نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

تأثیر محل قرارگیری زه‌کش افقی کانال‌های آبیاری بر پایداری شیروانی در کانال دشت نکا

*محمد حمیدی‌قره‌تپه[۱]، سیدحسن گلمایی[۲] و میرخالق ضیاء تبار‌احمدی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/٤/۹

چکیده

از جمله حساس‌ترین و مهم‌ترین مسایل در پروژه‌های عمده عمرانی هم‌چون انتخاب محل احداث سدهای بتنی و خاکی، کانال‌های انتقال آب، انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی و... مطالعه فشار آب منفذی داخل خاکریزها و تامین پایداری آن‌ها است. یکی از دلایل ناپایداری شیب‌ها و وقوع گسیختگی‌ها در شیروانی‌ها فشار آب منفذی است و این مسأله به‌خصوص در مناطق مرطوب و در ساختگاه‌هایی که جنس خاک آن‌ها رسی اشباع است، چشم‌گیرتر است. تغییرات سطح آب داخل کانال باعث نوسان فشار آب حفره‌ای در خاکریز می‌شود که تغییرات مقادیر ضریب اطمینان شیروانی در طول سال را به دنبال دارد. در این مقاله و در قالب یک مطالعه موردی، نقش زه‌کش افقی در پایداری شیب شیروانی ساختگاه مورد مطالعه با مدل عددی Plaxis V8.2، در سه حالت افت سریع، افت آرام و حداکثر سطح آب داخل کانال مورد بررسی قرار گرفته که ضریب اطمینان‌ها به‌ترتیب برابر ۱/٦، ۱/۷۳ و ۲/۸ به‌دست آمده است. با قرارگیری زه‌کش داخل خاکریز بیش‌ترین افزایش ضریب اطمینان زمانی بود که زه‌کش در کف کانال قرار داشت که برای افت سریع، آرام و حداکثر سطح آب برابر ۱/٦۲، ۲/۰۳ و ۲/۸ به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که نقش زه‌کش افقی در پایداری شیب شیروانی چشم‌گیر است و فشار آب منفذی در این خصوص عامل تأثیرگذاری محسوب می‌شود. با تغییر مکان زه‌کش افقی فشار آب منفذی توسط دو نرم‌افزار پلکسیس و پلکس- فلو محاسبه شد. کم‌ترین مقدار فشار آب منفذی به‌ترتیب برابر ٦۳/۵۸- و ٦۳/٦۰- به‌دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: فشار آب منفذی، ضریب اطمینان شیروانی، Plaxis، افت سطح آب

* مسئول مکاتبه: hamidi_m36@yahoo.com

مقدمه

یکی از مسایلی که در بهره‌برداری از کانال‌ها می‌تواند مشکلات اساسی بـه وجـود آورد، افتـادگی سطح آب است. بر حسب تعریف، نرخ کاهش عمق آب در هر نقطه از کانـال را افتـادگی سـطح آب گویند، که اگر به‌طور ناگهانی حتی با تغییرات ناچیز رخ دهد، می‌تواند به کانال آسیب‌های جـدی وارد کند. افزایش ناگهانی سطح آب به‌ندرت باعث بروز مشکل در کانال می‌شود، مگـر آن‌کـه عمـق آب از حد مجاز بالاتر رود یا این که از کانال سرریز کند. ولی افتادگی ناگهانی سطح آب حتی اگر در مقیاس پایین باشد می‌تواند به شیروانی کانال آسیب جدی وارد کند (برینک‌گرو، ۲۰۰۳).

در شرایط بالا بودن سطح آب زیرزمینی در اراضی مجاور هم زمان با افت سریع آب در کانال[1] در معرض خطر فشار بیرونی قرار می‌گیرد. خطر اعمال فشار هیدرولیکی به شیب کانال‌های ساخته شـده در خاکریز با مصالح خاکی ریزدانه که دارای خاصیت نگهداری زیاد آب و فشار منفذی بالا باشد نیـز در شـرایط افـت سـریع آب در کانـال حـادث مـی‌گـردد. تخریبـی کـه در اثـر اخـتلاف در نیـروی هیدرواستاتیک به وجود می‌آید به وزن و مقاومت مواد مصالح شیروانی و شکل کانال بستگی دارد. این اختلاف نیروی هیدرواستاتیکی در بدنه باعث خمش، ترک و لغزش در شـیروانی و پوشـش شـیروانی کانال می‌شود (USBR، ۱۹۷۳).

گاهی اوقات به دلایل مختلف از جمله بازشدگی ناگهانی دریچه‌ها، سطح آب در کانال به سـرعت افت می‌کند که در نتیجه آن به‌دلیل اشباع بودن بدنه کانال در تراز بالاتر، فشار آب حفره‌ای منفی ایجاد شده و افزایش تنش مؤثر در بدنه کانال باعث گسیختگی در شیروانی کانال می‌شود (USBR، ۱۹۷۳). برای مقابله با این پدیده به‌کارگیری سیستم زه‌کشی زیر پوشش کانال ضرورت پیدا می‌کند. همچنین در شرایطی که خاکریز بدنه کانال در معرض خطر غرقاب ناشی از سیلاب قرار می‌گیرد (حتـی اگـر آب زیرزمینی نسبت به کف کانال خیلی بالا نباشد) به‌کارگیری سیستم زه‌کشی ضروری است (راهاردجو و همکاران، ۲۰۰۳).

