

تأثیر تغییرات تراز آب مخزن سد و استفاده از سیستم‌های زهکشی قائم بر پتانسیل لغزش در یک شیروانی خاکی

مهرداد امامی تبریزی^{۱*} و وحید طاهری ساروقیه^{۲*}

^۱ عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

دریافت ۹۴/۱۱/۲۵ پذیرش ۹۵/۷/۱۷

* نویسنده مسئول

چکیده

فعال شدن مجدد زمین‌لغزش‌های قدیمی از جمله مسائلی است که بنا به خطرات جانی و مالی که در پی دارد، امروزه مورد توجه مهندسين ژئوتکنیک قرار گرفته است. از جمله راه حل‌های مؤثری که می‌توان برای افزایش پایداری شیروانی‌های خاکی قرار گرفته در معرض آب به کار برد، استفاده از سیستم‌های زهکشی است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تغییرات تراز آب مخزن بر پایداری زمین‌لغزش‌های باز فعال شده در حاشیه مخازن سدها و همچنین مقایسه نتایج فاصله‌داری به دست آمده از روابط هوگهات و توازن انرژی می‌باشد. بدین منظور از داده‌های مخزن جناح راست سد قلعه چای به عنوان نمونه استفاده شده است، و تمامی مطالعات بر روی این شیروانی صورت گرفته است. نتایج بررسی‌ها حاکی از وجود دو روند مختلف در تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن سد هستند، در روزهای اولیه آگیری، ضریب اطمینان با افزایش تراز آب افزایش یافته و سپس افزایش تراز آب مخزن سد موجب کاهش ضریب اطمینان می‌شود. با نصب سیستم‌های زهکشی قائم روند تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن به یک روند منحصر به فرد تغییر یافته است و ملاحظه می‌شود که زمین لغزش از وضعیت ناپایدار کنونی به وضعیت پایدار خواهد رسید. با توجه به فرضیات معادله هوگهات در بررسی فاصله‌داری زهکش‌ها، که شیب هیدرولیکی در هر نقطه با شیب هیدرولیکی بالای آن نقطه برابر است و با علم به حساسیت فاصله‌داری زهکش‌ها به شدت تغذیه هیدرولیکی، ملاحظه می‌شود که در معادله هوگهات شیب هیدرولیکی به صورت دقیق تعیین نمی‌شود. بنابر این شدت تغذیه محاسبه شده عددی دور از واقعیت بوده و فاصله‌داری زهکش‌ها با استفاده از این معادله به صورت دقیق تعیین نخواهد شد.

واژگان کلیدی: شیروانی خاکی، زمین‌لغزش، مخزن سد، زهکش‌های قائم، پایداری.

۱- مقدمه

می‌گردد. به همین دلیل پایین آوردن سطح آب‌های زیرزمینی و کاستن از فشار آب حفره‌ای از روش‌های معمول در ایجاد پایداری شیروانی‌ها است [۳]. لذا به منظور کاستن از فشار آب حفره‌ای در شیروانی‌ها می‌توان از سیستم زهکشی زیرسطحی استفاده نمود که وظیفه اصلی آن، کاهش نیروهای هیدرواستاتیک و نیروهای حاصل از تراوش، پایین آوردن سطح آب‌های زیرزمینی، کنترل و هدایت جریان آب زیرزمینی به خارج محدوده لغزش و کم کردن گرادیان هیدرولیکی است [۴، ۵]. بنابر این حجم آبی که می‌توان به هنگام زهکشی از لایه خاک آب‌دار خارج کرد وابسته به نفوذپذیری و گرادیان هیدرولیکی است [۶].

استفاده از سیستم‌های زهکشی زیرسطحی در شرایطی که سطح گسیختگی در عمق پایین‌تری قرار گرفته باشد، مرسوم بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. بنابر این در زمین‌لغزش‌ها، غالباً از زهکش‌های زیرسطحی جهت افزایش

زمین‌لغزش‌ها غالباً در مناطق کوهستانی با شیروانی‌های ناپایدار به وقوع می‌پیوندند. از علل وقوع این پدیده عظیم می‌توان به بارندگی شدید، بالا رفتن تراز آب‌های زیرزمینی و وقوع زلزله اشاره کرد [۱]. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط Riemer، ۸۵ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در شیروانی‌های حاشیه مخازن سدها طی آگیری اولیه سد و یا دو سال بعد از آگیری اولیه رخ می‌دهند. همچنین مطالعات Jones و همکاران بر روی زمین‌لغزش‌های ایجاد شده در حاشیه مخزن سد Roosevelt نشان می‌دهند که ۴۹ درصد زمین‌لغزش‌ها در زمان آگیری و ۳۰ درصد در طول تخلیه مخزن سد اتفاق می‌افتد [۲].

گسیختگی شیروانی‌ها اغلب به دلیل بالا رفتن سطح آب‌های زیرزمینی بوده، که موجب افزایش فشار آب حفره‌ای در خاک

شایان ذکر است که اکثر روش‌هایی که برای تخمین فاصله‌داری زهکش‌ها به کار می‌رود، روابط تجربی بوده و به منظور برآورد ساختن خصوصیات ویژه منطقه معینی به دست می‌آید [۱۵]. در صورتی که شرایط زهکشی به صورت ماندگار در نظر گرفته شود، فرض می‌شود که میزان تغذیه سفره آب زیرزمینی برابر با میزان زهکشی از آن بوده و سطح ایستایی ثابت باقی می‌ماند. با توجه به آنچه اشاره شد، روابط هوگهات^۲ و معادله توازن انرژی از جمله روش‌هایی هستند که جهت بررسی فاصله‌داری زهکش‌ها به کار می‌روند [۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۷]. بر اساس نظریه هوگهات فاصله‌داری زهکش‌های قائم را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) به دست آورد.

$$S^2 = \frac{4k(H^2 - h^2 + 2dH - 2dh)}{v} \quad (1)$$

S : فاصله بین دو زهکش قائم (متر)

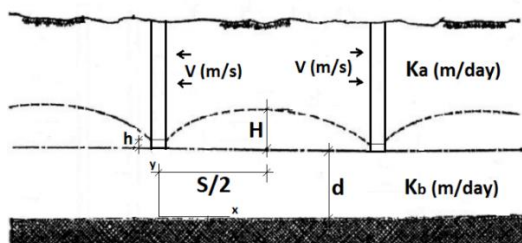
k : ضریب نفوذپذیری خاک (متر بر روز)

H : ارتفاع آب در بین دو زهکش نسبت به تراز کف زهکش (متر)

v : سرعت جریان آب در داخل خاک (متر بر ثانیه)

d : فاصله لایه نفوذناپذیر تا تراز کف زهکش‌ها (متر)

h : تراز آب در داخل زهکش نسبت به کف زهکش (متر)



شکل ۱- پارامترهای هوگهات در مورد تعیین فاصله زهکش‌ها

[۱۸]

در صورتی که فاصله بین کف زهکش تا لایه نفوذناپذیر (d) به سمت بی‌نهایت میل کند، فاصله بین زهکش‌ها نیز به سمت بی‌نهایت میل خواهد کرد. برای حل این مسئله در عمل فرض می‌شود که زهکش‌ها خالی باشند ($h=0$)، ملاحظه می‌شود که d از ترم سوم رابطه (۱) ($2dh$) حذف نشده و همچنان با مشکل بی‌نهایت شدن فاصله زهکش‌ها مواجه خواهیم بود. لذا از عمق معادل (d_e) به منظور حل این مشکل استفاده خواهیم نمود. بنابر این معادله هوگهات را می‌توان به صورت رابطه (۲)

پایداری استفاده می‌شود [۷]. همچنین زمانی می‌توان از سیستم‌های زهکشی قائم (که خود نوعی سیستم زهکشی زیرسطحی می‌باشد) استفاده نمود که لایه‌بندی خاک منطقه به صورت افقی بوده و با مقیاس زمین لغزش بزرگ باشد و همچنین شیب شیروانی ملایم باشد. عمق این زهکش‌ها را می‌توان ۱۰ تا ۳۰ متر در نظر گرفت [۸]. از جمله شیروانی‌هایی که در آن‌ها از سیستم‌های زهکشی زیرسطحی استفاده شده است می‌توان به زمین لغزش جاده Ilam-Chaali در غرب کشور نپال، زمین لغزش بزرگراه ۵۴۵ در نزدیکی روستای Jasper در Indiana، زمین لغزش کنارگذر غربی ۷۰ در Boonville ایالات Missouri، زمین لغزش بزرگراه ۱۳ در شمال Meeker ایالات Colorado، زمین لغزش Tairasawa در Saitama Prefecture ژاپن، زمین لغزش روستای Acqualoreto در بخش مرکزی ایتالیا اشاره کرد [۹-۲۱].

