



کاهش نشت از سد خاکی با استفاده از پتوی رسی توسط شبیه‌سازی عددی

حسین آذری قلعه‌کندی^۱، ابراهیم اسدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید

مدنی آذربایجان.

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

فقط آدرس پست الکترونیک نویسنده رابط (hosein.azare@yahoo.com)

چکیده

سدها و سازه‌هایی که بر روی پی‌های آبرفتی احداث شده‌اند، در معرض نشت قرار دارند. براساس مطالعاتی که انجام شده است، حدود ۳۰ درصد عامل خرابی‌هایی که در سدهای خاکی رخ می‌دهد، به علت وقوع نشت از بدنه و پی آنها می‌باشد. به‌همین دلیل کنترل و جلوگیری از نشت امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های کنترل نشت از زیر سدهای خاکی که بر روی پی‌های آبرفتی با نفوذپذیری زیاد احداث شده‌اند، استفاده از یک لایه پوشش با نفوذپذیری خیلی کم در سطح بستر رودخانه و کف مخزن و اتصال آن به هسته میانی سد است که در واقع نقش این پوشش و این گونه روش‌ها، طولانی کردن مسیر جریان و در نتیجه افزایش افت پتانسیل و کاهش انرژی آب است که در نهایت موجب کاهش مقدار آب نفوذی و تلفات حاصل از آن است. این نوع پوشش بلانکت رسی نامیده می‌شود. لذا در این تحقیق به بررسی بلانکت رسی در جهت کاهش نشت از سد خاکی بوکان با استفاده از شبیه‌سازی عددی توسط نرم افزار Geo-Studio (منظور نرم افزار seep/w) پرداخته شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که با افزایش طول پتوی رسی، کاهش دبی نشتی از سد بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش ضخامت پتوی رسی، باعث کاهش بیشتر دبی نشتی از سد می‌شود. به عبارت دیگر، طول پتوی رسی و ضخامت آن با میزان کاهش تراوش نسبت مستقیم دارد. به طوری که هر چه طول و ضخامت پتوی رسی بیشتر باشد، طول مسیر تراوش نیز افزایش یافته و در نتیجه دبی عبوری کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سد خاکی، پتوی رسی، نشت، نرم افزار seep/w

۱- مقدمه

یکی از روش‌های کاهش نشت از زیر سدهای خاکی استفاده از یک لایه پوششی با نفوذپذیری خیلی کم در سطح کف مخزن می‌باشد. ضخامت و طول رویه نفوذناپذیر، به ارتفاع آب در پشت سد بستگی دارد. عملکرد این پتو به این صورت است که طول تراوش در داخل پی را زیاد می‌کند و در نتیجه فشار آب در زیر سد و در پایین دست آن کم می‌شود که به آن بلانکت یا پتوی رسی گفته می‌شود. از محاسن اجرای بلانکت یا پتوی رسی، این است که در طول زمان و انباشته شدن رسوبات روی پتو، ضخامت آن افزایش و در نتیجه، کارایی آن بیشتر می‌شود. پایه و اساس این روش‌ها (اجرای بلانکت یا پتوی رسی) بر افزایش طول مسیر خطوط جریان و در نتیجه کاهش گرادیان هیدرولیکی و دبی جریان نفوذی می‌باشد. به عبارت دیگر، با طولانی‌تر



پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

شدن مسیر جریان ابعاد اجزاء شبکه جریان افزایش می‌یابد که این امر از یک طرف گرادیان هیدرولیکی بین گره‌های شبکه را کاهش داده و از طرف دیگر تعداد کانال‌های جریان را در شبکه کم می‌نماید (نوری و سلماسی، ۱۳۹۶). در سال‌های اخیر، روش‌های تحقیقی گوناگونی جهت بررسی مشکل نشت در سدها و خاک‌ریزها استفاده شده است. به طوری که در زیر تحقیقاتی در رابطه با تحلیل تراوش در بلانکت‌ها، آورده شده است. قبادیان و خدایی (۱۳۸۸)، تأثیر دیواره آب‌بند و زهکش بر نیروی زیر فشار و گرادیان خروجی زیرسازه‌های آبی را با حل معادله عمومی جریان آب در خاک به روش احجام محدود بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با احداث یک دیواره آب‌بند در هر وضعیت مکانی، مقدار گرادیان خروجی نسبت به گرادیان خروجی مبنا (بدون دیوار آب‌بند) کاهش می‌یابد. ملک پور و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی در یک مدل سد خاکی همگن تأثیر طول و ضخامت زهکش افقی بر پایداری شیب بالادست را در شرایط تخلیه سریع مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که به ازای نسبت افت سطح آب کمتر از $0/3$ ، زهکش با نسبت طول $0/43$ (طول زهکش به عمق آب مخزن) به ازای تمامی ضخامت‌ها پایداری را ایجاد کرد. برای نسبت‌های بزرگتر افت سطح آب نیز، نسبت طول زهکش $0/71$ با ضخامت متوسط، پایداری مناسبی در مقابل لغزش را تأمین نمود.

