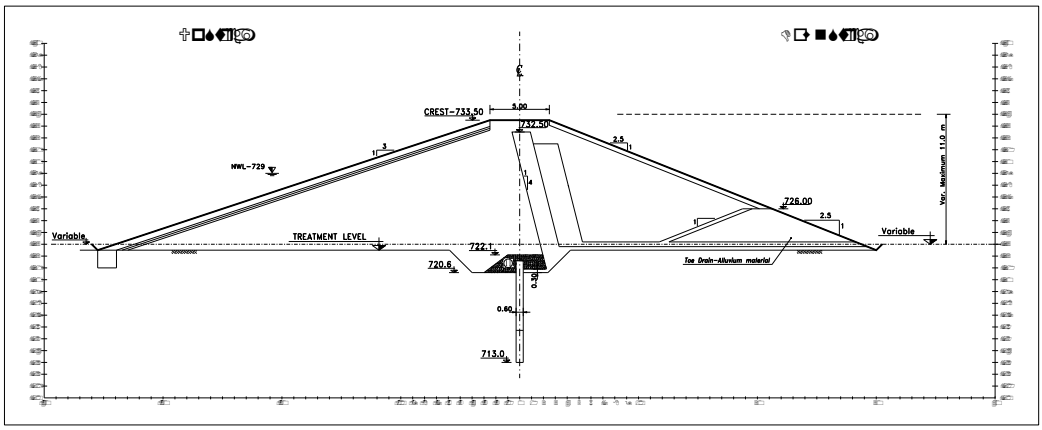
شاید هیچ سازه ای به اندازه سدها که در پائین دست آنها معمولا منطقه پر جمعیتی وجود دارد زمینه خطر فراهم نباشد. سدهای خاکی در حین بهره برداری، در معرض تراوش و مخاطرات ناشی از آن (از جمله ریزشویی مصالح پی) قرار دارند. سد انحرافی گمبیری با هدف انحراف آب رودخانه کنر به سوی نیروگاه برقابی طرح در حال مطالعه و طراحی است. این سد شامل دایک خاکی با ارتفاع حداکثر ۱۰ متر و طول حدود ۶۰۰ متر و یک سرریز بتنی اوجی با طول حدود ۳۰۰ متر در استان کنر افغانستان اجرا خواهد شد. روستاهای متعددی در پایین دست این سد قرار دارند. شکل شماره ۱ نمایی از طرح بدنه دایک خاکی مورد اشاره را نشان می دهد.

با وجود آنکه عمده هدف از احداث یک سد انحرافی، تغییر مسیر آب و نه ذخیره آب است و نباید ساخت آن موجب عدم دسترسی ساکنین پایین دست سد به آب شود، لازمست که با شناخت وضعیت آبگذری لایه های پی آبرفتی میزان دبی نشت از طریق بدنه و پی را به دست آورد و در صورت نیاز آن را به مقادیر قابل قبول محدود کرد. بدین منظور از نرم افزار اجزای محدودی Seep از مجموعه نرم افزاری Geo Office بهره گرفته شده است. میزان تخلیه آب، مقادیر فشارهای حفره‌ای و پتانسیل هیدرولیکی، و سرعت و مسیر جریان آب از درون پی و بدنهٔ سدهای خاکی را می‌توان توسط این برنامه تعیین کرد.

هدف از انجام تحلیل‌های تراوش صورت پذیرفته عبارتند از:

- تعیین عمق بهینه دیوار آب‌بند
- تعیین میزان دبی آب تراوش شده از پی و بدنهٔ دایک خاکی سد
- بررسی میزان تاثیر دیوار آب‌بند در کاهش تراوش آب از پی سد
- برآورد حداکثر گرادیان‌های ناشی از تراوش آب در پی سد و سرریز، و مقایسه با گرادیان‌های مجاز
- تعیین توزیع نیروهای تراوش از پی سرریز بتنی به منظور برآورد پایداری در برابر لغزش و واژگونی آن

اصول محاسبات تراوش در سدهای خاکی بر پایه روابط دارسی و معادلات پیوستگی و شبکه جریان استوار است. از آنجا که طول دایک خاکی سد زیاد است، قانون دارسی در دو بعد بر جریان تراوش حاکم بوده و آنالیزهای دوبعدی نرم افزار مورد اشاره، جوابگوی نیازهای طراحی هستند.



