

اولین کنفرانس مهندسی آب با محوریت تجاری سازی

بدینوسیله گواهی می شود مقاله با عنوان:

تحلیل تراوش و پایداری خاکریز حفاظتی مخزنی با پی آبرفتی عمیق (مطالعه موردی: طرح بار نیشابور)

توسط مرتضی سالاری (نویسنده مسئول)، مرتضی سالاری (نویسنده اول)، علی اخترپور (نویسنده دوم)

در اولین کنفرانس مهندسی آب با محوریت تجاری سازی که در تاریخ ۲۶ مهرماه ۱۳۹۴ در مرکز همایش های صدراتهران برگزار گردید

به صورت شفاهی ارائه شده است.

به امید موفقیت و پیشرفت روزافزون شاد تمامی عرصه های علمی و پژوهشی



تحلیل تراوش و پایداری خاکریز حفاظتی مخزنی با پی آبرفتی عمیق

(مطالعه موردی: طرح بار نیشابور)

ارائه دهنده مقاله: مرتضی سالاری^۱

مرتضی سالاری، علی اخترپور^۲

۱- شرکت مهندسی مشاور آب پوی / کارشناسی ارشد عمران - مکانیک خاک و پی

۲- دانشگاه فردوسی مشهد / دکتری عمران مکانیک - خاک و پی

چکیده

پروژه مخزن بار به جهت تامین بخشی از آب شرب توابع شهرستان نیشابور و همچنین آب مصرفی صنعت فولاد خراسان در شمال غرب این شهرستان در حال اجرا می‌باشد. ساختگاه مخزن خارج از بستر رودخانه و در دره‌ای با شیب‌های ملایم و با پی آبرفتی عمیق است که از سمت غربی به یک سدخاکی (سد اصلی) و از سمت شرقی به خاکریز حفاظتی (سد فرعی) محدود شده است. رودخانه بار در پایین دست خاکریز حفاظتی و در راستای خود به موازات محور آن در بعضی مناطق فاصله افقی کمی تا پایاب خاکریز دارد و بستر آن حداقل ۲۰ متر پایین تر از سطح پی خاکریز است، بالا بودن نفوذپذیری پی درشت دانه و همچنین شرایط هیدرولیکی مرزی پی پایاب خاکریز حکایت از نشت قابل توجه از این جبهه و همچنین ناپایداری کلی احتمالی آن دارد. در این پژوهش میزان تراوش سالیانه و وضعیت پایداری حدی این ناحیه بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد: با وجود بالا بودن میزان نشت مخزن از این جبهه و ضرورت طرح علاج بخشی در جهت کاهش آن، پی پایاب خاکریز دارای پایداری کلی خواهد بود. اما جهت جلوگیری از فرسایش سطحی در اثر جریان آب تراوشی و همچنین کاهش احتمال وقوع فرسایش پس رونده، اجرای سیستم زهکشی مناسبی در روی سطح پی پایاب خاکریز حفاظتی معقول است.

واژه‌های کلیدی: سدهای خاکی، تحلیل المان محدود تراوش، تعادل حدی، علاج بخشی

مقدمه

بسیاری از مخازن سدهای ساخته شده در جهان دارای نشت است این نشت ممکن است از تشکیلات زمین شناسی ساختگاه یا پی سد و یا از خود بدنه سد اتفاق افتد. در سدهایی که خوب طراحی شده اند انتظار می رود نشت گذری از بدنه سد ناچیز باشد. برآورد

^۱ کارشناس ارشد ژئوتکنیک

^۲ استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

میزان دقیق نشت عبوری از پی مخزن منوط به برآورد صحیح پارامترهای ژئوتکنیکی تراوش است. مهمترین پارامتر ژئوتکنیکی در محاسبات تراوش نفوذپذیری است. برآورد بزرگی و پهنه بندی این پارامتر همواره با عدم قطعیت هایی همراه است (فرنیوک و هانگ، ۱۹۹۰؛ پیکولی و زیناردیک، ۱۹۹۵) مطالعات ناکافی ژئوتکنیکی در پی و دیواره های مخزن و به پیرو آن برآورد غیر دقیق مشخصات تراوشی می تواند سبب نشت قابل توجه از مخزن، پیدایش پدیده های مخرب نظیر آبشستگی، ریزشویی و ..، تحمیل هزینه های سنگین علاج بخشی و در مواردی شکست سد گردد.