احمدی و همکاران (۱۳۹۳)، به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تابع هدایت هیدرولیکی بر مدل سازی نشت از بدنه سدهای خاکی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد با به کارگیری تابع هدایت هیدرولیکی غیر اشباع در مقایسه با حالت به کارگیری هدایت هیدرولیکی اشباع نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارد. ناصحی اسکویی و سلماسی در سال (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر سوراخ آب بر توزیع زیر فشار و گرادیان هیدرولیکی در زیر سدهای بتنی با پی نفوذپذیر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از سوراخ آب در کف بند حوضچه آرامش سد می‌تواند از عمق دیواره‌های آب بند مورد نیاز بکاهد که این امر موجب صرفه جویی اقتصادی زیادی برای طرح می‌شود. هر چه سوراخ آب از پنجه سد فاصله پیدا کند و به پایین دست سازه منتقل شود، از تأثیر مثبت آن کاسته می‌شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پرده آب‌بند بر کنترل نشت و پدیده جوشش در پی سازه‌های هیدرولیکی پرداختند. این نتایج نشان می‌دهد که در نسبت عمق پرده آب‌بند $d/D=0/46$ با نسبت بیشترین تراز آب بالادست $h/h_m=1$ پدیده جوشش رخ نمی‌دهد. نوری و سلماسی (۱۳۹۶) به بررسی عددی تأثیر بلانکت رسی در کاهش نشت از پی سدهای خاکی پرداختند. براساس نتایج تحلیل‌ها، طول مؤثر بلانکت رسی چهار برابر ارتفاع آب پشت سد، پیشنهاد شده است. ایجم (۲۰۱۱)، به بررسی دیواره آب‌بند زاویه دار در کف سد انحرافی پرداخت و راه حل تحلیلی برای کاهش جریان نشت در زیر ساختگاه سد با دیواره آب بند زاویه دار ارائه داد. نتایج تحقیق نشانگر این است که هر چقدر زاویه دیواره آب بند متمایل به پایین دست باشد، باعث کاهش نیروی زیر فشار و گرادیان هیدرولیکی می‌گردد. ام کلوقلین و احمد (۲۰۱۲) مقاله‌ای را تحت عنوان، ویژگی‌های نشت در زیر پی سازه‌های آبی در خاک-های چند لایه (با وجود دیواره آب‌بند) انجام دادند. نتایج بیانگر این است که با نصب زهکش متوسط در کف سازه، باعث کاهش نیروی زیر فشار وارده شده به آن تا حدود 72% نسبت به حالت بدون قرارگیری زهکش، شده است. فاروق و همکاران (۲۰۱۳)، با کاربرد بلانکت رسی در سد خانپور پاکستان مشاهده نمودند که مقدار دبی نشت از $17/5$ مترمکعب به $3/75$ مترمکعب کاهش می‌یابد.

در مطالعاتی که قنبری و زریابی (۲۰۱۴)، بر روی یک سد فرضی و اعمال سیستم بلانکت رسی با ترانشه رسی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که مهمترین پارامتر مؤثر، ضریب نفوذپذیری سیستم می‌باشد که با کاهش نفوذپذیری آن مقدار دبی نشت به صورت جدی کاهش می‌یابد. بتول و وندنبرگ (۲۰۱۵)، در مطالعه خود نشت از پی سدی فرضی را در صورت وجود بلانکت رسی با دو روش المان محدود و تئوری بلانکت رسی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از بررسی عددی تأثیر بلانکت رسی با نتایج حاصل از روش تئوری بلانکت رسی در اکثر موارد نتایج یکسانی را به دنبال دارد. نصراله و رابی (۲۰۱۵) مقاله‌ای را تحت عنوان، ویژگی‌های نشت در زیر پی سازه‌های آبی در خاک‌های چند لایه (با وجود دیواره آب‌بند)



پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی بیانگر این است که مقدار نیروی زیر فشار در امتداد کف سازه در صورتی که عمق دیواره آب‌بند در بالادست، از نصف عمق شن و ماسه کمتر نباشد.