شکل ۱: نمایی از طرح بدنه دایک خاکی سد انحرافی گمبیری

معرفی مصالح پی آبرفتی

شواهد زمین شناسی و نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیک نشان دهنده آن است که فاصله سنگ بستر تا سطح زمین در محل سد به بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد. مصالح پی آبرفتی، در ۴ لایه کلی تا روی سنگ بستر قابل توصیف است:

۱- تراس‌های کم ارتفاع طرفین رودخانه که در جناح راست به سمت مصالح شنی تا ماسه‌ای، و در جناح چپ به سمت مصالح شنی تا رسی تمایل دارند. تراس‌های مزبور در واقع تکیه‌گاه‌های سد انحرافی را تشکیل می‌دهند. حداکثر مقادیر نفوذپذیری در جناح راست برابر $۲/۸\times۱۰^{-۳}$ cm/sec و در جناح چپ برابر $۷/۳\times۱۰^{-۴}$ cm/sec تخمین زده شده است.

۲- مصالح شنی و قلوه سنگی فوقانی بستر رودخانه (لایه فوقانی پی) که ضخامت تقریبی حدود ۱۰ متر دارند و تعدادی لنز ماسه ای (SM) بصورت پراکنده در اعماق مختلف این لایه شناسایی شده است. ضریب نفوذپذیری متوسط این لایه در جهت اطمینان $۳*۱۰^{-۲}$ سانتیمتر بر ثانیه تقریب زده می‌شود.

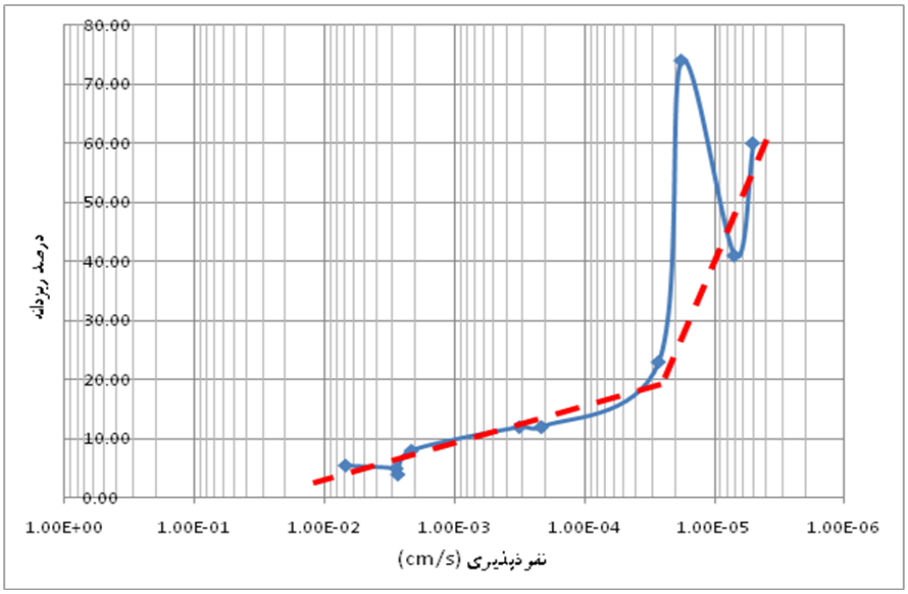
۳- مصالح شنی و قلوه سنگی تحتانی بستر رودخانه (لایه دوم پی آبرفتی) با تراکم زیاد و ضخامت حدود ۶۵ متر که نفوذپذیری آن به کمک آزمون‌های نفوذپذیری لوفران صورت پذیرفته، حدود $۶*۱۰^{-۴}$ تا $۷*۱۰^{-۴}$ سانتیمتر بر ثانیه تخمین زده شده است.