مخزن طرح بار یک مخزن خارج از بستر رودخانه است که در دره ای عریض روی مصالح های آبرفتی عمیق احداث شده است. جهت تامین ارتفاع لازم ضلع شرقی مخزن، دایک حافظتی طولی به موازت رودخانه اجرا شده است. مطالعات ژئوتکنیکی اولیه حکایت از ایمنی این دایک در مقابل جریان های تراوش از پی آن دارد. شواهد مشاهده شده در دوران ساخت و مطالعات ژئوتکنیکی تکمیلی نشان از اختلاف قابل توجه در بزرگی و پهنه بندی نفوذپذیری پی مخزن نسبت به پهنه بندی و بزرگی بدست آمده بر مبنای کاوش های ژئوتکنیکی اولیه دارد. بر این اساس وضعیت تراوش مخزن از این جبهه و پایداری کلی پایاب این دایک مورد تردید قرار گرفته است. در این مطالعه سعی شده است ارزیابی مناسبی از وضعیت تراوش پی و بدنه این دایک محافظتی بعمل آورده شود و همچنین در خصوص وضعیت پایداری کلی پی پایاب اظهار نظر شود.

معرفی طرح بار

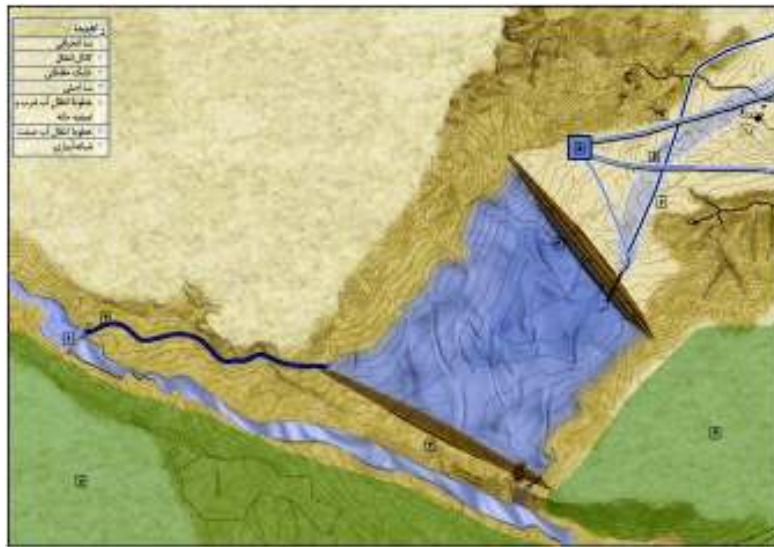
طرح کلی بار که موقعیت آن در ۲۳ کیلومتری شمال غرب شهرستان نیشابور، شمال شرق شهر فیروزه (بزرگان) و در مجاورت روستای متروکه حسین آباد می باشد شامل یک سدخاکی اصلی و یک خاکریز محافظتی (دایک)، بند انحرافی و کانال بتنی انتقال آب می باشد (شکل ۱). بخشی از آب رودخانه توسط یک بند انحرافی بتنی منحرف و با کانالی از مجاورت جناح راست خاکریز محافظتی به این مخزن منتقل می شود. مخزن ذخیره آب طرح خارج از بستر رودخانه است. این مخزن در دره ای عریض واقع است که از سمت غربی به یک سدخاکی (سد اصلی) و از سمت شرقی به دایک محافظتی محدود می باشد. اهداف اصلی طرح بار عبارت است از ۱- تامین بخشی از آب شرب شهر نیشابور ۲- تامین آب مورد نیاز صنعت و مجمع فولادخراسان ۳- تغذیه مصنوعی سفره آب زیر زمینی دشت نیشابور. در جدول ۱ مشخصات کلی سدهای خاکی اصلی و فرعی آورده است (شرکت مشاور آبپوی، ۱۳۸۸) و در شکل ۲ مقطع تیپ دایک محافظتی آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات کلی سد اصلی و فرعی بار

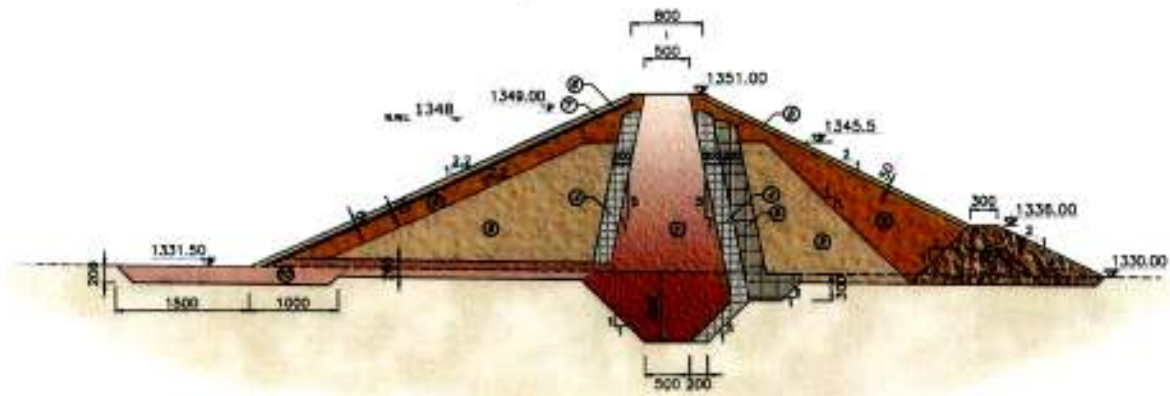
مشخصات	سد اصلی	دایک حفاظتی (سد فرعی)
نوع سد	خاکی با هسته رسی	خاکی با هسته رسی
طول تاج (متر)	۱۵۰۰	۱۷۳۰
عرض تاج (متر)	۱۰	۸
رقوم بستر در محور سد	۱۳۲۲/۵	۱۳۳۱/۵
حداکثر ارتفاع سد از بستر (متر)	۲۸/۵	۱۹/۵
حداکثر ارتفاع سد از پی (متر)	۴۳/۵	۲۷/۵