بررسی فاصله‌داری^۱ زهکش‌ها غالباً بر اساس دو فرضیه جریان گذرا و پایا می‌باشد. در صورتی که جریان پایا فرض شود، از روابط ارائه شده توسط Hooghoudt در سال ۱۹۴۰ و Kirkham و Toksoz در سال ۱۹۶۱ استفاده می‌شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته اختلاف فاصله‌داری محاسبه شده از دو رابطه مذکور کمتر از ۵٪ است [۱۳]. امروزه نیز جهت دستیابی به فاصله زهکش‌های قائم از همدیگر از ترکیب معادله توازن انرژی با رابطه داری استفاده می‌شود. معادله توازن انرژی برای جریان آب زیرزمینی، اولین بار توسط Oosterbaan و همکاران در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است [۱۴].

در پژوهش حاضر ابتدا تأثیر تغییرات تراز آب مخزن سد بر تراز آب زیرزمینی داخل شیروانی و همچنین پایداری آن مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با در نظر داشتن زهکش‌های قائم و تأثیرگذاری آن‌ها بر افزایش پایداری زمین لغزش، فاصله‌داری زهکش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی فاصله‌داری زهکش‌ها از دو رابطه هوگهات و توازن انرژی، استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه از داده‌های مربوط به شیروانی خاکی جناح راست سد قلعه چای استفاده شده است.

۲- تئوری معادلات هوگهات و توازن انرژی

در اغلب موارد از قانون داری در مبحث طراحی زهکش‌ها استفاده شده است و می‌توان اذعان داشت که بیشتر روابط ریاضی مربوط به طراحی زهکش‌ها بر پایه قانون داری می‌باشد.

نشان داد:

- جریان به صورت پایا یا ماندگار است.
- جریان به صورت قائم یا دو بعدی است.
- مؤلفه‌های افقی جریان در طول عمق مقطع ثابت است.
- هدایت هیدرولیکی خاک در تمامی نقاط ثابت می‌باشد.

بنابر این خواهیم داشت:

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{V_x}{K_x} - \frac{R(h-H)}{V_x \cdot h} \quad (۴)$$

h : تراز آب زیرزمینی در فاصله x از زهکش

H : مقدار اولیه h

V_x : سرعت ظاهری جریان در راستای x

K_x : ضریب نفوذپذیری خاک در راستای x

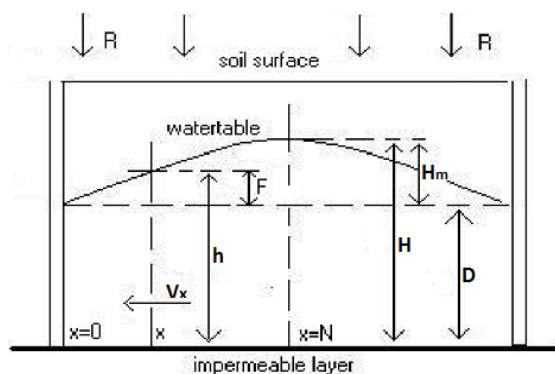
R : میزان تغذیه جریان

جزء آخر رابطه (۴) نشان‌دهنده انرژی مربوط به تغذیه جریان (R) می‌باشد. در صورتی که در این معادله تغذیه را برابر صفر در نظر بگیریم، معادله (۴) تبدیل به معادله دارسی می‌شود. با توجه به شکل (۲) ملاحظه می‌شود که در $x = \frac{S}{2}$ سطح آب به صورت افقی می‌باشد و در صورتی که $x \leq \frac{S}{2}$ باشد، دبی جریان برابر است با:

$$Q = -R\left(\frac{S}{2} - x\right) \quad (۵)$$

در رابطه (۵) علامت منفی نشان‌دهنده مخالف بودن جهت جریان در راستای x می‌باشد. حال می‌توان سرعت جریان در راستای x را به صورت رابطه (۶) نشان داد:

$$V_x = \frac{Q}{h} = \frac{-R\left(\frac{S}{2} - x\right)}{h} \quad (۶)$$



شکل ۲- سطح آب موجود در بین دو زهکش موازی [۱۴]

$$S^2 = \frac{4kH(2d_e + H)}{V} \quad (۲)$$

d_e را می‌توان با در نظر داشتن بازه‌های زیر در رابطه (۲) جایگزین نمود، لازم به ذکر است که r شعاع زهکش می‌باشد:

$$d < r : d_e = d$$

$$r < d < \frac{S}{4} : d_e =$$

$$d \cdot S / \left((S - 2d) + 8d \cdot S \cdot \ln\left(\frac{d}{r}\right) \right)$$

$$d > \frac{S}{4} : d_e = S / 8 \ln\left(\frac{S}{r}\right)$$

در صورتی که بستر متشکل از چند لایه باشد، به صورتی که k_a ضریب هدایت هیدرولیکی در لایه بالای خط زهکش و k_b ضریب هدایت هیدرولیکی در پایین خط زهکش باشد، رابطه هوگهات به شکل زیر در خواهد آمد:

$$S^2 = \frac{4}{V} (k_a H^2) + \left(\frac{8}{V} k_b d H \right) \quad (۳)$$

در خاک‌هایی که تعداد لایه‌های آن زیاد است، می‌توان متوسط وزنی ضریب هدایت هیدرولیکی افقی را در نظر گرفت. به طور کلی فرضیات هوگهات عبارتند از:

- خاک همگن بوده و هدایت هیدرولیکی مشخصی دارد.
- زهکش‌ها به فاصله S از همدیگر قرار دارند.
- شیب هیدرولیکی هر نقطه برابر است با شیب هیدرولیکی سطح آب زیرزمینی در بالای آن نقطه.
- قانون دارسی در مورد حرکت آب در خاک صادق است.
- لایه غیر قابل نفوذ به فاصله d از زهکش واقع شده است.
- مرکز مختصات در زیر یکی از زهکش‌ها و بر روی لایه غیر قابل نفوذ واقع شده است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی فاصله‌داری زهکش‌ها، امروزه برای پیدا کردن فاصله زهکش‌های قائم و افقی از همدیگر از ترکیب معادلات توازن انرژی و دارسی استفاده می‌شود [۱۴]. مفهوم توازن انرژی جریان آب زیرزمینی، بر این اساس استوار است که تغییر شار انرژی هیدرولیکی در یک مسیر افقی، برابر با تغییرات تبدیل انرژی هیدرولیکی به اصطکاک موجود در مقابل جریان در همان مسیر است [۱۷]. به منظور حل این معادله (رابطه (۷))، فرضیات زیر را خواهیم داشت [۱۴]:

در صورت ترکیب دو رابطه (۴) و (۶) خواهیم داشت:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{R(\frac{S}{2}-x)}{K_x \cdot h} - \frac{H-h}{\frac{S}{2}-x} \quad (7)$$

در صورت اعمال فرضیات زیر در رابطه (۷)، آن را می‌توان به صورت رابطه (۸) بازنویسی کرد.

$$H_m = H - h, F = h - D \quad (7)$$

با مراجعه به شکل (۲) ملاحظه می‌شود که h نشان‌دهنده تراز آب زیرزمینی نسبت به تراز آب موجود در داخل زهکش می‌باشد. در صورت مشتق‌گیری از F_n (مقدار F در نقطه $N = \frac{S}{2}$) و H_m در نقطه $N = F_n$ خواهد بود.

$$\frac{dF}{dx} = \frac{R(\frac{S}{2}-x)}{K_x \cdot h} - \frac{F_n - F}{\frac{S}{2}-x} \quad (8)$$

در صورتی که قطر زهکش را برابر C در نظر بگیریم، با انتگرال‌گیری از رابطه (۸) در بازه C تا هر متغیر x ، رابطه (۸) به صورت رابطه (۹) در خواهد آمد.