نورانی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی عددی موقعیت بهینه زهکش عمودی در سد بتنی پرداختند. این تحقیق توسط نرم افزار SEEP/W که مبتنی بر المان محدود می‌باشد، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیستم زهکشی باعث کاهش نیروهای زیر فشار در زیر کف سازه‌های آبی می‌شود. تحقیقی با عنوان تحلیل نشت از سدهای خاکی با هسته داخلی توسط سالم و همکاران (۲۰۱۹) انجام گرفت. نتایج حاکی از این است که با افزایش شیب‌های جانبی (H:V)، افزایش پایداری شیب پایین دست حاصل شده و همچنین خط فریاتیک دارای افت قابل توجهی می‌باشد. تحقیقی با عنوان رفتار ناپایدار نشت آب یک سد خاکی در طی چرخه سیلاب خشکسالی توسط زیانگ و همکاران (۲۰۱۹) انجام گرفت. نتایج حاکی از این است که هنگامی که سطح آب به سرعت تغییر می‌کند، خط فریاتیک نیز تغییر می‌کند. علاوه بر این گرادیان فشار منفذی بیشتری می‌شود و این ممکن است باعث فرسایش داخلی شود. تحقیقی با عنوان تحلیل تجربی و عددی برای نشت سد خاکی توسط سامی و همکاران (۲۰۲۰) انجام گرفت. نتایج حاکی از اهمیت استفاده از زهکشی‌های افقی برای کنترل موقعیت خط فریاتیک برای پایداری سدهای خاکی است، زیرا تماس با شیب پایین دست باعث نرم شدن و تضعیف توده خاک و افزایش پایپینگ بالقوه می‌شود.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

سد مورد نظر در این تحقیق، سد مخزنی بوکان (شکل ۱)، است که بر روی رودخانه زرینه رود در استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیائی ۳۲/۲۶ درجه شمالی ۴۶/۳۲ درجه شرقی در ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میاندوآب و در ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بوکان احداث گردیده است. رودخانه زرینه رود از کوه‌های نزدیک مرز ایران و عراق جریان یافته و پس از طی مسافتی به محل سد رسیده و سپس در جهت شمال غربی به طرف شهرستان میاندوآب ادامه مسیر داده و در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد.

از اهداف احداث سد بوکان آبیاری ۸۵۰۰۰ هکتار از اراضی دشت میاندوآب، کنترل سیلاب‌های مخرب و تنظیم آب رودخانه زرینه رود، تامین آب شرب شهرهای بالادست و پائین دست سد از جمله تبریز و سقز، حفاظت از محیط زیست از جمله آبریان، تامین آب مورد نیاز صنعت، تامین آب مورد نیاز شیلات و نیز تولید برق در دست مطالعه می‌باشد.

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



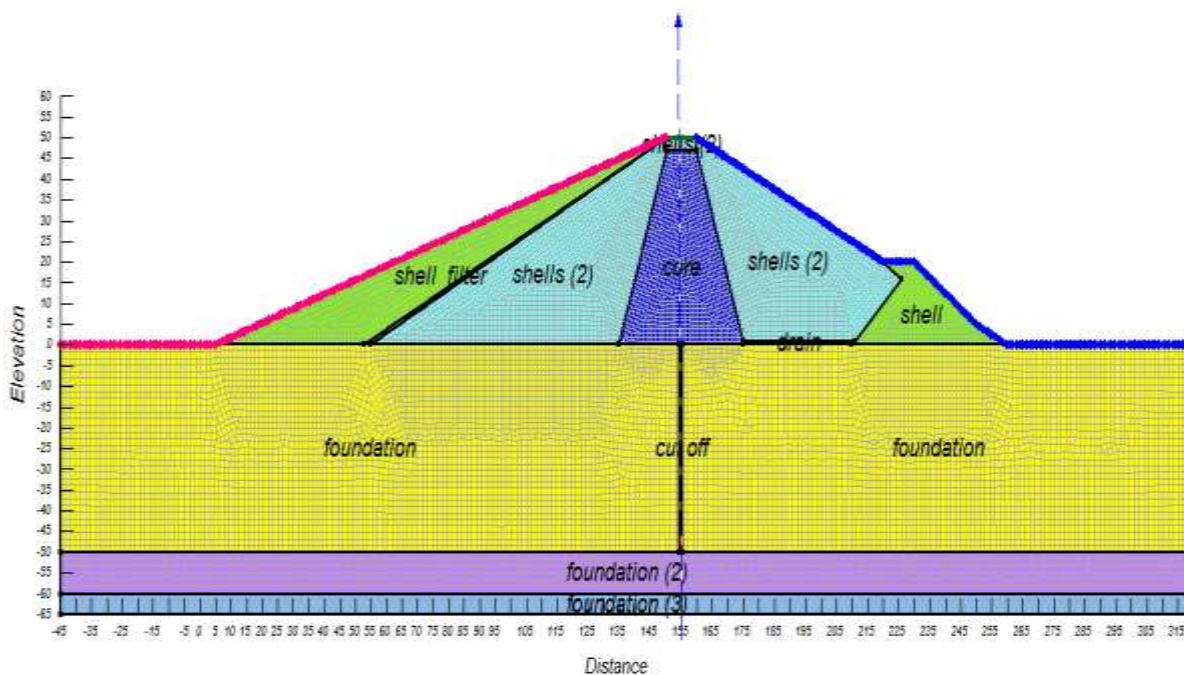
شکل ۱: نمایی از سد بوکان

۳- نحوه شبیه سازی عددی

در این مطالعه سد خاکی بوکان با ابعاد نشان داده شده در شکل ۲ فرض شده است. لازم به ذکر است شرایط مرزی مدل مینا که در این سد فرض می شود، بدین صورت است که بار آبی بالادست متوسط سالانه معادل ۴۲ متر (عمق نرمال مخزن) و بار آبی پایاب همتراز با کف رودخانه و برابر با ۲۰ متر می باشد.