مشخصات زمین‌شناسی عمومی مخزن

ارتفاعات بینالود که امتداد رشته کوه‌های البرز به سمت شرق کشور است و سرشاخه‌های رودخانه بار از آنجا سرچشمه می‌گیرد در منطقه طرح بار دارای امتدادی شمال غرب-جنوب شرق است. مخزن سد در انتهای دره‌ای وسیع و نسبتاً کوتاه که حاصل فرسایش تشکیلات مارنی-کنگومرانی دوران سوم و رسوبگذاری تراس‌های رودخانه‌های قدیم و جدید دوران چهارم زمین‌شناسی است. دره *عریض محل مخزن بر یال جنوبی ناودیسی احداث شده است که حاصل آخرین فعالیت‌های چین زائی نئوزونیک، رسوب‌گذاری،



شکل ۱- سیمای کلی طرح بار



شکل ۲- مقطع تیپ دایک محافظتی بار

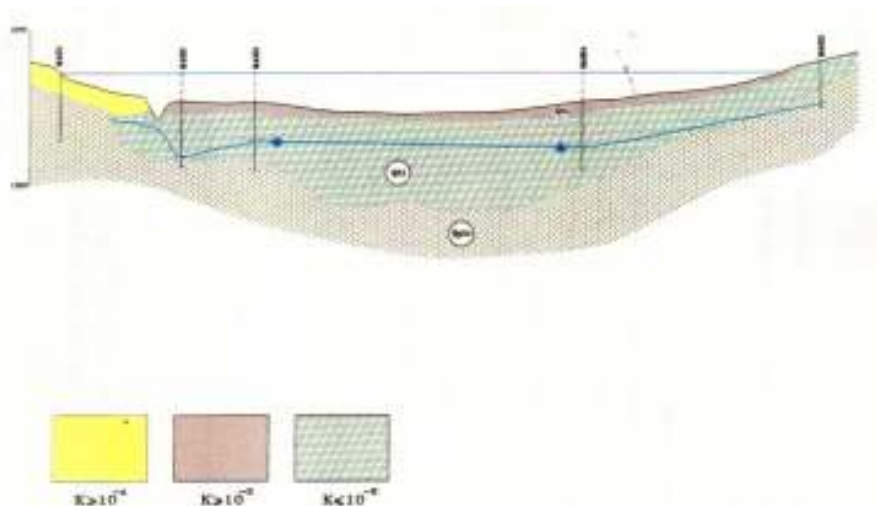
نهشته‌های قاره‌ای و پسروری دریائی می‌باشد فعالیت‌های ولکانیکی آندزیتی و توفیتی بخش شمالی ناودیس مزبور را به شدت تحت تاثیر قرار داده است به نحوی که پیگیری شیب و امتداد لایه های رسوبی در کنار فعالیت‌های ولکانیکی به سادگی امکان پذیر است. در ضلع شمالی دره مزبور نهشت های رسوبی و آذرین دوران سوم بصورت کوهستان های مرتفع و مسلط دیده می‌شود که منشاء این کوه‌های مرتفع روواندگی بزرگی است که باعث رانده شدن سنگ‌های سخت آهکی و آذرین بر روی تشکیلات نرم قاره ای شده است (شرکت مشاور آبیوی، ۱۳۸۸)