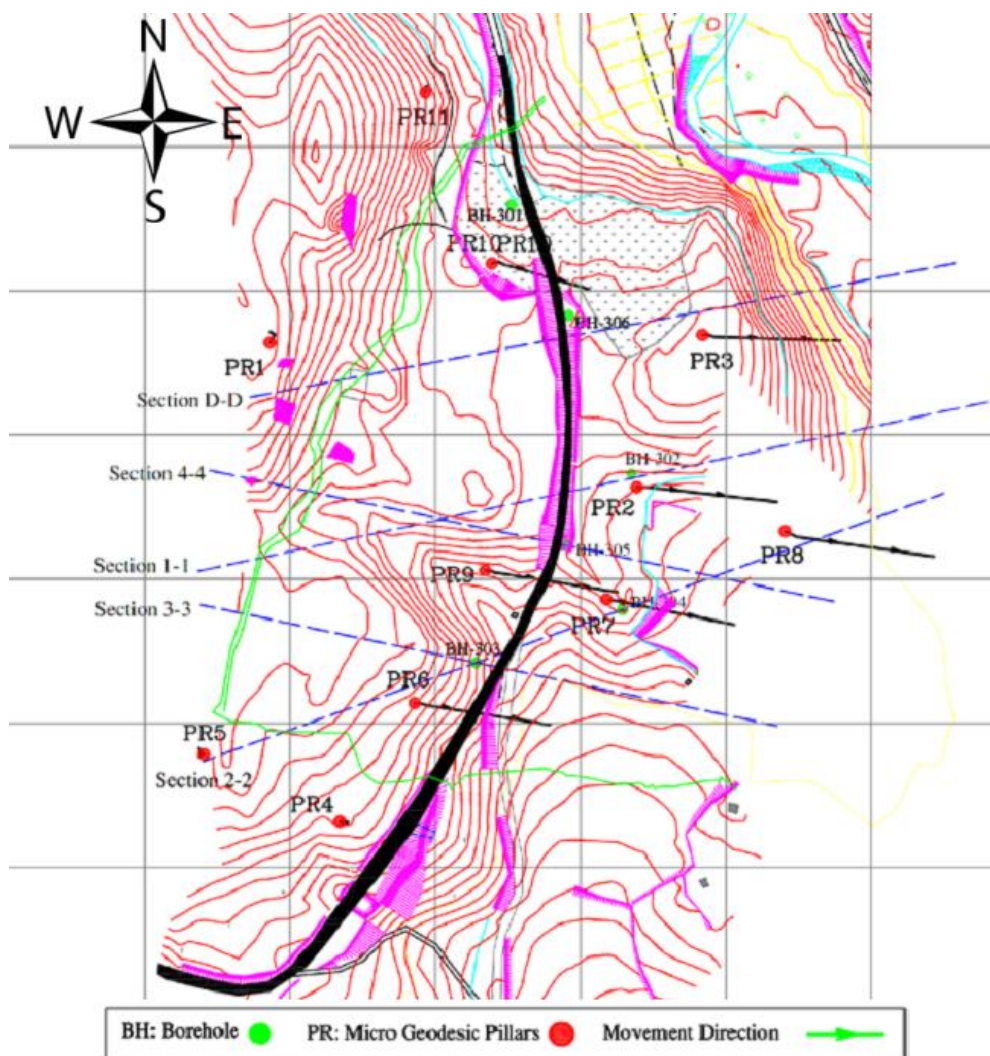
$$h = \int_C^x \left[\frac{R(\frac{S}{2}-x)}{K_x \cdot h} \right] dx - \int_C^x \left[\frac{F_n - F}{\frac{S}{2}-x} \right] dx \quad (9)$$

حل ترم دوم رابطه (۹) مستلزم داشتن اطلاعاتی از مقدار F_n می‌باشد، به همین منظور می‌توان از روش‌های عددی و آزمون و خطا استفاده نمود. در صورت حل این رابطه به شیوه‌های عددی، می‌توان فاصله زهکش‌ها (S) را از همدیگر به دست آورد.

۳- مشخصات زمین لغزش قله‌چای

زمین لغزش قله‌چای نیز از جمله زمین لغزش‌های قدیمی است که در اثر تغییرات تراز آب مخزن سد قله‌چای و همچنین بالا رفتن تراز آب‌های زیرزمینی در داخل توده لغزش باز فعال شده است. حجم مخزن این سد در حدود ۴۰ میلیون متر مکعب بوده و محور اصلی سد بر روی شاخه اصلی رودخانه قله‌چای در ۲/۵ کیلومتری پایین‌دست روستای ینگچه و به فاصله مستقیم ۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان عجب‌شیر، در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. آبرگیری این سد از سال ۱۳۸۶ شروع

و در سال ۱۳۸۹ بعد از دو بار آبرگیری مخزن سد، نشانه‌هایی از وقوع یک زمین لغزش بزرگ مشاهده گردید. حجم تقریبی این زمین لغزش نزدیک به ۲ تا ۵ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است [۱۹]. بررسی‌های میدانی انجام شده بر روی این زمین لغزش نشانگر قرارگیری آن در رده A از دسته‌بندی آیین‌نامه حفاظت از شیروانی‌های کنار جاده‌ای می‌باشد. این رده، بیان‌کننده سطح خطر بالا می‌باشد و شرایطی که موجب قرارگیری زمین لغزش قله‌چای در این رده شده است، وقوع تغییر شکل‌های بزرگ همانند اسکارپ‌ها، جابه‌جایی‌ها و ترک‌های قابل مشاهده، فرونشست‌ها و برآمدگی‌های ایجاد شده در آن می‌باشد [۲۰، ۲۱]. در سال ۱۳۸۹ و بلافاصله بعد از مشاهده نشانه‌های وقوع زمین لغزش در جناح راست مخزن سد قله‌چای، اقداماتی جهت تعیین محل سطح لغزش و تعیین لایه‌بندی ناحیه زمین لغزش صورت گرفت. بر اساس این لایه‌بندی، لایه اول یک لایه غیر چسبنده و مخلوطی از شن، ماسه، سیلت و قلوه‌سنگ می‌باشد. لایه بعدی مشاهده شده در گمانه‌ها بستر سنگی از جنس توف است و بین این دو، لایه ضعیف رسی با ضخامت ناچیز وجود دارد. برای لایه‌بندی توده در محدوده گمانه‌ها از درون‌یابی خطی و در خارج از محدوده گمانه‌ها از برون‌یابی خطی استفاده شده است و همچنین با توجه به اطلاعات کم در مورد ضخامت لایه رسی، این لایه به ضخامت ۰/۵ متر فرض شده است [۱۹]. محل لوگ گمانه‌ها در شکل (۳) و با علامت BH نشان داده شده‌اند. متأسفانه در بررسی‌های فوق‌الذکر هیچ گونه مطالعه آزمایشگاهی صورت نگرفته است. بنابر این با توجه به عدم برداشت داده‌های دقیق آزمایشگاهی و صحرایی از خصوصیات مصالح ناحیه زمین لغزش و همچنین عدم قطعیت در تعیین دقیق پارامترهای ژئومکانیکی توده‌ها، در این پژوهش از روش تحلیل برگشتی تلفیقی پیشنهادی در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی سهند تبریز به منظور تعیین پارامترهای مذکور استفاده شده است [۲۲]. سپس با انجام تحلیل‌های تراوش و پایداری، وضعیت زمین لغزش قله‌چای با در نظر گرفتن تغییرات تراز آب مخزن سد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان‌دهنده ناپایدار بودن زمین لغزش قله‌چای است.



شکل ۳- توپوگرافی محل لغزش به همراه گمانه‌ها، میکروپیلارها و مقاطع بررسی شده [۲۳]

خارج سد طراحی و اجرا شده است. یازده پیلار در منطقه لغزش نصب و قرائت‌های مرحله‌ای از آن‌ها انجام شده است. با استفاده از نتایج پیلارها جهت حرکت توده در حال لغزش مشخص شده است (شکل ۳). با مراجعه به شکل (۳) ملاحظه می‌شود که مقاطع ۳-۳ و ۴-۴ در راستای لغزش بوده، مقطع ۳-۳ به عنوان مقطع مطالعاتی برگزیده شده است.

به منظور تعیین خصوصیات مکانیکی زمین لغزش قلعه‌چای از مدل الاستیک- پلاستیک برای لایه‌های توده در حال لغزش و سطح لغزش و همچنین از مدل الاستیک خطی برای مدل‌سازی سنگ بستر استفاده شده است. این پارامترها با انجام تحلیل برگشتی تلفیقی و با در نظر گرفتن هم‌زمان ضرایب اطمینان شیروانی در آستانه جابه‌جایی و مقایسه جابه‌جایی‌های حاصل از نرم‌افزار و ابزار دقیق به دست آمده‌اند.