در کشور ما نیز برای ایمنی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری به‌کارگیری سیستم زه‌کشی زیرپوشش از چند دهه قبل سابقه دارد که قدیمی‌ترین نمونه آن کانال کوت امیـر مربـوط بـه سیـستم آب‌رسـانی از رودخانه کارون به بندر ماهشهر و کانال‌های آبیاری اصلی و درجه ۱ شـبکه آبیـاری سـفیدرود گـیلان است (سیاهی، ۲۰۰٤).

1- Rapid Drawdown

از سال ۱۹۵۰ به بعد مسایل پایداری شیروانی ناشی از فشار آب منفذی به‌صورت تئوری و آزمایشگاهی در بسیاری از کشورها مطالعه شده است. تاکنون مشاهده‌های نه چندان زیادی در زمینه زه‌کش‌های داخل خاکریز کانال انجام گرفته است. بیش‌ترین استفاده از زه‌کش‌های افقی در بدنه سدهای خاکی بوده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده توسط مطالعات مختلف (فوستر و همکاران، ۲۰۰۰) و همچنین (فل و همکاران، ۲۰۰۳) دلیل اصلی شکست خاکریز سدهای خاکی فرسایش داخلی و رگاب در داخل بدنه سد و به پیروی از آن ناپایداری شیب پایین‌دست است. یکی از مشهورترین شکست‌های سد در کل دنیا فرسایش درونی سد تیتان در ایالت متحده امریکا بوده است. (ماتسون و همکاران، ۲۰۰۸) تأکید کرده‌اند که ۳ عامل اساسی، به نام‌های مصالح اشباع، نفوذ تجمعی و فرسایش تصاعدی به‌سمت بالادست شیب خاکریز سد، احتمال شکست را افزایش می‌دهند. افت سریع سطح آب نه‌تنها روی کانال و کاهش عمر مفید کارکرد آن تأثیر چشم‌گیری دارد، بلکه این پدیده در بدنه سدهای خاکی منجر به شکست و خسارات جبران‌ناپذیری هم می‌شود. از موارد مشهور شکست سد به‌دلیل افت سریع سطح آب می‌توان به سد پیلارسیتوس در سانفرانسیسکو و سد والتر بولدین در آلباما اشاره کرد (بریلگن، ۲۰۰۷). به‌طورکلی ۲ گروه پژوهشگران در رابطه با پایداری سازه‌های خاکی در شرایط افت سریع سطح آب کار می‌کنند. لوو و کارافیات (۱۹۸۰)، باکر و همکاران (۱۹۹۳) و گروه مهندسی ارتش امریکا به‌عنوان گروه اول رفتار تنش برشی زه‌کشی نشده را در سازه‌های خاکی بررسی می‌کنند. در طرف دیگر، اسوانو و نوردال (۱۹۸۷)، رایت و دانکن (۱۹۸۷)، لین و گریفیتس (۲۰۰۰) و بریلگن (۲۰۰۷) گروه دومی هستند که پارامترهای تنش برشی زه‌کشی شده را برای مطالعه تأثیر افت سریع در پایداری شیب شیروانی‌ها استفاده می‌کنند. رفتار زه‌کشی شده زمانی که فشار آب منفذی از ابتدای پدیده افت سطح آب شروع به کاهش می‌کند اتفاق می‌افتد و رفتار زه‌کشی نشده زمانی که سطح آب در زمان کوتاهی افت کند که در این پدیده تغییری در فشار آب منفذی بعد از افت سطح آب صورت نمی‌گیرد (دانکن و رایت، ۲۰۰۵)، نتیجه گرفتند که با توجه به رفتار خاک (زه‌کشی شده و یا زه‌کشی نشده)، زمان تحکیم (T) می‌تواند مشخص شود. طبق نتایج ایشان، بیش‌تر از ۹۹ درصد اضافه فشار منفذی برای $T \geq 3$ مستهلک می‌شود (بریلگن، ۲۰۰۷) اثر اساسی زه‌کش را بر پایداری بدنه سد خاکی بررسی کرد. طبق نتیجه به‌دست آمده توسط او، یکسان قرار دادن رفتار زه‌کشی شده

برای افت آرام سطح آب و رفتار زه‌کشی نشده برای افت خیلی سریع سطح آب، غیرعقلانی بوده و سرعت و نسبت زه‌کشی و نفوذپذیری خاک عامل مهمی برای تعیین رفتار زه‌کشی است. برای مثال، او در برخی از افت‌های سطح آب در بدنه خاکریز سد رفتار زه‌کشی‌نشده را برای خاک با نفوذپذیری بالا مشاهده کرد (حتی $T \geq ٦$).