۴- لایه مصالح سنگی خرد شده که بر اساس آزمایش‌های ژئوفیزیک صورت پذیرفته، این لایه با ضخامت حدود ۴۰ متر و تراکم بسیار زیاد تا سنگ بستر ادامه دارد.

مصالح بدنه دایک خاکی

از آنجا که طرح‌های مختلف آب بندی بدنه دایک خاکی (اجرای بدنه همگن از مصالح کم نفوذپذیر، بدنه غیرهمگن با هسته رسی میانی، یا اجرای بدنه همگن از مصالح نفوذپذیر و رویه ژئوممبرانی) هزینه های اقتصادی متفاوتی خواهند داشت، به منظور مقایسه اقتصادی منابع قرضه متفاوتی برای احداث بدنه دایک خاکی مورد شناسایی قرار گرفته

اند. مصالح کم نفوذپذیر شناسایی شده در محدوده محور، عمدتا شامل مصالح شنی با درصدهای متفاوتی از ریزدانه سیلتی و رسی است. تغییرات نفوذپذیری این مصالح با تغییرات درصد ریزدانه (عبوری از الک شماره ۲۰۰) مصالح در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱: تغییرات نفوذپذیری مصالح کم نفوذپذیر شناسایی شده با تغییرات درصد ریزدانه مصالح

بر اساس نمودار فوق، جهش نسبتا بزرگی در نفوذناپذیری مصالح با حداقل ۲۰درصد ریزدانه بوقوع می پیوندد، که با منابع قرضه مصالح کم نفوذپذیر شناسایی شده انطباق مناسبی دارد.

رابطه ۱ برای محاسبه تقریبی ضریب نفوذپذیری مصالح فیلتر و زهکش پیشنهاد شده است[۲].

$$K = ۳۵۰۰ \times D_{۱۵}^{۲} \qquad (۱)$$

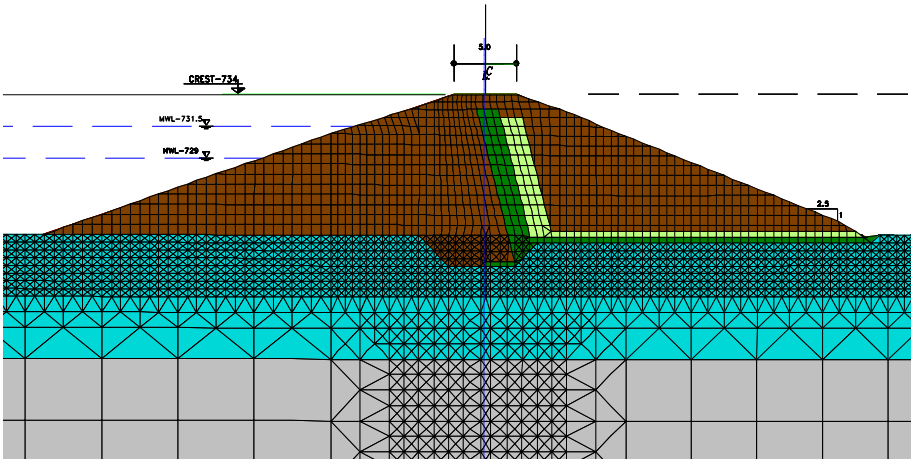
که در آن، D_{15} و K به ترتیب قطر ۱۵ درصد مصالح و نفوذپذیری مصالح بر حسب m و m/s هستند. با استفاده از طرح های پیشنهادی برای فیلتر و زهکش، ضریب نفوذپذیری آنها نیز بترتیب حدود ۰/۱۵(cm/s) و ۶(cm/s) خواهد بود. بر این اساس جدول شماره ۱ خلاصه‌ای از اعداد نفوذپذیری استدلال شده (در جهت اطمینان) در تحلیل‌های تراوش را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ضرایب نفوذپذیری افقی و قائم مصالح پی و بدنه در تحلیل‌های تراوش