در ضمن تعداد المان های مدل دو بعدی سد در حدود ۱۵۲۰۵ می باشد که به عنوان مدل مینا در نظر گرفته می شود. محاسبه دبی نشت در تمام حالات از روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار Seep/W (جزیی از بسته نرم افزاری Geo Studio ۲۰۰۷) انجام گردید. با توجه به عدم تاثیر گذاری تغییر طول و عمق پی مدل بر تراز خروج آب از بدنه سد و با در نظر گرفتن محدودیت نرم افزار از نظر مدل سازی و تعداد المان، مدلی با گستردگی طولی ۳۶۵ متر و عمق پی ۶۵ متر در نظر گرفته شد. شبیه سازی نشان داد که مقدار دبی عبوری و نیز گرادیان های هیدرولیکی آن با مدل های عمیق تر و طویل تر از خود تفاوت بسیار اندکی دارد.

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۲: مقطع سد خاکی بوکان با اجزای تشکیل دهنده آن به تفکیک

همچنین نفوذپذیری اجزای تشکیل دهنده سد خاکی بوکان به شرح جدول ۱ می باشد.

جدول ۱: نفوذ پذیری مصالح مورد استفاده در اجزای سد

ضریب نفوذ پذیری (m/s)	لایه
7×10^{-7}	هسته (core)
5×10^{-4}	پوسته بالادست و پایین دست (shells)
2×10^{-5}	پوسته بالادست و پایین دست دومی (shells 2)
2×10^{-5}	بستر آبرفتی (foundation)
8×10^{-5}	بستر خاکی (foundation 2)
4×10^{-6}	بستر سنگی (foundation 3)
2×10^{-3}	فیلتر (filter)
10^{-1}	زهکش (drain)
10^{-9}	دیواره آب بند (cut off)

همچنین برای شبیه سازی عددی، ۱۰ مدل که دارای هد آب بالادست متوسط ۴۲ متری (عمق نرمال مخزن) و ضخامت و طول پتوی رسی متفاوت را در برمی گیرد، مد نظر می باشند. مشخصات این ۱۰ مدل در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مشخصات مدل های به کار رفته در شبیه سازی

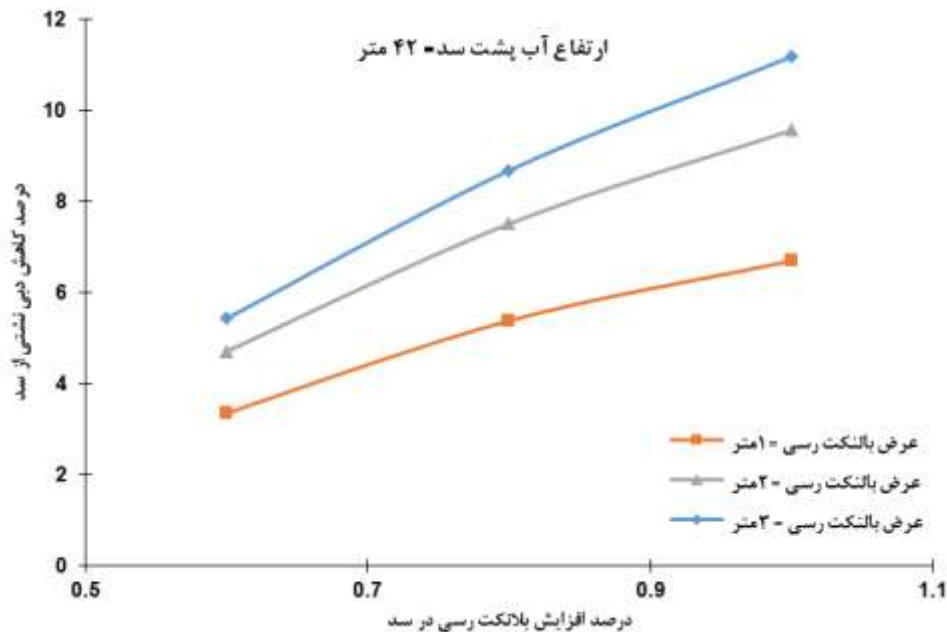
شماره مدل	طول پتوی رسی	ضخامت پتوی رسی	هد آب بالادست
1	بدون پتوی رسی	بدون پتوی رسی	42