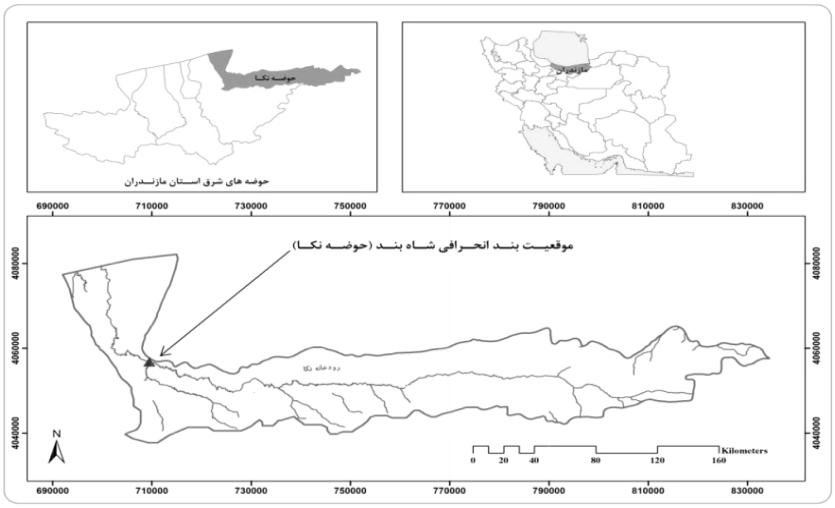
احمدی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از نرم‌افزار پلکسیس بهترین محل قرارگیری مفصل[1] را روی پوشش بتنی برای کاهش نیروهای کششی وارده به بتن و همچنین افزایش ضریب اطمینان پایداری شیروانی کانال‌های آبیاری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد چنان‌چه مفصل در یک‌سوم از عمق کانال قرار بگیرد بیش‌ترین ضریب اطمینان حاصل می‌شود.

هدف از این مطالعه بررسی اثرات کاربرد زه‌کش افقی در کانال‌های آبیاری در ضریب اطمینان پایداری شیروانی و همچنین تأثیر محل قرارگیری زه‌کش افقی در بدنه خاکریز کانال انتقال آب دشت نکا است. بنابراین، زه‌کش افقی در ارتفاع‌های مختلفی نسبت به کف کانال مدل‌سازی شد و تأثیر آن بر پایداری شیروانی خاکی کانال آبیاری دشت نکا در دو حالت جریان ماندگار و غیرماندگار مشاهده شد.

مواد و روش‌ها

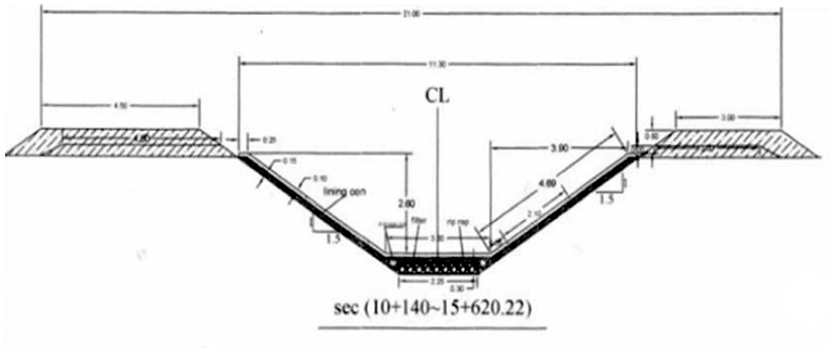
منطقه مورد مطالعه: طرح سد انحرافی شاه‌بند و شبکه آبیاری و زه‌کشی واحدهای عمرانی ۱ و ۳ دشت نکا بخشی از طرح مطالعاتی شبکه آبیاری و زه‌کشی دشت نکا است که در ساحل راست رودخانه نکا و در پایین‌دست سد در حال اجرای گلورد ساخته خواهد شد. شرکت مهندسی مشاور و خدمات مهندسی پی کارآزما همچنین احداث شبکه کانال‌های آبیاری به طول حدود ۲۵ کیلومتر به‌نام‌های BMC[2] و SHMC[3] و ابنیه‌های فنی مرتبط با آن‌ها را بر عهده گرفته است. راه دسترسی به محل پروژه از تهران و از طریق جاده فیروزکوه و عبور از شهرهای ساری، نکا به طول تقریباً ۲۸۰ کیلومتر است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Hinge
2- Behshahr Main Channel
3- Shahband Main Channel



شکل ۱- موقعیت بند انحرافی شاه‌بند (حوضه دشت نکا).

در شهرهای شمالی ایران به‌دلیل بارندگی و ریزدانه بودن خاک بیش‌تر مناطق، فشار آب منفذی از عمده مشکلات اجرای سازه‌های خاکی است. اثرات نامطلوب ناشی از بروز فشار خارجی به پوشش را نیز می‌توان با اجرای سیستم زه‌کشی در زیر پوشش به‌منظور خنثی‌سازی فشار هیدرواستاتیکی و جمع‌آوری و هدایت جریان زه‌کشی به داخل کانال و یا هدایت آن با لوله زه‌کش به نزدیک‌ترین خروجی (کالورت، زه‌کش یا مسیل طبیعی) برطرف نمود. شکل ۲ مقطع عرضی کانال انتقال آب دشت نکا را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقطع عرضی کانال انتقال آب دشت نکا.