به منظور مشخص شدن تراز آب زیرزمینی و تأثیرات مخزن بر توده، شش گمانه حفر شده در محل لغزش پس از حفاری به پیژومتر تبدیل شده‌اند، وضعیت سطح آب در گمانه‌های مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج تغییرات سطح آب مخزن با ضرایب نفوذپذیری متفاوت با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تراز آب در گمانه‌های حفر شده در محل، مقایسه شده است. نتایج تحلیل‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که در صورت در نظر گرفتن ضرایب نفوذپذیری ۰/۱ متر در روز برای سطح لغزش و ۱۰۰ متر در روز برای توده در حال لغزش، با نتایج قرائت شده از پیژومترها هم‌خوانی مناسبی خواهد داشت [۲۳]. لازم به ذکر است که ضریب نفوذپذیری سنگ بستر ۰/۲ متر در روز در نظر گرفته شده است [۲۴].

برای کنترل حرکات سب‌بعدی این منطقه یک شبکه ژئودتیک ماهواره‌ای متکی به پیلارهای شبکه میکروژئودزی

جدول ۱- پارامترهای به دست آمده از تحلیل برگشتی [۱۹]

توده لغزنده	سطح لغزش	
۲۰	۱۸	چگالی (kN/m^3)
۰	۰	چسبندگی (KPa)
۳۰	۶/۳	زاویه اصطکاک (Degree)
۰/۳	۰/۳۵	ضریب پواسون
۲۰۰	۱۸	مدول الاستیسیته (Mpa)

۴- مدل سازی و فرضیات

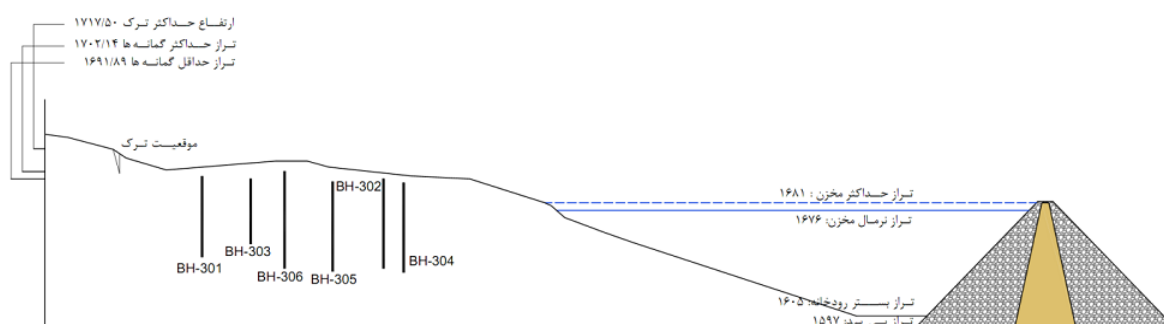
به منظور بررسی پتانسیل زمین لغزش سد قلعه چای، بعد از اجرای سیستم های زهکشی و بررسی اثر تغییرات تراز آب مخزن بر ایجاد ناپایداری، از نرم افزارهای دوبعدی Seep/w و Slope/w که از مجموعه نرم افزارهای Geostudio 2007 می باشند، استفاده شده است [۲۵، ۲۶]. همچنین به منظور بررسی فاصله داری زهکش های قائم می توان از نرم افزار WellDrain استفاده نمود [۱۷].

در مدل نشان داده شده در شکل (۵)، مرزهای قائم در جهت افقی و مرزهای تحتانی در تمامی جهتها نسبت به جابه جایی مقید شده اند. در ارتباط با شرایط مرزی هیدرولیکی نیز می توان گفت، عبور جریان در مرزهای قائم آزاد بوده ولی در مرزهای تحتانی از عبور جریان جلوگیری شده است. لازم به ذکر است که به منظور تعریف تغییرات تراز آب مخزن سد نیز از شرایط مرزی در پایین دست شیروانی استفاده شده است. در اغلب موارد ایجاد یک مدل فیزیکی پیچیده موجب افزایش دقت نتایج نشده و بعضاً

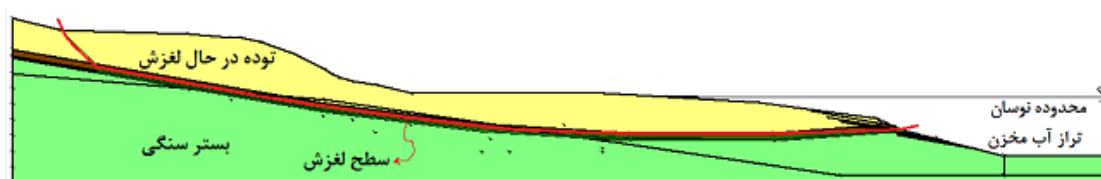
دقت نتایج را کاهش نیز می دهد، به منظور تعریف زهکش در نرم افزار Seep/w می توان از شرایط مرزی به جای استفاده از مدل فیزیکی پیچیده بهره برد [۲۵]. بنابر این با تعریف زهکش به صورت شرایط مرزی دقیقاً نتایج شبیه حالتی خواهد بود که زهکش به صورت فیزیکی تعریف شده است. باید در نظر داشت که پتانسیل آب در زهکش برابر صفر بوده و لذا تمام آب هایی که از نظر ارتفاعی بالاتر از سطح آب در زهکش می باشند، دارای پتانسیل بیشتر بوده و به طرف زهکش ها جریان می یابد [۱۸]. بنابر این به هنگام تعریف شرط مرزی مربوط به زهکش، فشار آب حفره ای را برابر با صفر قرار می دهیم.

با توجه به این که روش Morgenstern-Price، نسبت به سایر روش ها مقبولیت و جامعیت بیشتری دارد، به همین منظور در تحلیل پایداری از این روش استفاده شده است [۲۱]. در این مطالعه از المان های Quads & Triangle با تعداد المان های ۱۸۴۷ و ابعاد تقریبی ۵ متر استفاده شده است.

همان طور که گفته شد، به منظور یافتن فاصله داری زهکش های قائم از نرم افزار WellDrain استفاده شده است. این نرم افزار بر مبنای قانون دارسی و معادلات توازن انرژی کد نویسی شده است [۱۷]. این نرم افزارها قابلیت مدل سازی محیط های سه لایه ای با هدایت هیدرولیکی مختلف و غیر ایزوتروپ را دارد [۱۴]. نهایتاً نتایج حاصل از این روش با نتایج حاصل از معادله هوگهات مقایسه شده و مورد بحث قرار گرفته است.



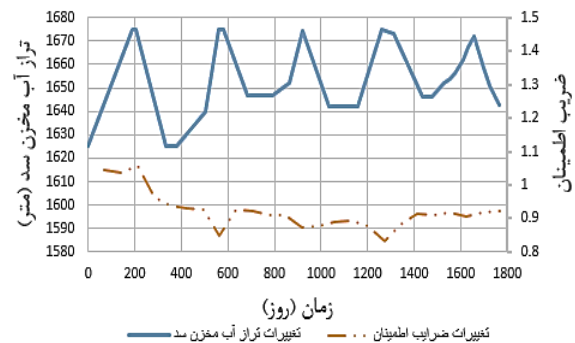
شکل ۴- وضعیت شماتیک تراز مخزن نسبت به زمین لغزش و گمانه های حفر شده [۱۹]



شکل ۵- مقطع مورد مطالعه [۲۲]

۵- نتایج و بحث

نمودار ارائه شده در شکل (۶)، نشان‌دهنده ضرایب اطمینان زمین لغزش قلعه‌چای در وضعیت استاتیکی نسبت به زمان می‌باشد. در این نمودار می‌توان تغییرات ضرایب اطمینان را با کاهش یا افزایش تراز آب مخزن سد مشاهده نمود.