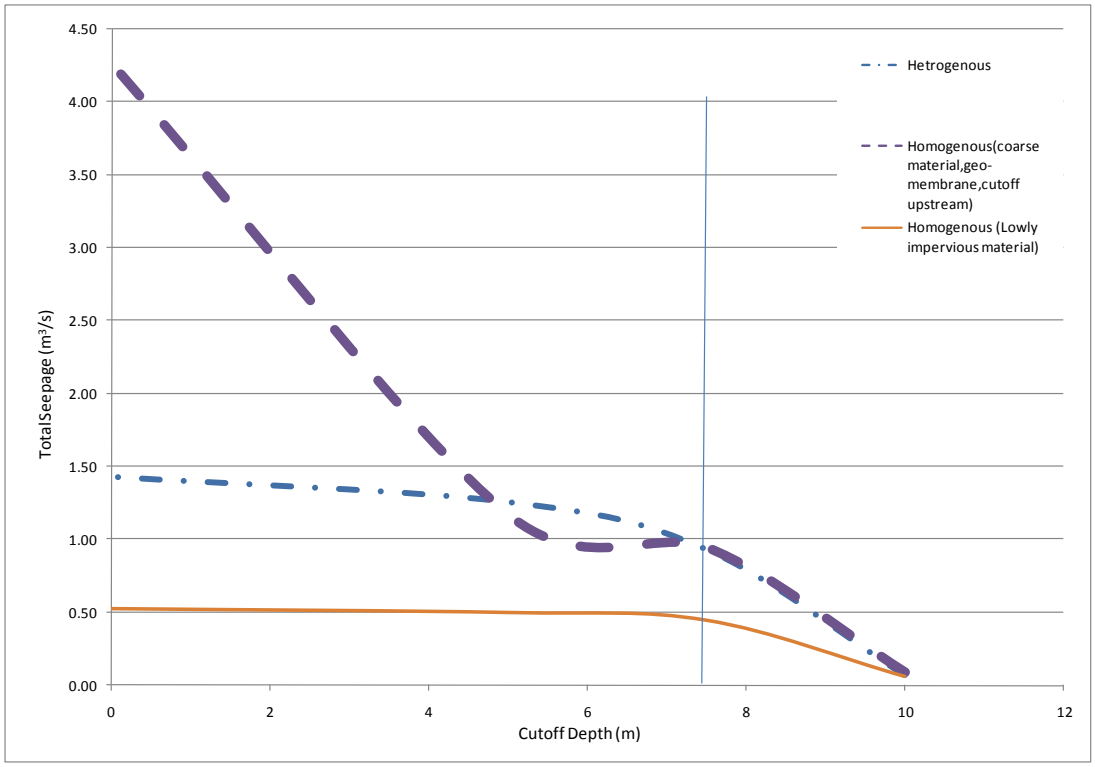
شماره	نوع مصالح	ضریب نفوذپذیری افقی (cm/s)	ضریب نفوذپذیری قائم (cm/s)	توضیحات
۱	مصالح مخلوط (کم نفوذپذیر)	$۱۰^{-۴}$	۲×۱۰^{-۵}	کاربرد در مدلسازی بدنه در حالت دایک خاکی همگن و هسته بدنه در حالت دایک خاکی غیرهمکن
۲	فیلتر	۱×۱۰^{-۱}	۱×۱۰^{-۱}	
۳	زهکش	۵	۵	
۴	پوسته	۵۰	۵۰	کاربرد در پوسته در حالت دایک خاکی غیرهمکن
۵	دیوار آب‌بند	Impervious	Impervious	