نمونه‌برداری: به‌منظور مدل‌سازی مصالح مورد استفاده در خاکریز بدنه کانال در نرم‌افزار، آزمایش سه‌محوری با فشارهای همه‌جانبه متفاوت مدل شده است. با انطباق منحنی تنش- کرنش به‌دست آمده از آزمایش‌ها با منحنی به‌دست آمده از منحنی تنش- کرنش مدل‌سازی عددی خصوصیات مصالح واقعی به‌دست آمده است. همچنین تعیین وزن مخصوص خاک بدنه با استفاده از دانسیته درجا در محل عمل شده است. جدول ۱ خصوصیات مصالح خاکریز بدنه کانال را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات مصالح به‌کار رفته شده در بدنه کانال.

عمق مصالح	تا عمق ۳ متر	۳-۵/۵ متر
نوع مصالح	زهکشی نشده	زهکشی شده
مدل به‌کار برده شده	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb
γ_{unsat} (کیلونیوتن بر مترمربع)	۱۷	۲۲
γ_{sat} (کیلونیوتن بر مترمربع)	۱۹	۲۳
$K_x = K_y$ (متر بر ثانیه)	۰/۹۹۳	۱
ϑ	۰/۲	۰/۲
E_{ref} (کیلوپاسکال)	٦۰۰۰	٦۷۰۰
C_{ref} (کیلوپاسکال)	٦	۲
$\varphi(^\circ)$	۳۲/۵	۳۰/٦
$\psi(^\circ)$	۰	۰

نرم‌افزارهای مورد استفاده: نرم‌افزار المان محدود پیشرفته پلکسیس[1] برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. که با استفاده از آن می‌توان خاکبرداری و خاکریزی، افزایش و کاهش سطح آب و شرایط مرزی مختلف را با استفاده از المان‌های مثلثی ٦ گرهی و ۱۵ گرهی مدل‌سازی نمود (رایت و همکاران، ۱۹۸۷).

پلکس- فلو[2] یک برنامه المان محدود برای به‌کار بردن جریان آب‌های زیرزمینی است که در آن برای شبیه‌سازی جریان شرایط ماندگار و غیرماندگار (ترانزینت[3]) در حالت غیراشباع برای محیط‌های

1- Plaxis
2- Plax-flow
3- Transient

متخلخل مدل‌سازی می‌شود. این برنامه با قانون مشهور ونگنختاین[1] رابطه‌های بین فشار حفره‌ای، درجه اشباع و نفوذپذیری، مدل‌های پیچیده در جریان آب‌های زیرزمینی برای حالت اشباع و غیراشباع را به‌هم پیوسته می‌کند. مدل ونگنختاین یکی از مدل‌های شناخته شده برای شبیه‌سازی رفتار خاک‌های غیراشباع است (رایت و همکاران، ۱۹۸۷).

معادلات پایه: جریان در محیط‌های متخلخل را می‌توان با قانون دارسی توصیف کرد. با در نظر گرفتن جریان در صفحه X-Y عمودی رابطه‌های ۱ و ۲ به‌کار بسته می‌شوند:

$$q_x = -K_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \qquad (۱)$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \qquad (۲)$$

معادله بیان می‌کند که دبی ویژه (q)، از نفوذپذیری ویژه (K) و گرادیان هد آب زیرزمینی پیروی می‌کند. هد آب (ϕ)، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi = y - \frac{p}{\gamma_w} \qquad (۳)$$

$$\phi_p = -\frac{p}{\gamma_w} \qquad (٤)$$

در رابطه‌های ۳ و ٤، y: موقعیت عمودی، p: تنش در جریان حفره‌ای (برای تنش‌های فشاری منفی خواهد بود) و γ_w: وزن مخصوص آب است. علاوه‌بر هد فشار حفره‌ای ϕ_p (مثبت برای فشاری)، معادله پیوستگی برای مدل کردن مصالح در جریان غیرماندگار به‌صورت رابطه ۵ تعریف شده است.

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + C\frac{\partial \phi}{\partial t} = Q \qquad (۵)$$

رابطه ۵ بیان می‌کند که در واحد زمان هیچ جریان ورودی و خروجی به سطح المان وجود ندارد.

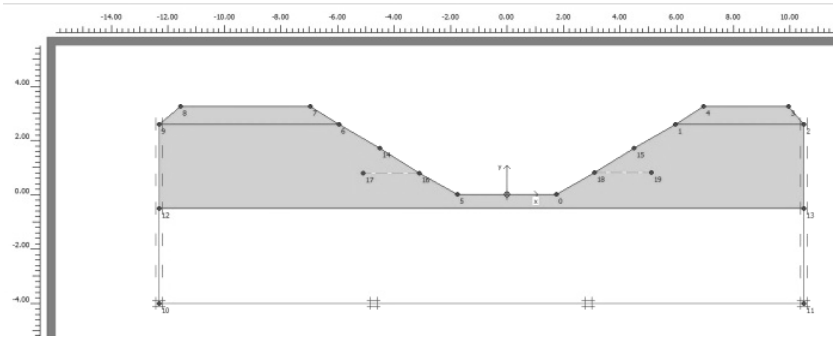
1- VAN Genuchten

قسمت شرایط غیرماندگار رابطه ۵، تغییرات در هد[1] را به‌وسیله ظرفیت مؤثر (c)، با تغییرات حجمی آب موجود در سطح المان مرتبط می‌سازد. در مقابل، در جریان‌های اشباع ظرفیت مؤثر و نفوذپذیری مؤثر به حجم آب و فشار مویینگی در نوع خاک بستگی دارد. یک مدل هندسی، نمایشی دوبعدی از نمونه سه‌بعدی واقعی است که شامل نقاط، خطوط و کلاسترها است که باید دربرگیرنده نمونه‌ای از خاک بستر متشکل از لایه‌های مجزای خاک، اجزای سازه‌ای و نوع بارگذاری باشد (برینک‌گرو، ۲۰۰۳).