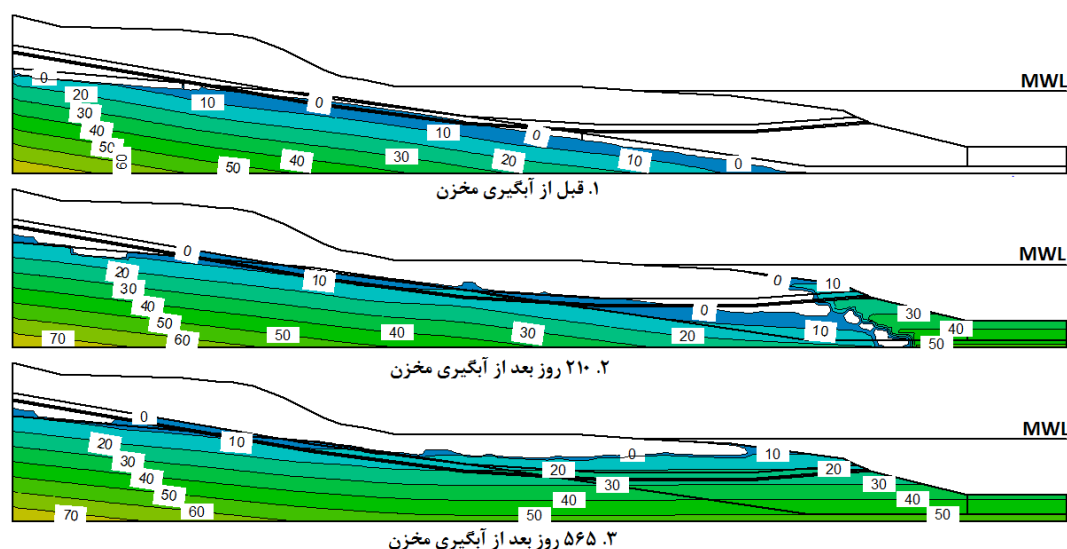
شکل ۶- تغییرات ضرایب اطمینان استاتیکی نسبت به تراز آب مخزن

با مراجعه به شکل (۶) ملاحظه می‌شود که ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش برابر ۰/۹۲ بوده است لذا با توجه به تحلیل‌های عددی صورت گرفته زمین لغزش قلعه‌چای در وضعیت کنونی ناپایدار می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نیز تأیید کننده این امر بوده و جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری شده نیز حاکی از آن می‌باشد.

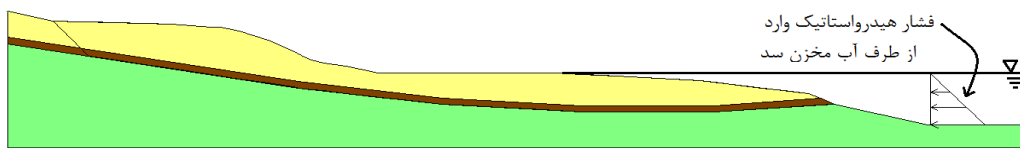
روند تغییرات پایداری نسبت به تغییرات تراز آب مخزن سد نشان می‌دهد که در ابتدا با افزایش تراز آب مخزن ضریب

اطمینان افزایش یافته است (تقریباً تا روز ۲۰۰ ام)، سپس افزایش تراز آب مخزن موجب کاهش ضرایب اطمینان شده است. به منظور بررسی این دو روند مختلف در افزایش پایداری زمین لغزش قلعه‌چای، به بررسی فشار آب در داخل ناحیه زمین لغزش در سه بازه زمانی مختلف پرداخته شده است. با توجه به آنچه قبلاً اشاره شد و در شکل (۷) نیز قابل ملاحظه است، جریانی پایا از بالادست شیروانی به سمت مخزن در حال جریان است. با آگیری مخزن سد نیز آب داخل مخزن به داخل توده لغزش نفوذ کرده و در حال برقراری ارتباط با آب زیرزمینی موجود در داخل توده لغزش می‌باشد. با توجه به شکل (۷) ملاحظه می‌شود که این ارتباط در روز ۲۱۰ ام به صورت ناقص برقرار شده و با گذشت زمان این ارتباط کامل‌تر می‌شود، در ضمن با گذشت زمان و کامل‌تر شدن ارتباط آب مخزن با آب زیرزمینی موجود در توده لغزش، فشار آب و سطح آب زیرزمینی متناسب با تغییرات تراز آب مخزن در حال تغییر می‌باشند.

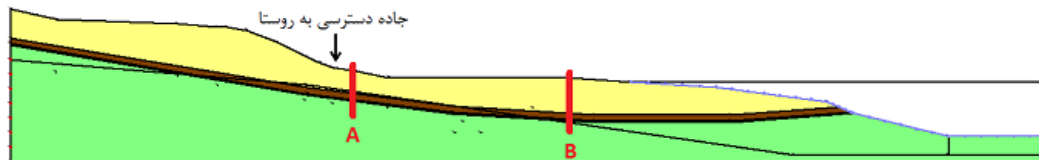
بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که در بازه زمانی که ارتباط بین آب موجود در داخل مخزن با آب زیرزمینی داخل توده زمین لغزش برقرار نشده است، فشار هیدرو استاتیک ایجاد شده از طرف آب مخزن سد به منزله نیروی مقاوم عمل کرده و موجب افزایش پایداری زمین لغزش می‌شود (شکل (۸)). ولی با گذشت زمان و کامل شدن این ارتباط، فشار آب در داخل توده زمین لغزش افزایش پیدا کرده و پایداری زمین لغزش را تهدید می‌کند. به طوری که اثر این عامل محرک بیشتر از عامل مقاوم بوده و شاهد کاهش ضرایب اطمینان زمین لغزش خواهیم بود.



شکل ۷- تغییرات فشار آب در داخل ناحیه زمین لغزش با آگیری مخزن سد



شکل ۸- فشار هیدرواستاتیک اعمال شده به توده در حال لغزش از طرف آب موجود در مخزن سد



شکل ۹- نقطه محل‌های مناسب جهت قرارگیری چاه‌های زهکشی

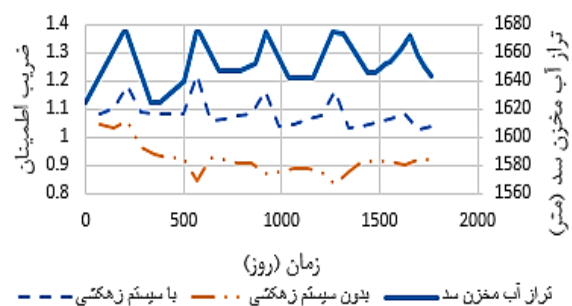
با مراجعه به شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود که در صورت ایجاد چاه‌های زهکشی، میزان فشار آب موجود در داخل توده زمین لغزش کاهش یافته و همچنین شاهد کاهش سطح آب زیرزمینی خواهیم بود. بنابر این با توجه به آنچه قبلاً بیان شده است، با نصب سیستم‌های زهکشی تأثیرگذاری افزایش فشار آب حفره‌ای کم‌رنگ‌تر شده و به دلیل وارد شدن نیروی هیدرواستاتیک از طرف آب مخزن سد، افزایش تراز آب مخزن موجب افزایش پایداری زمین لغزش شده است.

با توجه به شکل (۹)، عمق چاه‌های زهکش در نظر گرفته شده برای چاه‌های سری A و B به ترتیب برابر ۳۱ و ۳۶ متر بوده و قطر تمامی چاه‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. به منظور تعیین فاصله‌داری زهکش‌های قائم، نیاز به داشتن اطلاعاتی از جمله دبی مورد نیاز و گرادیان هیدرولیکی ایجاد شده در اطراف چاه‌های زهکش می‌باشد که در جدول (۲) بیان شده است. علامت منفی دبی جریان در جدول (۲) بیانگر دبی می‌باشد که توسط سیستم زهکشی از واحد عرض مقطع زمین لغزش به بیرون آن هدایت می‌شود. لازم به ذکر است که طول بعد سوم مقطع زمین لغزش برابر ۵۰۰ متر بوده و تعداد چاه‌های زهکش با توجه به این فاصله به دست خواهد آمد. در شکل (۱۲) نیز نمای شماتیک از بعد سوم ناحیه زمین لغزش نشان داده شده است.