تحلیل های تراوش دایک خاکی

تحلیل های تراوش مزبور، شامل آنالیز میزان تراوش از بدنه و پی دایک خاکی سد انحرافی گمبیری و کنترل احتمال ایجاد جوشش در مصالح پای شیروانی پایاب دایک خاکی است. از آنجا که طرح‌های مختلف آب بندی بدنه دایک خاکی بارهای اقتصادی متفاوتی خواهند داشت، آنالیزها برای برای هر سه حالت ممکن (مورد اشاره در بند قبل) تکرار شده است. همچنین تاثیر اجرای دیوار آب بند با اعماق مختلف در فرایند فوق لحاظ گردیده است. بخشی از شبکه اجزاء محدود ساخته شده در مورد بدنه همگن، در شکل شماره ۲ بعنوان مثال نشان داده شده است. همچنین نتایج حاصل از آنالیزهای مرحله اول در نمودار شماره ۲ ارائه شده است.



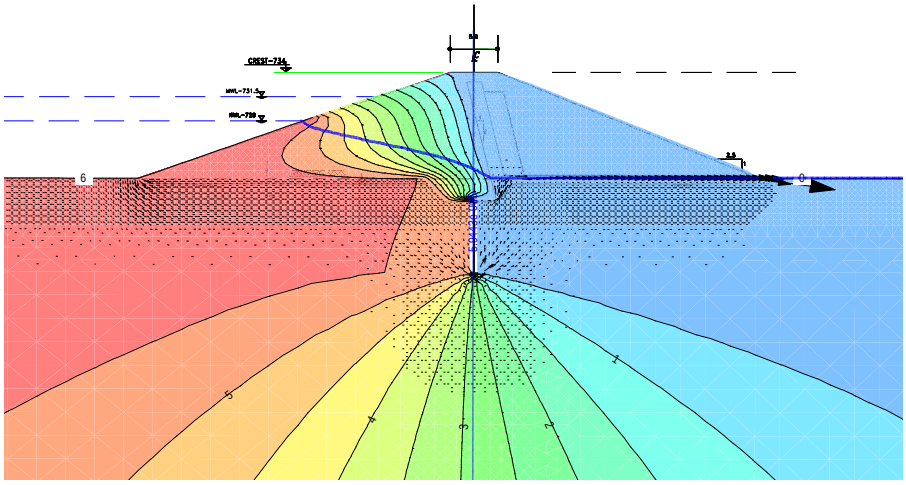
شکل ۲: شبکه اجزاء محدود ساخته شده در مورد بدنه همگن



نمودار ۲: نتایج حاصل از آنالیزهای تراوش از تیپ های مختلف بدنه دایک خاکی گمبیری

همانطور که از نمودار فوق برمی‌آید، کمترین میزان تراوش مربوط به طرح‌های همگن از مصالح کم نفوذپذیر (با یا بدون رویه آب‌بند ژئوممبرانی) است. بر اساس آنالیزهای اقتصادی، اجرای بدنه همگن از مصالح کم نفوذپذیر کمترین هزینه اجرایی را نیز به دنبال خواهد داشت. ضمنا میزان تاثیر دیوار آب‌بند در کاهش میزان تراوش از بدنه و پی سد انحرافی، به ازای اعماق بیش از ۸ متر دیوار آب بند محسوس‌تر خواهد بود. بعنوان مثال مقدار تراوش با احداث دیوار آب بندی تا عمق حدود ۱۰ متر نسبت به سطح زمین طبیعی، بیش از ۸۰ درصد حالت بدون اجرای دیوار آب بند کاهش خواهد یافت.