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

2	130	1	42
3	104	1	42
4	78	1	42
5	130	2	42
6	104	2	42
7	78	2	42
8	130	3	42
9	104	3	42
10	78	3	42

۴- نتایج مدل سازی با seep/w

به منظور مطالعه کاهش دبی ناشی از بدنه سد بوکان، ۱۰ مدل که دارای هد آب بالادست متوسط (۴۲ متری) و ضخامت و طول پتوی رسی متفاوت را در بر می گیرد، مد نظر می باشند. در شکل ۳ تغییرات دبی ناشی از بدنه سد بوکان برای شرایط هد آب بالادست سد ۴۲ متر (عمق نرمال مخزن) در برابر تغییرات ضخامت و طول پتوی رسی رسم گردیده است.

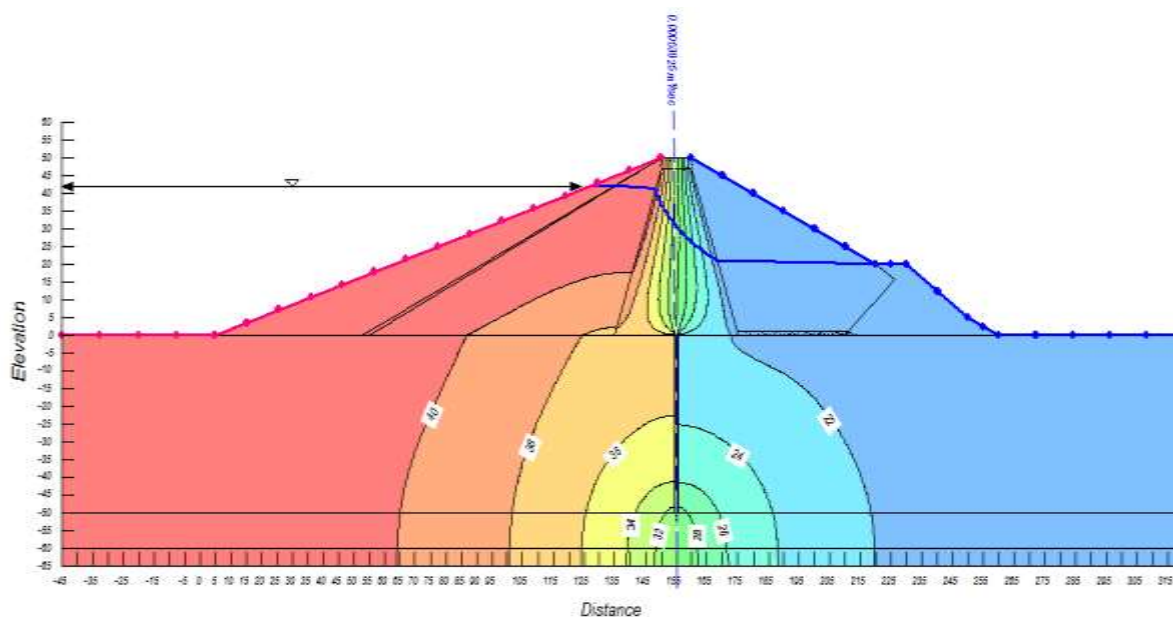


شکل ۳: تغییرات دبی ناشی از بدنه سد بوکان در برابر تغییرات ضخامت و طول پتوی رسی (هد آب بالادست سد ۴۲ متر)

مطابق شکل ۳ ملاحظه می گردد که با افزایش طول پتوی رسی، کاهش دبی ناشی از سد بیشتر می شود. همچنین با افزایش ضخامت پتوی رسی، باعث کاهش بیشتر دبی ناشی از سد می شود. به عبارت دیگر، طول پتوی رسی و ضخامت آن با میزان کاهش تراوش نسبت مستقیم دارد. به طوری که هر چه طول و ضخامت پتوی رسی بیشتر باشد، طول مسیر تراوش نیز افزایش یافته و در نتیجه دبی عبوری کاهش می یابد.

به عنوان نمونه نتایج آنالیز نشت توسط نرم افزار برای مقطع سد خاکی بوکان با بار آبی بالادست ۴۲ متر برای دو حالت بدون احداث پتوی رسی و پتوی رسی به طول ۱۳۰ متر و ضخامت ۳ متر به ترتیب در شکل های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. همچنین در شکل های مذکور منحنی های هم پتانسیل، خط فریاتیگ نشت، دبی ناشی از سد نیز دیده می شوند.