برای انجام آنالیزهای لازم روی مدل مطالعاتی در این برنامه نیاز به مشخصات هندسی، ژئوتکنیکی و هیدرولیکی منطقه است که براساس نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته به‌دست می‌آید.

شکل ۳ هندسه مدل کانال انتقال آب را در دشت نکا نشان می‌دهد.

چنان‌چه هندسه کانال به‌صورت متقارن باشد می‌توان با مدل‌سازی نصف کانال نتایج را برای کل بدنه کانال تعمیم داد. ولی به‌دلیل این‌که کانال مورد مطالعه از نظر هندسی متقارن نیست هندسه کامل آن در مدل‌سازی در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- هندسه مدل کانال انتقال آب دشت نکا.

مشخصات هیدرولیکی مورد نیاز، سطح پیزومتریک آب زیرزمینی است که به‌وسیله اندازه‌گیری‌های پیزومتریک انجام شده در محل تعیین شد. اطلاعات به‌دست آمده از این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که در بیش‌تر مواقع به‌طور متوسط سطح آب در عمق ۳ متری از سطح زمین قرار دارد. البته در مواقع

1- Head

بارندگی شدید تراز آب بالاتر از این مقدار هم صعود می‌کند. همچنین در ماه‌های خشک سال (اواخر بهار و تابستان) در بیش‌تر مواقع سطح آب در عمق بیش از ٤ متری سطح زمین قرار دارد ولی برای در نظر گرفتن بحرانی‌ترین شرایط در نرم‌افزار عمق ۳ متری به‌عنوان عمق سطح ایستابی قرار گرفته است. نرم‌افزار پلکسیس برای محاسبه ضریب اطمینان از رابطه‌های زیر استفاده می‌کند.

$$\mathrm{SF} = \frac{\mathrm{S}_{\mathrm{maximum\ available}}}{\mathrm{S}_{\mathrm{need\ for\ equilibirium}}} \qquad (٦)$$

که در آن، S: مقاومت برشی را نشان می‌دهد. نسبت مقاومت واقعی به مقاومت مینیمم محاسبه شده مورد نیاز برای تعادل ضریب اطمینانی است که در مکانیک خاک به‌طور مناسب به‌کار می‌رود. با معرفی شرط کولمب استاندارد ضریب اطمینان به‌صورت رابطه ۷ به‌دست می‌آید:

$$SF = \frac{C + \sigma_n \tan\varphi}{C_r + \sigma_n \tan\varphi_r} \qquad (٧)$$

که در آن، C: چسبندگی، φ: زاویه اصطکاک داخلی مصالح، σ_n: تنش نرمال، C_r و φ_r حداقل پارامترهای مقاومتی است.

در روش Phi-c reduction، برای محاسبه SF از رابطه ۸ استفاده می‌شود.

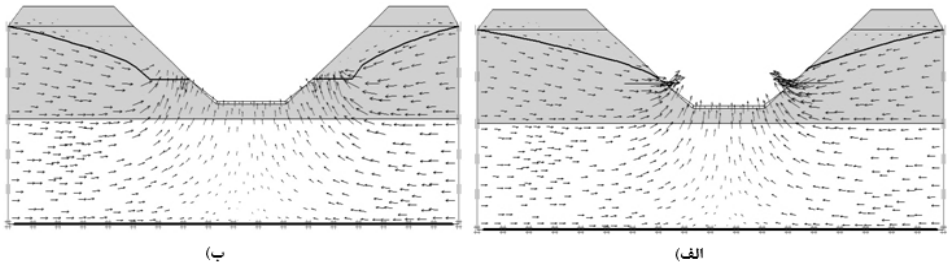
$$\sum MSF = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_r} = \frac{C}{C_r} \qquad (٨)$$

کاهش پارامترهای مقاومت به‌وسیله ضرایب کلی $\sum MSF$ کنترل می‌شود. این پارامتر در یک روند گام به گام تا مرحله گسیختگی افزایش داده می‌شود. بنابراین ضریب اطمینان یک مقدار $\sum MSF$ در گسیختگی فراهم می‌کند که در گسیختگی یک مقدار ثابت بیش‌تر یا کم‌تر برای تعدادی از گام‌های بارگذاری متوالی به‌دست می‌آید، تعریف می‌شود (برینک‌گرو، ۲۰۰۳).