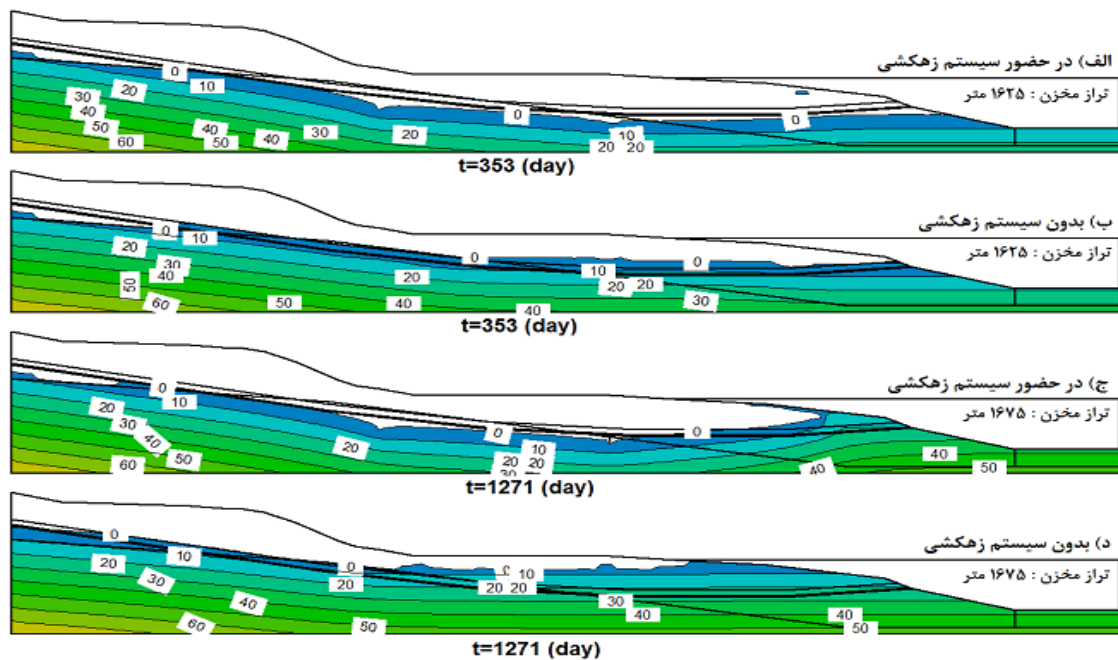
جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی سیستم زهکشی در تراز آب

چاه	دبی جریان (m/day)	گرادیان هیدرولیکی
A	-۱/۶۶	۰/۳۰
B	-۱/۸۴	۰/۲۵

با توجه به قرارگیری سطح گسیختگی در اعماق بسیار پایین و زیاد بودن حجم توده در حال لغزش، در این پژوهش از سیستم‌های زهکشی قائم استفاده شده است. به همین منظور نقطه محل‌های مختلفی برای قرارگیری سیستم زهکشی انتخاب شده است، که با بررسی نقطه محل‌های مختلف مناسب‌ترین محل جهت احداث چاه‌های زهکش تعیین شده است. نقطه محل انتخابی جهت قرارگیری زهکش‌های قائم در شکل (۹) به وضوح نشان داده شده است. نمودار نشان داده شده در شکل (۱۰) نیز تغییرات ضرایب اطمینان مربوط به زمین لغزش پایدار شده با سیستم زهکشی را نسبت به تغییرات تراز آب مخزن سد نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ملاحظه می‌شود که با نصب سیستم‌های زهکشی روند تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن به یک روند منحصر به فرد تبدیل شده است. به عبارت دیگر با افزایش تراز آب مخزن سد، ضرایب اطمینان زمین لغزش همواره افزایش یافته است. به منظور بررسی این روند منحصر به فرد در شکل (۱۱) به مقایسه فشار آب در داخل توده زمین لغزش در دو حالت با و بدون سیستم زهکشی پرداخته شده است.

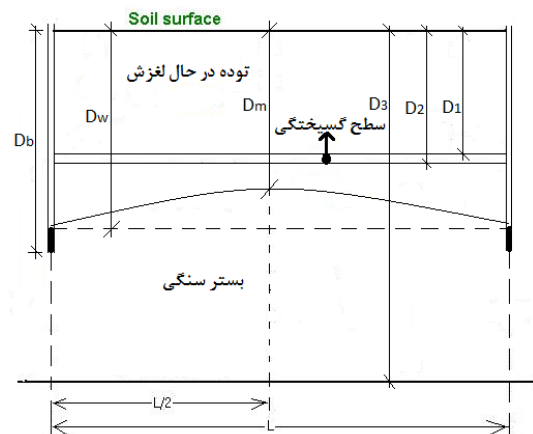


شکل ۱۰- تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن



شکل ۱۱- میزان فشار آب ایجاد شده در توده زمین لغزش در دو بازه زمانی با تراز آب مخزن حداقل (۱۶۲۵) و حداکثر (۱۶۷۵)

با مراجعه به فرضیات اولیه در نظر گرفته شده در معادله هوگهات ملاحظه می‌شود که جریان ورودی به داخل زهکش به صورت افقی فرض شده ولی در معادله توازن انرژی جریان ورودی به زهکش، قائم نیز می‌تواند باشد. از جمله فرضیات دیگری که در این دو معادله یکسان نمی‌باشد، فرض یکسان بودن شیب هیدرولیکی در هر نقطه با شیب هیدرولیکی بالای آن نقطه در فرضیات معادله هوگهات است، که در واقعیت چنین نیست. با توجه به این که شدت تغذیه زهکش (سرعت جریان ورودی به داخل زهکش) وابسته به شیب هیدرولیکی می‌باشد، در نمودار مربوط به شکل (۱۳) به بررسی تأثیر این پارامتر بر فاصله‌داری زهکش‌ها در هر دو معادله مذکور پرداخته شده است.

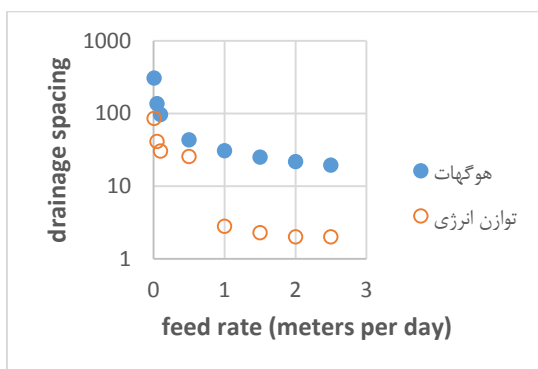


شکل ۱۲- نمایی شماتیک از زمین لغزش در امتداد بعد سوم

نتایج مربوط به فاصله‌داری و تعداد زهکش‌های به دست آمده برای چاه‌های زهکش، با استفاده از دو معادله توازن انرژی و هوگهات محاسبه و در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه فاصله‌داری و تعداد زهکش‌ها

چاه	معادلات توازن انرژی		معادلات هوگهات	
	تعداد زهکش	فاصله‌داری	تعداد زهکش	فاصله‌داری
A	۲۵۰	۲	۲۸	۱۸
B	۱۷	۳۰	۵	۹۴



شکل ۱۳- رابطه فاصله‌داری زهکش‌ها نسبت به شدت تغذیه

زهکش

جدول ۴- مقایسه ضرایب اطمینان زمین لغزش در شرایط

استاتیکی

شرح	S.F متوسط	S.F کمینه	S.F بیشینه
بدون سیستم زهکشی	۰/۹۲	۰/۸۳	۱/۰۵
با سیستم زهکشی	۱/۰۷	۱/۰۰	۱/۲۳
درصد افزایش ضرایب اطمینان	٪۱۶/۳	٪۲۰/۵	٪۱۷/۱

۶- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در پژوهش حاضر را می توان به صورت زیر بیان نمود:

- ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش قلعه چای در وضعیت استاتیکی برابر ۰/۹۲۰ است. لذا این زمین لغزش در وضعیت استاتیکی ناپایدار بوده که با نتایج حاصل از ابزار دقیق همخوانی دارد.

- نتایج بررسی ها حاکی از وجود دو روند مختلف در تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن هستند، در روزهای اولیه آنگیری ضریب اطمینان با افزایش تراز آب مخزن، افزایش یافته و سپس افزایش تراز آب مخزن موجب کاهش ضریب اطمینان می شود.

- با نصب سیستم های زهکشی قائم، روند تغییرات ضرایب اطمینان نسبت به تغییرات تراز آب مخزن به یک روند منحصر به فرد تغییر یافته است. به گونه ای که تأثیرگذاری افزایش فشار آب حفراهی (در داخل توده در حال لغزش) کم رنگ تر شده و به دلیل وارد شدن نیروهای هیدرواستاتیک از طرف آب مخزن سد، افزایش تراز آب مخزن موجب افزایش پایداری زمین لغزش شده است.