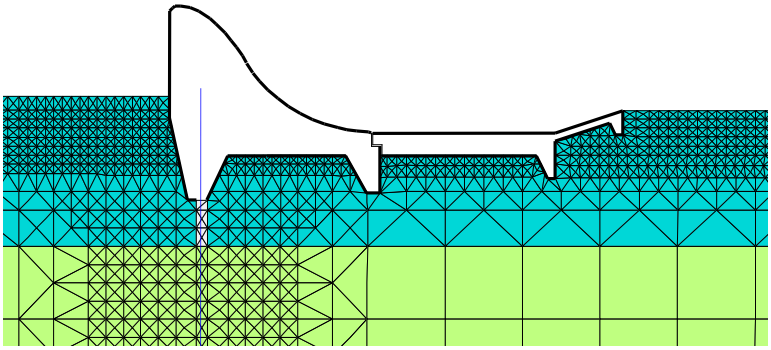
شکل شماره ۳ وضعیت خط فریاتیک آب منفذی در بدنه دایک خاکی همگن مورد اشاره و میزان دبی خروجی در واحد عرض از بدنه و پی دایک خاکی سد انحرافی، توزیع هد آب را برای مقطع حداکثر را به ازای اجرای دیوار آب‌بند تا عمق ۱۰ متر نسبت به بستر رودخانه نشان می‌دهد (با فرض برقراری شرایط تراوش پایدار (Steady State Seepage Conditions)). بر این اساس، دبی نشت با عنایت به این مطلب که طول تقریبی دایک حدود ۶۰۰ متر است، کل دبی خروجی از پی و بدنه دایک سد انحرافی گمبیری برابر حدود ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه برآورد می‌شود، که مقداری منطقی است.



شکل ۳: وضعیت خط فریاتیک آب منفذی، میزان دبی خروجی و توزیع هد آب در بدنه دایک خاکی همگن

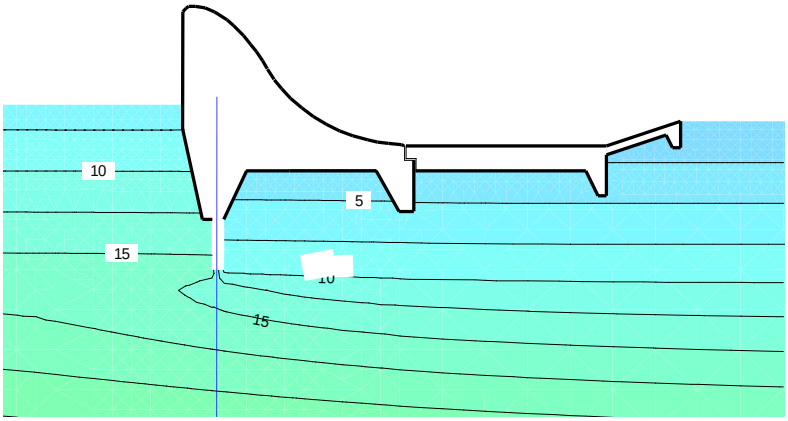
تحلیل‌های تراوش از پی سرریز بتنی

به منظور کنترل احتمال ایجاد جوشش در مصالح پای سرریز بتنی، ریزشویی در مصالح پی سرریز، همچنین تعیین توزیع واقعی فشارهای حفره ای ایجاد کننده بار برکنش (به منظور کنترل سازه‌ای سرریز بتنی طرح بلحاظ احتمال لغزش و واژگونی)، آنالیز تراوش از پی سرریز بتنی سد انحرافی گمبیری به ازای عمق بهینه دیوار آب‌بند، تا حصول طرح سرریز پایدار انجام شده است. توزیع فشار منفذی در نقاط مختلف زیر سرریز هم به ازای تراز نرمال و حداکثر آب در مخزن تعیین گردیده و در کنترل‌های لغزش و واژگونی سرریز بکارگیری شده است. نمونه‌ای شبکه اجزاء محدود به کار رفته در آنالیزها، در شکل۴ نشان داده شده‌است



شکل۴: نمونه‌ای از شبکه‌های اجزاء محدود به کار رفته در آنالیزهای تراوش از پی سرریز بتنی سد انحرافی گمبیری

شکل ۵ نیز توزیع جریان تراوش از پی سرریز بتنی سد انحرافی و نحوه توزیع هد آب حفره‌ای را در زیر بدنه نشان می‌دهد.