نتایج و بحث

مطابق با آن‌چه در بخش‌های گذشته به آن اشاره شد و براساس سناریوهای آزمایشی، روی مدل عددی، مدل‌سازی در حالت بدون زه‌کش و در حالت خاکریز دارای دو زه‌کش به طول‌های دلخواه ۲

متر و در ارتفاع‌های ۰، ۰/۲، ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸ و ۱ متر نسبت به کف کانال با ارتفاع افت سطح آب یکسان برای تمامی شرایط انجام شد. شکل ٤ نحوه عبور جریان از داخل خاکریز کانال به هنگام افت سطح آب در دو حالت با وجود زه‌کش افقی و بدون زه‌کش افقی را نشان می‌دهد. زمان افت سطح آب در خود نرم‌افزار پلکسیس وارد نمی‌شود، بنابراین جریان در نرم‌افزار به‌صورت ماندگار است. برای بررسی تأثیر زمان در افت سطح آب از نرم‌افزار پلکس- فلو که مبنای محاسباتی این نرم‌افزار براساس جریان غیرماندگار (وابسته به زمان) است در این مطالعه استفاده شد. هندسه استفاده شده در پلکس- فلو و تنش‌های اولیه منطبق با نرم‌افزار پلکسیس بوده و تنها در مرحله افتادگی سطح آب و در عامل زمان تفاوت دارند. در جدول ۲ زمان‌بندی مربوط به افت سطح آب ارایه شده است.

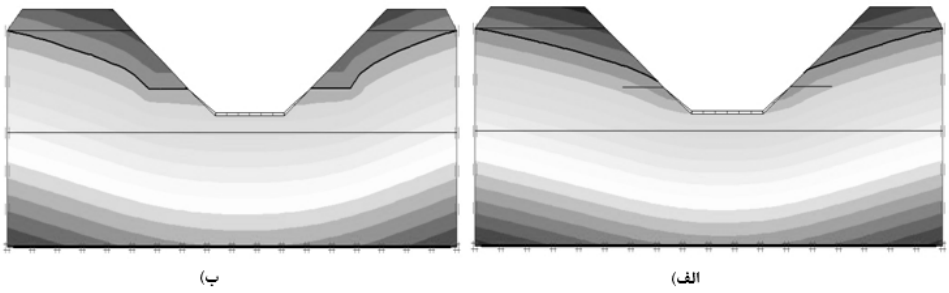


شکل ٤- نحوه عبور جریان از داخل بدنه خاکریز به هنگام افت سطح آب الف) بدون زه‌کش ب) با وجود زه‌کش

جدول ۱- میزان افت سطح آب در هر کدام از ۳ روز.

زمان	میزان افت سطح آب (متر)
روز اول	۰/۵
روز دوم	۰/۵
روز سوم	۰/۷

با توجه به شکل ٤ مشاهده می‌شود، زمانی که از زه‌کش افقی در داخل بدنه کانال استفاده می‌شود هنگام افت سطح آب (چه به‌صورت آرام و چه به‌صورت سریع)، آشفتگی جریان در قسمت خروجی آب داخل بدنه به مراتب کم‌تر از حالت بدون زه‌کش بوده و با جلوگیری از آب‌شستگی بدنه، عمر کانال بیش‌تر می‌شود.



شکل ۵- فشار آب منفذی داخل بدنه کانال الف) بدون زه‌کش ب) با وجود زه‌کش.

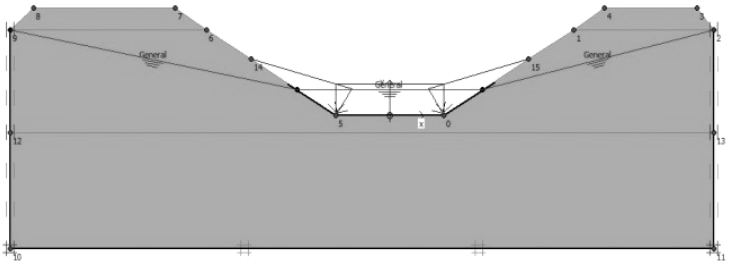
شکل ۵ نشان می‌دهد زه‌کش افقی کار گذاشته شده در داخل بدنه با خارج کردن آب داخل بدنه به هنگام کاهش یافتن سطح آب (چه به‌صورت سریع و چه به‌صورت آرام)، باعث کاهش فشار منفذی منفی شده و پایداری شیب شیروانی کانال را افزایش می‌دهد. میزان افزایش پایداری شیروانی به دبی و اندازه زه‌کش، نفوذپذیری خاک بدنه و سرعت افت سطح آب و به پیروی از آن مقدار آبی که در این زمان زه‌کش و یا خود بدنه می‌تواند از خود عبور دهد دارد.

جدول ۳- تغییرات ضریب اطمینان با کارگذاری و تغییر در محل جاگذاری زه‌کش افقی در داخل بدنه کانال.