- با ایجاد سیستم های زهکشی قائم و با فرض تحلیل استاتیکی، ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش از ۰/۹۲ به ۱/۰۷ افزایش یافته است.

- با ایجاد سیستم های زهکشی در این زمین لغزش، ملاحظه می شود که زمین لغزش از وضعیت ناپایدار کنونی به وضعیت پایدار خواهد رسید.

۷- قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند تا از حمایت های شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی از این پژوهش قدردانی نمایند.

با توجه به این که در شکل (۱۳) محور مربوط به فاصله داری زهکش ها لگاریتمی است، ملاحظه می شود که تغییرات جزئی در میزان شدت تغذیه موجب ایجاد اختلاف فاحش در فاصله داری زهکش ها می شود. بنابر این می توان نتیجه گرفت که فاصله داری زهکش ها به شدت به میزان شدت تغذیه زهکش ها وابسته است. همان طور که قبلاً نیز بیان شد شدت تغذیه خود وابسته به پارامتر شیب هیدرولیکی می باشد، لذا در صورتی که شیب هیدرولیکی به صورت دقیق محاسبه نشده باشد شاهد اختلاف شدیدی در میزان فاصله داری زهکش ها خواهیم بود. با مراجعه به شکل (۱۳) و با علم به این که در معادله هوگهات شیب هیدرولیکی و به تبع آن شدت تغذیه زهکش درست تعیین نمی شود، نتایج به دست آمده از این معادله اختلاف فاحشی با نتایج حاصل از معادله توازن انرژی خواهد داشت.

در صورت ایجاد سیستم های زهکشی میزان ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش، از ۰/۹۲ به ۱/۰۷ افزایش یافته است. در جدول (۴) ضرایب اطمینان متوسط، کمینه و بیشینه در دو حالت با و بدون سیستم زهکشی نشان داده شده است. ملاحظه می شود که با ایجاد سیستم های زهکشی ضریب اطمینان کمینه زمین لغزش به عددی بزرگ تر از ۱ رسیده است. ولی با مراجعه به مطالعات صورت گرفته در هنگ کنگ ملاحظه می شود که حداقل مقدار ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش با فرض منطقه با خطر تلفات انسانی کم برابر ۱/۱ خواهد بود [۶]. با در نظر گرفتن مطالعات صورت گرفته در هنگ کنگ برای ضریب اطمینان متوسط زمین لغزش، ملاحظه می شود که با ایجاد سیستم زهکشی زمین لغزش قلعه چای به محدوده پایدار نرسیده است. ولی با مراجعه به مطالعات صورت گرفته در زمین لغزش Chaali-Ilam واقع در کشور نپال به دلیل بزرگ بودن مساحت ناحیه لغزش و همچنین حجم توده در حال لغزش، رسیدن به ضریب اطمینان بالا کاری دشوار بوده و طراح ضریب اطمینان مناسب را برای این زمین لغزش در محدوده ۱/۰۵ تا ۱/۰۸ در نظر گرفته است [۱۱]. با توجه به آن که سطح گسیختگی زمین لغزش قلعه چای تقریباً در ۴۵ متری سطح زمین قرار داشته و حجم توده در حال لغزش نیز ۲ تا ۵ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است. بنابر این با در نظر گرفتن محدوده ضریب اطمینان زمین لغزش Chaali-Ilam، زمین لغزش قلعه چای بعد از اجرای چاه های زهکشی در وضعیت پایدار خواهد بود.

۸- مراجع

- [13] Coles, E. D., "Some Notes on Drainage Design Procedure", Proceeding of the South African Sugar Technologists Association, 1968, pp. 189-199.
- [14] Oosterbaan, R. J., Boonstra, J., Rao, K.V.G.K. R., "The Energy Balance of Ground Water Flow", Subsurface-water hydrology, 1996, 2, pp. 153-160.
- [15] Ritzema, H. P., "Drainage Principles And Applications", International institute for land reclamation and improvement, Netherland, 1994.
- [16] Hansen, V. E., Israelsen, O. W., Stringham, G.E., "Irrigation principles and practices", 1980, Wiley.
- [17] Oosterbaan, R. J., "The Energy Balance of Groundwater Flow Applied to Subsurface Drainage in Anisotropic Soils by Pipes or Ditches with Entrance Resistance", www.waterlog.info/articles.htm, 2002.
- [18] Smedema, L. K., Woltman, W. F., Rycroft, D., "Modern Land Drainage", CRC Press, 2004.
- [۱۹] دولت، ا.، "مدل سازی عددی تأثیر آب بر ناپایداری زمین لغزش جناح غربی سد قلعه چای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ۱۳۹۲.
- [20] Departement of Roads, Nepal "Guide to Road Slope Protection Works", Ministry of physical planning and works, 2003.
- [۲۱] طاهری، و. "بررسی عددی روش های علاج بخشی ناپایداری شیروانی جناح راست سد قلعه چای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ۱۳۹۳.
- [۲۲] دولت، ا.، امامی تبریزی، م.، بابایی، غ.، قاسم زاده، م.، "تعیین پارامترهای مقاومتی زمین لغزش جناح راست سد قلعه چای توسط آنالیز برگشتی"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲.
- [۲۳] دولت، ا.، امامی تبریزی، م.، "بررسی عددی تأثیر سطح آب مخزن بر زمین لغزش جناح راست سد قلعه چای"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲.
- [24] Lewis, M. A., Cheney, C. S., ODOchartaigh, B. E., "Guide to Permeability Indices", British Geological Survey, 2006.
- [25] Geo-Slope International Ltd., "Seepage Modeling with SEEP/W", 2012, Canada.
- [26] Geo-Slope International Ltd., "Stability Modeling with SLOPE/W", 2012, Canada.
- [1] Christanto, N., "Hydrological- Slope Stability Modeling for Landslide Hazard Assessment by Means of GIS and Remote Sensing Data", PhD Thesis, Gadjah Madauniversity, Indonesia, 2008.
- [2] Hui, L., "Reactivation of An Old Landslide in Response to Reservoir Impoundment and Fluctuations", PhD Thesis, University of Hong Kong, 2006.
- [3] Duncan, J. M., Wright, S. G., "Soil Strength and Slope Stability", Wiley, 2005.
- [4] Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., Boyce, G.M., "Slope Stability and Stabilization Methods", Wiley, 2002.
- [۵] طاهری، و.، امامی تبریزی، م.، بابایی، غ.، "بررسی تأثیر ضریب نفوذپذیری سنگ بستر و استفاده از زهکش های قائم بر ضریب پایداری زمین لغزش های باز فعال شده"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، تهران، ۱۳۹۲.
- [6] Cheng, Y. M., Lau, C. K., "Slope Stability Analysis and Stabilization", CRC Press, 2008.
- [7] Pathmanathan, M. L., "Numerical Simulation of The Performance of Horizontal Drains for Subsurface Slope Stabilization", Master Thesis., Washington state university, 2009.
- [8] Schuster, R. L., Recent Advances in Slope Stabilization, International Landslides symposium, Rotterdam, 1995, 3, pp. 1715-1745.
- [9] M.Santi, P., B. A.Crenshaw, and C.D. Elifrits, "Demonstration Projects of Using Wick Drains to Stabilize Landslides", Environmental and Engineering Geoscience, 2003, 9(4),339-350.
- [10] Tiwari, B., Duarte, S., "Performance of Solpe Stabilization Works with Drainage and Buttres", Geo-Congress, San Diego, 2013, pp. 34-43.
- [11] Torreadella, J., Lopez, C., Altimir, J., Amigo, J., Lopez, L., "Cutting D15, Stabilization of a Large Landslide in Marrakesh - Landslide Science and Practice", Springer, 2013, pp. 183-191.
- [12] Tsao, T. M., Wang, M. K., Chen, M. C., Takeuchi, Y., Matsuura, S., Ochiai, H., "A Case Study of The Pore Water Pressure Fluctuation on The slip Surface Using Horizontal Borehole Works on Drainage Well", Engineering Geology, 2005, 78(1-2), pp. 105-118.