شکل۵: کانتورهای توزیع هد آب در پی سرریز بتنی سد انحرافی گمبیری

کنترل حداکثر گرادیان های هیدرولیکی

ضریب اطمینان در مقابل جوشش از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$F.S = \frac{i_{cr}}{i_{ex}} \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق icr شیب بحرانی (حدود ۱/۰) و iex شیب هیدرولیکی خروجی است، که توسط نرم افزار مورد استفاده ارائه می شود. بر اساس آنالیزها، در حالت اجرای دیوار آب‌بند تا عمق ۱۰ متر نسبت به بستر رودخانه، حداکثر مقدار شیب هیدرولیکی قائم مصالح پایاب خاکریز دایک‌های مورد آنالیز برابر ۰/۰۲ بدست آمده است. از سوی دیگر به توصیه مراجع برای اطمینان از جوشش مصالح در محل پنجه دایک خاکی سد انحرافی گمبیری، بایستی F.S>4 باشد. واضح است ضریب اطمینان مصالح محل پنجه دایک خاکی در برابر جوشش، مکفی است و دایک به لحاظ وقوع پدیده جوشش در مصالح پای شیروانی ایمن است. همچنین حداکثر مقدار شیب هیدرولیکی در محل خروجی سرریز بتنی مورد تحلیل برابر ۰/۰۲۱ بدست آمده است. واضح است ضریب اطمینان مصالح محل خروجی سرریز بتنی بند انحرافی نیز در برابر جوشش و ریزشویی مکفی است.

نتیجه گیری

فرایند مورد بحث، یک روند کلی مطالعه تراوش در سدهای خاکی (مطالعه موردی در مورد سد انحرافی گمبیری افغانستان) را نشان می دهد، که ضمن معرفی تیپ های بدنه ممکن و معرفی منابع قرضه در دسترس، امکان پذیری گزینه ها (بلحاظ فنی و اجرایی) و حتی الامکان گزینش بهترین گزینه را مدنظر قرار می دهد. مشاهده گردید از میان گزینه های ممکن بلحاظ ساخت بدنه دایک خاکی گمبیری، گزینه اجرای دایک از مصالح کم نفوذپذیر همگن بلحاظ فنی، اقتصادی و تامین منابع قرضه در اولویت است. بررسی های بیشتر حکایت از بهینه بودن اجرای دیوار آب بند با عمق بیش از ۸ متر (ترجیحا ۱۰ متر نسبت به زمین طبیعی) دارد. در این حالت، میزان تاثیر اجرای دیوار آب بند در کاهش تراوش از پی، حداکثر حدود ۸۰ درصد خواهد بود. میزان تراوش از بدنه و پی دایک خاکی در این حالت حداکثر حدود ۰/۰۴ مترمکعب برثانیه خواهد بود که مقداری منطقی است. بررسی گرادیان های هیدرولیکی حاصل از آنالیزهای تراوش از پی دایک خاکی و سرریز بتنی هم حکایت از ضرایب اطمینان منطقی در برابر جوشش و ریزشویی دارد.

مرجع‌ها

[1] H. D. Sharma “Embankment Dams” , Oxford & IBH publishing co., 1991.
[2] ICOLD Bulletin No 95 , “Embankment Dams Granular Filters and Drains”

[۳] گزارش های "مطالعات ژئوتکنیک" و "منابع قرضه" سد انحرافی گمبیری افغانستان، شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۹۰

[۴] رحیمی، ح ، " سدهای خاکی" ، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، بهار ۱۳۸۲.

[۵] احمدی، ب ، " تحلیل تراوش و رفتار دیوار آب بند سد خاکی بینالود "، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، اردیبهشت ۱۳۹۰