	ضریب اطمینان حداکثر سطح آب	ضریب اطمینان افت آرام سطح آب	ضریب اطمینان افت سریع سطح آب
بدون زه‌کش افقی	۲/۸۰	۱/۷۳	۱/٦
زه‌کش در کف کانال	۲/۸۰	۲/۰۳	۱/٦۲
۰/۲ متر نسبت به کف	۲/۸۰	۱/۹۹	۱/٦۱
۰/٤ متر نسبت به کف	۲/۸۰	۱/۹٤	۱/٦۱
۰/٦ متر نسبت به کف	۲/۸۰	۱/۹۱	۱/٦٥
۰/۸ متر نسبت به کف	۲/۸۰	۱/۸٦	۱/٦٤
۱ متر نسبت به کف	۲/۸۰	۱/۸٤	۱/٦۷

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که وجود زه‌کش افقی در خاکریز بدنه کانال در افت سریع به‌دلیل سرعت وقوع پدیده تأثیر زیادی ندارد ولی در افت آرام هرچه زه‌کش به کف کانال نزدیک‌تر باشد با توجه به بار هیدرولیکی که روی زه‌کش سوار می‌شود دبی عبوری از آن بیش‌تر شده و با زه‌کشی بیش‌تر آب موجود در بدنه باعث پراکندگی بیش‌تر فشار آب منفذی موجود در داخل بدنه شده و شیروانی کانال پایدارتر می‌شود. در این حالت نیز ضریب اطمینان پایداری شیروانی کانال در حالت بیش‌ترین سطح آب (۲/۸۰) بیش‌تر از افت آرام سطح آب (۲/۰۳) و هر دو حالت بیش‌تر از افت سریع سطح آب (۱/٦) به‌دست آمده است که این پدیده نیز به‌دلیل فشار آب منفذی داخل خاکریز و مدت زمان‌های متفاوت برای مستهلک شدن این فشار است.

مقایسه فشار آب حفره‌ای داخل بدنه کانال در دو حالت جریان ماندگار (Plaxis) و جریان غیرماندگار (Plax-Flow): با توجه به شکل زیر و نحوه رسم سطح ایستابی در داخل بدنه با استفاده از نرم‌افزار پلکسیس، مشخص است که وقتی افت سطح آب رسم و مدل‌سازی می‌شود، سطح کم‌تری از بدنه به نسبت واقعی و یا به نسبت نرم‌افزار پلکس- فلو تحت‌تأثیر سطح ایستابی بوده و به پیروی از آن فشار آب حفره‌ای کم‌تری نسبت به آن خواهد داشت. شکل ٦ نحوه رسم سطح ایستابی برای مدل‌سازی افت سطح آب و جدول ٤ فشار آب حفره‌ای را در بدنه کانال بعد از افت آرام سطح آب و با توجه به موقعیت قرارگیری زه‌کش افقی نشان می‌دهد. به‌دلیل این‌که نرم‌افزار پلکس- فلو با توجه به استفاده از جریان غیرماندگار نتایجی نزدیک به واقعیت به‌دست می‌دهد و همچنین در بسته نرم‌افزاری نرم‌افزار پلکسیس این قابلیت گنجانده نشده است، بنابراین چنان‌چه برای محاسبه فشار آب منفذی از نرم‌افزار پلکسیس استفاده شود باید بر مقادیر به‌دست آمده افزود تا نتایج نزدیک به واقعیت به‌دست آید.



شکل ٦- رسم سطح ایستابی برای مدل‌سازی افت سطح آب در نرم‌افزار Plaxis.

جدول ٤- تغییرات فشار آب منفذی با توجه به تغییرات محل قرارگیری زه‌کش و اختلاف مقادیر دو نرم‌افزار Plaxis و Plaxflow.

فشار آب منفذی در Plaxis (کیلونیوتن بر مترمربع)	فشار آب منفذی در Plax flow (کیلونیوتن بر مترمربع)	فاصله زه‌کش نسبت به کف کانال (متر)
-٦٣/٥٨	-٦٣/٦٠	٠
-٦٣/٦١	-٦٣/٦٢	٠/٢
-٦٣/٦٠	-٦٣/٦٣	٠/٤
-٦٣/٦٣	-٦٣/٦٥	٠/٦
-٦٣/٦٥	-٦٣/٦٦	٠/٨
-٦٤/٢٧	-٦٦	١

با توجه به جدول‌های ٣ و ٤، مشاهده می‌شود که بهترین عمل‌کرد زه‌کش زمانی است که در کف کانال قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

افت سریع یکی از شرایط بارگذاری است که می‌تواند به کانال‌های آبیاری و شیروانی‌های آن‌ها آسیب وارد کند. بنابراین باید سرعت افت سطح آب کنترل شود. در این مطالعه مقطعی از کانال انتقال آب دشت نکا توسط نرم‌افزار پلکسیس مورد بررسی قرار گرفته است. ضریب اطمینان پایداری شیروانی کانال نام‌برده برای افت سریع، افت آرام و حداکثر سطح آب به‌ترتیب برابر ١/٦، ١/٧٣ و ٢/٨ به‌دست آمده که این مقادیر بعد از کارگذاری زه‌کش افقی افزایش پیدا کردند که بیش‌ترین افزایش زمانی بود که زه‌کش در کف کانال قرار گرفت که مقادیر ضریب اطمینان در افت سریع و افت آرام به‌ترتیب به ١/٦٢ و ٢/٠٣ افزایش پیدا کردند و در حداکثر سطح آب تغییری صورت نگرفت. در این حالت فشار آب منفذی نیز کم‌ترین مقدار خود را داشت که با استفاده از دو نرم‌افزار پلکسیس و پلکس- فلو فشار آب منفذی به‌ترتیب برابر ٦٣/٥٨- و ٦٣/٦٠- کیلونیوتن بر مترمربع به‌دست آمد. به‌دلیل این‌که طول ٢ متر برای زه‌کش‌های افقی به‌طور دلخواه استفاده شده است، می‌توان از طول‌های دیگری نیز استفاده کرد و بهترین طول را برای افزایش میزان دبی خروجی آب داخل بدنه خاکریز و در نتیجه افزایش ضریب اطمینان پایداری شیروانی کانال نکا به‌دست آورد.