EXTENDED ABSTRACT

The Impact of Water Level Changes in Dam Reservoir and the Use of Vertical Drainage Systems on the Sliding Potential of Landslides

Mehrdad Emami Tabrizi*, Vahid Taheri

Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Iran

Received: 14 February 2016; Accepted: 08 October 2016

Keywords:

landslide, dam reservoir, vertical drainage, stability, Gale-Chai

1. Introduction

Landslides are often occurred in mountainous areas with unstable slopes. Heavy rainfall, high groundwater level and the occurrence of earthquake can be the results of this phenomena [1].

Drainage system is one of the conventional methods that can stabilize unstable slopes by lowering groundwater level and reducing pore water pressure in the slope [2]. The main task of drainage system is reducing the hydrostatic forces and the forces which are the causes of water seepage [3]. Vertical drainage system used, when the soil layers are horizontal, the slope of the landslide is light and the landslide was in large scale [4].

Now-a-days, the combination of the energy balance and Darcy equations used for assessing the distance of vertical drains from each other. Energy balance equation for groundwater flow, was first proposed by Oosterbaan and his colleagues in 1996 [5].

2. Methodology

If drainage conditions are considered as stable, it is assumed that the feed rate of the drainage of the aquifer and the water table remains constant. So, Houghoudt and energy balance equations, are the methods that are used for assessing the distance of two vertical drains [5-7].

The distance of two vertical drains can be estimated by Houghoudt equation (1).

$$S^2 = \frac{4k(H^2 - h^2 + 2dH - 2dh)}{v} \quad (1)$$

S: The distance of the two vertical drains (meters)

k: coefficient of permeability (meters per day)

H: groundwater level between two drains from bottom of the drains (meters)

v: water flow rate (meters per second)

d: the distance from bottom of the drains to impermeable layer (meters per second)

h: ground water level from bottom of the drain (meters)

Now-a-days, drainage spacing can be calculated by combining of Darcy law with energy balance equations. By assuming "c" as a diameter of the drains, the drainage spacing can be computed by equation blow (2).

$$h = \int_c^x \left[\frac{R(\frac{S}{2} - x)}{K_x h} \right] dx - \int_c^x \left[\frac{F_n - F}{\frac{S}{2} - x} \right] dx \quad (2)$$

The parameters which is used in equation 2 are illustrated in fig.1.

* Corresponding Author

E-mail addresses: m.emamitabrizi@gmail.com (M.Emami Tabrizi), Taheri.civil.eng@hotmail.com (V.Taheri).

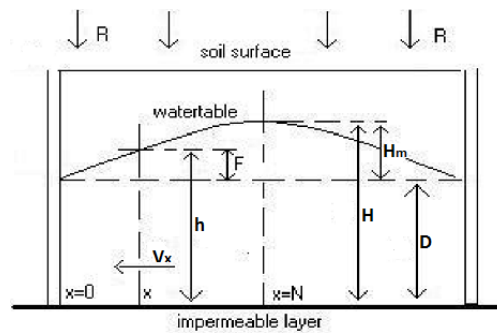


Figure 1 parameters of eq.2

In this research the data of Gale-Chai dam are used for studying the impact of vertical drain on stabilizing the reactivated landslides.

3. Results and discussion

According to fig.2, it can be obtained that the landslide was in unstable condition and its mean safety factor is 0.92. This graph represented that the safety factor of this landslide followed two patterns:

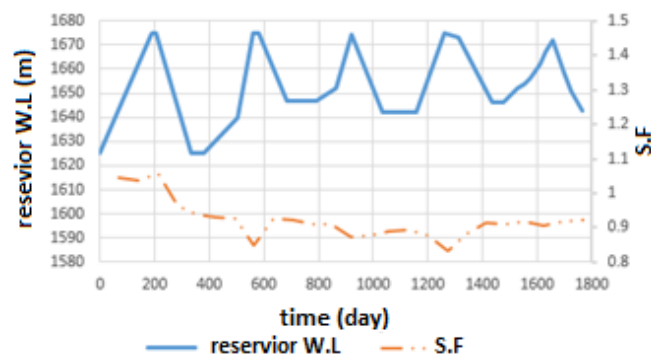


Figure 2 Changes of Static safety factor to the reservoir water level

The safety factor of landslide increased by increasing of reservoir water level at the first 200 days, after 200 days, the increase in reservoir water level causes the reduction of safety factor.

These two patterns mean that until above mentioned period of time, there is no connection between the ground water in landslide and the reservoir water. So, this event causes the water of reservoir act like a hydrostatic force in front of the landslide body and prevent landslide from moving. But after 200 days, the connection between these two water levels causes the pore water pressure in landslide to be increased. So, by increasing the reservoir water level the pore pressure in the landslide body will increase and this event will be the result of safety factor reduction against the sliding.

As mentioned at the last part, we modeled drainage system in this landslide to study the effects of drainage system in stabilizing of it.

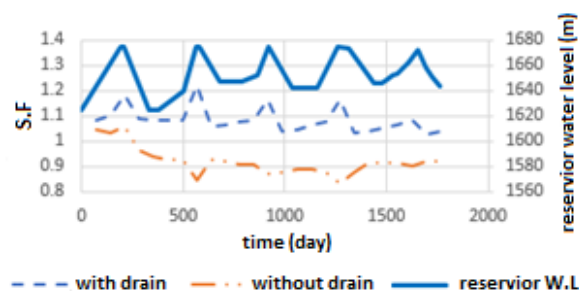


Figure 3 Changes of safety factor to the reservoir water level

Figure 3 represented that using drainage system, causes that the safety factor of landslide always increased by increasing of the reservoir water level. As you know, the drainage system collect the extra water that comes from the dam reservoir. So, this phenomena made the pore water pressure to be constant. Therefore the reservoir water, which is at the front of the landslide body, acts like hydrostatic force and prevent the landslide from moving.

Figure 4 represented the results of the equations which were explained in part 2. It was illustrated that, there were big differences between the results of these two equations.

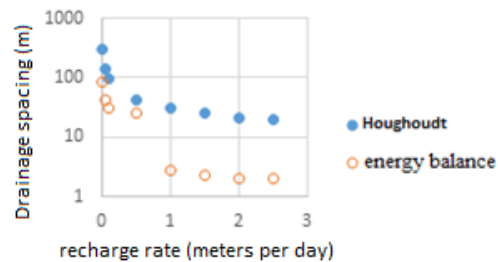


Figure 4 The relation between drainage spacing to recharge rate

Figure 4 represented that the drainage spacing which is calculated from Houghoudt equation is bigger than the one which is calculated from energy balance equation, and the difference of these two become stronger when the feed rate rises. The reason of these differences is the assumption of Houghoudt equation which was assumed in this equation. This assumption stated that the hydraulic gradient in one point is the same as the hydraulic gradient in the points which are above that point. This assumption causes that the hydraulic gradient which is related to feed rate is not computed exactly.

4. Conclusions

The results of this study can be concluded as follow:

- Static safety factor which was obtained from analysis was 0.92. This result has a good conformity with the results of instrumentation.
- The results of analysis indicated that there were been two different patterns for changing landslide safety factor due to reservoir water level fluctuation. First of all by increasing of reservoir water table, the safety factor increased but after a special period of time this manner changed.
- The installation of vertical drainage system, causes the safety factor tends to change to a unique manner.
- By installing the vertical drains, mean static safety factor increased from 0.92 to 1.07.
- By installing a drainage system, increasing of pore water pressure becomes insensible. In this case, increasing of reservoir water level causing the hydrostatic forces to be increased against the sliding of landslide body.
- As mentioned in Hooghoudt assumption, the hydraulic gradient in one point is the same as the hydraulic gradient in the points which are above that point. This assumption causing that the hydraulic gradient which is related to feed rate is not computed exactly. On the other hand, feeding rate of landslide body dose not the exact value. So, we can not find the spacing of drains exactly.
- The reason of this difference in Hooghoudt and energy balance equations, is the way of assuming the hydraulic feeding rate. The hydraulic feeding rate doesn't calculated exactly by Hooghoudt equation.
- It is concluded that by installing vertical drains, the reactivated land slide will be stabilized.

5. References

1. Christanto, N., Hydrological- Slope stability modeling for landslide hazard assessment by means of GIS and Remote Sensing Data, in Geography. 2008, Gadjah Mada: Indonesia.
2. Duncan, J.M. and S. G.Wright, Soil strength and slope stability. 2005, New Jersey: Wiley.
3. W.Abramson, L., et al., Slope stability and stabilization methods. 2002: A Wiley-Interscience Publication.