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



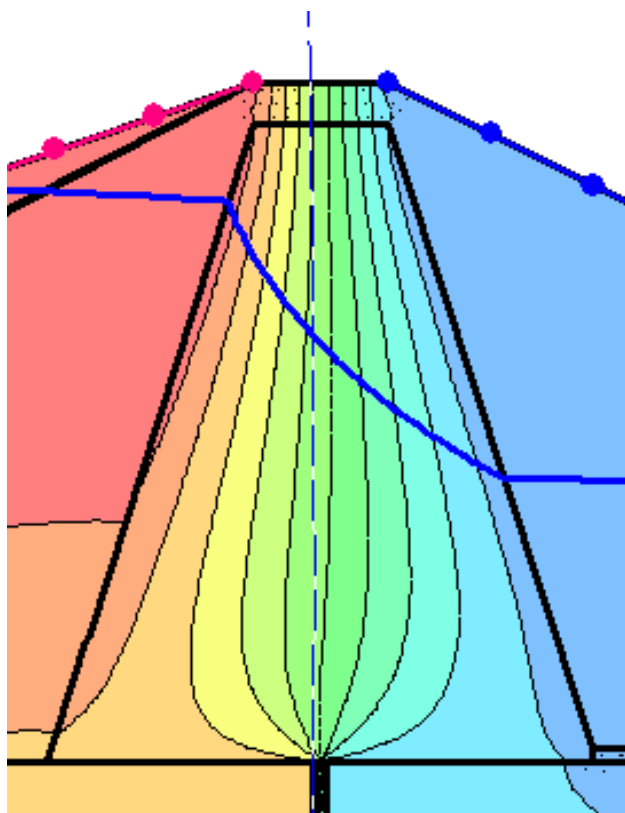
شکل ۴: تغییرات دبی ناشی از بدنه سد بوکان بدون احداث پتوی رسی (هد آب بالادست سد ۴۲ متر)

با توجه به شکل ۴ ملاحظه می شود که تغییرات منحنی های فشار کل در پوسته سد بوکان (بدلیل اینکه نفوذ پذیری پوسته نسبت به هسته خیلی زیاد می باشد)، ناچیز می باشد. اما در داخل هسته رسی سد، به دلیل نفوذ پذیری خیلی کمی که دارد، منحنی های فشار کل در این قسمت متمرکز شده اند. این نشانگر این است که هسته سد، مقدار زیادی از انرژی آب را گرفته است.

همچنین دیواره آب بند، باعث کاهش فشار کل در زیر سد خاکی هسته دار می باشد. بطوری که خطوط هم فشار در نزدیکی دیواره آب بند، تمرکز پیدا نموده است. این نشانگر این است که دیواره آب بند همانند مانعی بر سر راه آب ناشی از بدنه سد قرار گرفته است و باعث کاهش مقدار دبی ناشی از بدنه سد بوکان شده است. مطابق شکل ۴ ملاحظه می شود که مقدار دبی ناشی از سد بوکان 0.000539 متر مکعب بر ثانیه بر متر می باشد.

همچنین برای واضح دیدن منحنی های فشار کل اقدام به بزرگنمایی روی هسته و دیواره آب بند در شکل ۵ شده است.

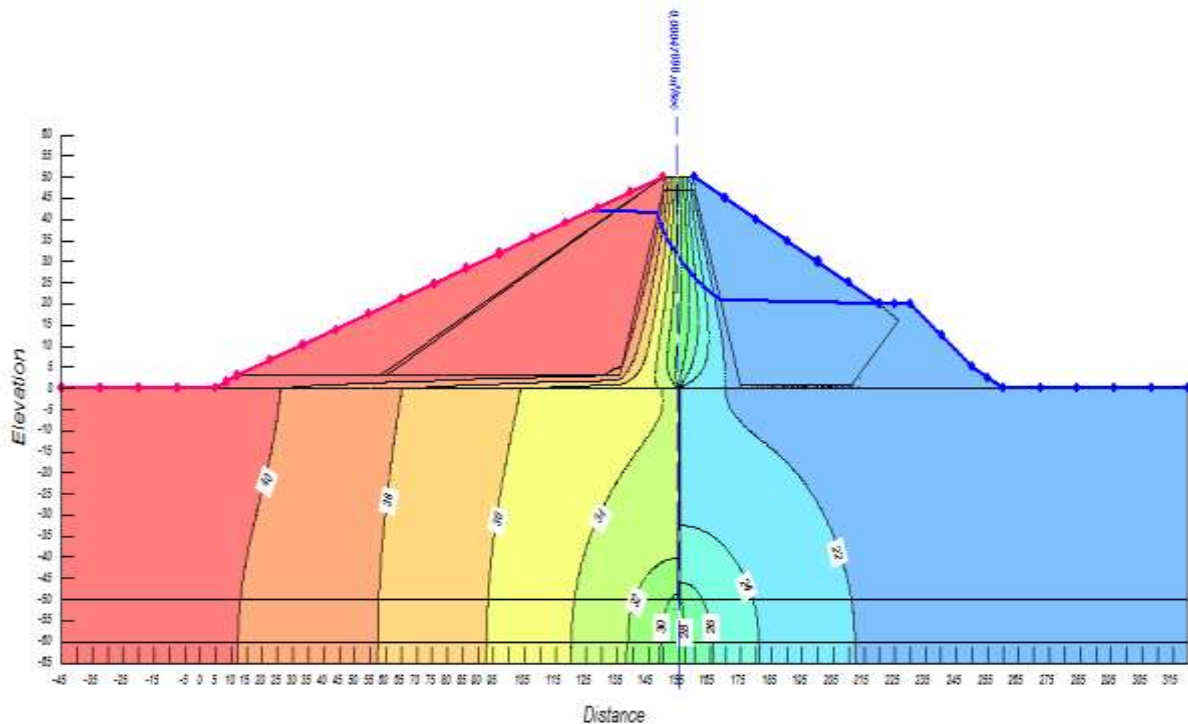
پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۵: تغییرات دبی ناشی از بدنه سد بوکان بدون احداث پتوی رسی (هد آب بالادست سد ۴۲ متر) سد همراه با بزرگ نمایی مقطع هسته