منابع

1.Ahmadi, H., Rahimi, H., and Abdollahi, J. 2009. Optimizing The Location of Contraction-Expansion Joints in Concrete Canal Lining. Irrigation and Drainage. 58: 116-125.

2.Baker, R., Rydman, S., and Talesnick, M. 1993. Slope Stability Analysis for Undrained Loading Conditions. Int1. Jr. Num. and Anal. Methods Geomech. 17: 14-43.

3.Brinkgreve, R.B.J. 2003. PLAXIS 2D-V8.2. Reference Manual, Delft University of Technology. The Netherlands.

4.Berilgen, M.M. 2007. Investigation of stability of slopes under Drawdown conditions. J. Com. Geotech. 34: 81-91.

5.Duncan, J.M., and Wright, S.G. 2005. Soil Strenght and Slope Stability. Hobken (NJ): John Wiley & Sons.

6.Fell, R., Wan, C.F., Cyganiewicz, J., and Foster, M. 2003. Time for Development of Internal Erosion and Piping in Embankment Dams. Jr. Geotech. Geoenviron. Eng. 129: 307-314.

7.Foster, M., Fell, R., and Spannagle, M. 2000. The Statistics of Embankment Dam Failures and Accidents. Can. Geotech. Jr., 37: 1000-1024.

8.Lane, P.A., and Griffiths, D.V. 2000. Assessment of Stability of Slopes under Drawdown Condition. Jr. Geotech. Geoenv. Eng. 126: 443-450.

9.Lowe, J., and Karafiath, L. 1980. Effect of Anisotropic Consolidation on Undrained Shear Strength of Compacted Clays. Proc. Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder. Pp: 237-258.

10.Mattsson, H., Hellstrom, J.G.I., and Lundstrom, T.S. 2008. On Internal Erosion in Embankment Dams: A Literature Survey of the Phenomenon and the Prospect to Model It Numerically. Research Report, Lulea University of Technology.

11.Rahardjo, H., Hritzuk, K.J., Leong, E.C., and Rezaur, R.B. 2003. Effectiveness of horizontal drains for slope stability. Engineering Geology. 69: 295-308.

12.Siyahi, M.K. 2004. Drainage System for Irrigation Channel Lining, Introduction and Limits. Drainage System for channel Lining Workshop, Tehran, Iran.

13.Svano, G., and Nordal, S. 1987. Undrained Effective Stability Analysis. Proc. of Ninth European Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Dublin.

14.USBR. 1973. Design of Small Dams. Oxford and IBH Publishing Co. PVT. LTD. New Delhi, Calcutta. 816p.

15.Wright, S.G., and Duncan, J.M. 1987. An Examination of Slope Stability Computation Procedures for Sudden Drawdown. Report GL-87-25, US Army Crops Engineering, Waterway Experiment Station Vicksburg (MS).

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Effect of placement of horizontal drain in irrigation channel on the slope stability in Neka plain channel

***M. Hamidi Qaretapeh[1], S.H. Golmaei[2] and M.Kh. Zia Tabar Ahmadi[3]**

[1]M.Sc. Student, Dept. of Water Structure, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Professor, Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 12/11/2012; Accepted: 06/30/2013

Abstract

One of the sensitive and important problems during construction projects, such as choosing the spot in concrete or earth dams, open channel, choosing the highway, main road or sub road and etc, is studying the pore water pressure through the embankment and supplying their stability. One of the instability and failure reasons of slope is pore water pressure. This phenomenon is common, especially in moist regions and in sites with saturated clay soils. Water pheratic level changes cause changing in pore water pressure in embankment which cause decrease in safety factor. In this paper and for a case study, effectiveness of horizontal drain in safety factor is done with PLAXIS-V8.2 in three conditions (maximum level, rapid drawdown and slow drawdown) is evaluated which safety factors obtained 1.6, 1.73 and 2.8 respectively. With location of horizontal drain, maximum increase for safety factor occurred when drain was located in the bed and it was 1.62, 2.03 and 2.8 for rapid drawdown, slow drawdown and maximum water level, respectively. The results indicate that horizontal drains role in slope stability is impressive and pore water pressure is a main factor in this regard. With change in location of the horizontal drain, pore water pressure was calculated by two PLAXIS and PLAXFLOW software's. Minimum pore water pressure equals to -63.58 and -63.60 respectively.

Keywords: Pore pressure, Safety factor, Plaxis software, Drawdown

* Corresponding Author; Email: hamidi_m36@yahoo.com