با توجه به شکل ۵ می توان بیان کرد که تمرکز خطوط هم فشار کل در هسته سد خاکی، منجر شده تا مقدار زیادی از انرژی آب گرفته شود. بطوری که در نزدیکی محل اتصال هسته به دیواره آب بند نیز همان شرایط حاکم می باشد. در کل، هسته و دیواره آب بند، مانع از نشت آب از بدنه و پی سد خاکی بوکان شده است.

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۶: تغییرات دبی ناشی از بدنه سد بوکان با پتوی رسی به طول ۱۳۰ متر و ضخامت ۳ متر (هد آب بالادست سد ۴۲ متر)

مطابق شکل ۶ و مقایسه آن با شکل ۴، می توان بیان کرد که منحنی های فشار کل در منطقه ی احداث پتوی رسی، مترکم تر بوده و با افزایش طول خزش باعث کاهش دبی ناشی می شود. به بیان دیگر، پتوی رسی همچون مانعی باعث افت انرژی بیشتر آب می شود و در نهایت مانع بر نشت آب به طرف پایین دست شده است. با توجه به شکل مذکور مقدار دبی ناشی از سد بوکان 0.000479 متر مکعب بر ثانیه بر متر می باشد. به عبارت دیگر افزایش طول مسیر جریان در اثر احداث پتوهای رسی بالادست بر کاهش مقدار دبی ناشی بخوبی مشاهده می گردد. به طوری که احداث بلانکت به طول ۱۳۰ متر و ضخامت ۳ متر جریان تراوش را نسبت به حالت بدون پتوی رسی (هد آب بالادست سد ۴۲ متر) به میزان $2/23$ درصد کاهش می دهد.

۵- نتیجه گیری

با افزایش طول پتوی رسی، کاهش دبی ناشی از سد بیشتر می شود. همچنین با افزایش ضخامت پتوی رسی، باعث کاهش بیشتر دبی ناشی از سد می شود. به عبارت دیگر، طول پتوی رسی و ضخامت آن با میزان کاهش تراوش نسبت مستقیم دارد. به طوری که هر چه طول و ضخامت پتوی رسی بیشتر باشد، طول مسیر تراوش نیز افزایش یافته و در نتیجه دبی عبوری کاهش می یابد.

تغییرات منحنی های فشار کل در پوسته سد بوکان (بدلیل اینکه نفوذ پذیری پوسته نسبت به هسته خیلی زیاد می باشد) ناچیز می باشد. اما در داخل هسته رسی سد، به دلیل نفوذ پذیری خیلی کمی که دارد، منحنی های فشار کل در این قسمت متمرکز شده اند. این نشانگر این است که هسته سد مقدار زیادی از انرژی آب را گرفته است.



پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

همچنین دیواره آب بند، باعث کاهش فشار کل در زیر سد خاکی هسته دار می باشد. بطوری که خطوط هم فشار در نزدیکی دیواره آب بند تمرکز پیدا نموده است. این نشانگر این است که دیواره آب بند همانند مانعی بر سر راه آب نشتی از بدنه سد قرار گرفته است و باعث کاهش مقدار دبی نشتی از بدنه سد بوکان شده است.

تمرکز خطوط هم فشار کل در هسته سد خاکی منجر شده تا مقدار زیادی از انرژی آب گرفته شود. بطوری که در نزدیکی محل اتصال هسته به دیواره آب بند نیز همان شرایط حاکم می باشد. در کل، هسته و دیواره آب بند، مانع از نشت آب از بدنه و پی سد خاکی بوکان شده است. منحنی های فشار کل در منطقه ی احداث پتوی رسی، متراکم تر بوده و با افزایش طول خزش باعث کاهش دبی نشتی می شود. به بیان دیگر، پتوی رسی همچون مانعی باعث افت انرژی بیشتر آب می شود و در نهایت مانع بر نشت آب به طرف پایین دست شده است.

افزایش طول مسیر جریان در اثر احداث پتوهای رسی بالادست بر کاهش مقدار دبی نشتی بخوبی مشاهده می گردد. به طوری که احداث بلانکت به طول ۱۳۰ متر و ضخامت ۳ متر جریان تراوش را نسبت به حالت بدون پتوی رسی (هد آب بالادست سد ۴۲ متر) به میزان ۲/۲۳ درصد کاهش می دهد.

۶- منابع و مراجع

- احمدی، ح.، رضایی، ح. و زینال زاده، ک. ۱۳۹۳، مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تابع هدایت هیدرولیکی بر مدل سازی نشت از بدنه سدهای خاکی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۳، صفحات ۲۹۹-۳۰۷.
- قبادیان، ر. و خدائی، ک. (۱۳۸۸). تأثیرات پرده آب بند وزهکش بر نیروی زیر فشار و گرادیان خروجی زیر سازه های آبی با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک به روش احجام محدود. نشریه آب و خاک. ۲۳(۲۴): ۱۴۸-۶۰.
- ملک پور، ا.، فرسادی زاده، د.، حسین زاده دلیر، ع.، صدر کریمی، ج.، تأثیر زهکش افقی بر پایداری سد خاکی همگن در شرایط تخلیه سریع، مجله دانش آب و خاک، ۱۳۹۱، جلد ۲۲، صفحه ۱۰۷ تا ۱۱۹.
- ناصحی اسکوئی ن و سلماسی ف.، بررسی تأثیر سوراخ آب بر توزیع زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی در زیر سدهای بتنی با پی نفوذپذیر. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۹/ شماره ۳/ پیاپی ۱۸/ ۱۳۹۴ (۱۸۶-۱۸۱).
- نوری، م. و سلماسی، ف. ۱۳۹۶. بررسی عددی تأثیر پتوی رسی در کاهش نشت از پی سدهای خاکی. هیدروژئولوژی، سال دوم، شماره ۱، پاییز.
- یوسفی م، پرویزی م، صدقی اصل م، ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پرده آبنند بر کنترل نشت و پدیده جوشش در پی سازه های هیدرولیکی. نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست. دوره ۴۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۳۱۵ تا ۳۲۹.
- A. Z. Ijam. 2011. Dams with an Inclined Cutoff. Journal of EJGE.16(P): 1427-1440.
- A.M. Sami, Al-Janabi, A.H. Ghazali, Y.M.Ghazaw, H.A. Afan, N. Al-Ansari and Z.M. Yaseen. 2020. Experimental and Numerical Analysis for Earth-Fill Dam Seepage. Sustainability 2020, 12, 2490; doi:10.3390/su12062490.
- A. Batool, D.R. Vendenberg, and B. Thomas. 2015. Practical application of blanket theory and the finite-element method to levee underseepage analysis. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 141(10), 1-10.
- A. Ghanbari, and S. Zaryabi. 2014. A simple method for calculating the seepage at the foundation of embankment dams with blanket and clay trench. Journal of GeoEngineering, 9(1), 21-32.
- B. Nourani, F. Salmasi, A. Abbaspour and B. Oghati. 2017. Numerical Investigation of the Optimum Location for Vertical Drains in Gravity Dams. Geotech Geol Eng, 2017, Volume 35, Issue 2, pp 799-808. DOI: 10.1007/s10706-016-0144-1.
- K. Farooq, H. Mujtaba, A. Nazir, and A. H. Khan. 2013. Effectiveness of upstream and grouting in control of seepage at Khanpur dam project. Pakistan journal of science, 65(2), 225-234.
- L. Ziyang, Y. Wei, M. Marence and J.D. Bricker. 2019. Unsteady Seepage Behavior of an Earthfill Dam During Drought-Flood Cycles. Geosciences 2019, 9, 17; doi:10.3390/geosciences9010017.



پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

14. N.M. Salem, M.H. Eldeeb, and A.S. Nofal. 2019. Analysis of Seepage through Earth Dams with Internal Core. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, Vol. 8 Issue 08, August-2019.
15. S. MCLOUGHLIN and A. AHMED. 2012. Seepage under Hydraulic Structures Provided with an Intermediate Filter. ICSE6 Paris - August 27-31, 2012.
16. T.H. Nassralla and A.R.M.A. Rabea. 2015. Seepage Characteristics under Hydraulic Structure Foundation (Supported by Sheet pile) In Multi-Layers Soil. The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology. Vol. 18 No. 4 (2015) 229–238.