مروری بر مطالعات ژئوتکنیکی طرح

برای شناسایی ژئوتکنیکی پی دایک محافظتی، ۵ گمانه با عمق متوسط ۳۰ متر در راستای محور آن حفاری شده است (شکل ۳). آزمایشات صحرایی متداول نظیر لوفران، نفوذ استاندارد و .. در این گمانه‌ها انجام پذیرفته است (شرکت مشاور آب پوی، ۱۳۸۵). بر طبق این آزمایش‌ها پهنه‌بندی نفوذپذیری در راستای محور سد فرعی مطابق شکل ۴ تهیه شده است. مهمترین مطالب موثر در بحث تراوش برای سد فرعی بر اساس نتایج این مطالعات عبارتند از: (۱) وجود آبرفت دارای نفوذ پذیری کم در زیر سد. (۲) اختلاف ۱۹ متری سطح آب زیرزمینی و سطح بستر در مقاطع میانی دارد. (۳) مجاورت سد فرعی به رودخانه و توپوگرافی دارای شیب نسبتاً تند پایین دست سد به سمت رودخانه کنونی بار. هرچند در آن زمان وجود مخاطراتی نظیر پایپینگ به علت توپوگرافی شیب دار پایاب دایک به سمت رودخانه قابل انتظار بوده است اما وجود آبرفت با نفوذ پذیری کم این نگرانی را به نظر می‌رسد در آن زمان مرتفع ساخته است.



شکل ۳- موقعیت گمانه های اکتشافی در راستای محور دایک حفاظتی در مطالعات مرحله اول



شکل ۴- پهنه بندی نفوذ پذیری (cm/s) پی در راستای محور دایک محافظتی (نما از پایین دست)

در زمان خاکبرداری ترانسه آب‌بند سد اصلی افق‌هایی از مصالح درشت‌دانه در بعضی نواحی خصوصا جناح راست سد اصلی روئیت شد که موجب کاهش اطمینان به نتایج آزمایش‌های مرحله مطالعات گردید. با توجه به اهمیت میزان تراوش مخزن، برنامه‌ای برای مطالعه و ارزیابی دقیق مشخصات نفوذپذیری پی و مخزن سد در نظر گرفته شد. مجموع ۱۲ گمانه ژئوتکنیکی با عمق حداکثر ۳۵ و حداقل ۱۳ متر در این مرحله در داخل مخزن مجاور به محورهای سدها حفر گردید (شرکت مشاور آب پوی، ۱۳۸۹). بعد از تفسیر مهندسی نتایج آزمایش‌ها، پهنه بندی ایده‌آل نفوذپذیری پی دایک محافظتی مطابق جدول ۲ تهیه شده است. پهنه بندی نفوذپذیری مطالعات مرحله دوم به میزان قابل-توجهی متفاوت از پهنه بندی نفوذ پذیری مرحله اول است. این موضوع نگرانی‌های عمده‌ای در خصوص پایداری سدها و میزان تراوش عبوری از مخزن بوجود آورد. لذا ارزیابی مجدد تراوش و پایداری طرح در دستور کار قرار گرفت.

جدول ۲: پهنه بندی نفوذ پذیری در پی دایک محافظتی بر اساس مطالعات جدید

ناحیه	عمق (متر) نسبت به سطح زمین در محل	نفوذپذیری افقی (cm/s)	نفوذپذیری قائم (cm/s)
پی دایک محافظتی	۱۲ >	۳ × ۱۰ ^{-۳}	۱ × ۱۰ ^{-۳}
	۱۲ <	۹ × ۱۰ ^{-۴}	۳ × ۱۰ ^{-۴}

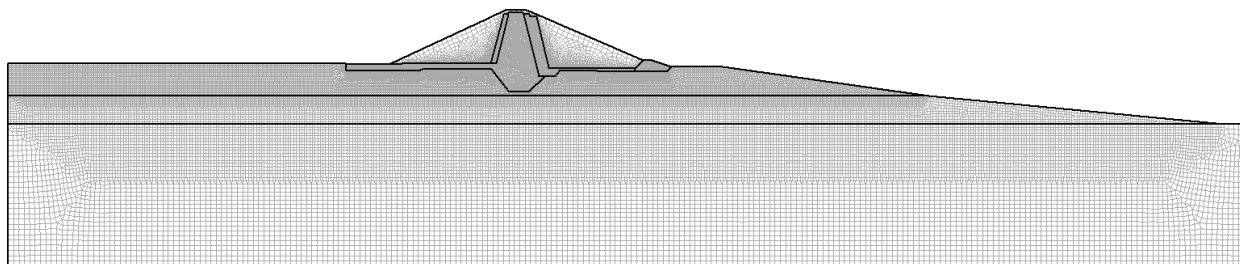
ارزیابی عددی عملکرد تراوشی خاکریز حفاظتی

برای تعیین عملکرد تراوشی پی و بدنه دایک محافظتی، پس از بازدیدهای سطحی و بررسی اسناد ترسیمی طرح، مقطع عرضی واقع در کیلومتر ۹۰۰ (نسبت به جناح چپ دایک) به عنوان بحرانی‌ترین مقطع از نظر شرایط جنس مصالح پی پایاب، و شرایط

هندسی (ارتفاع مقطع، فاصله رودخانه و شیب پی پایاب) تشخیص داده شد. سپس تحلیل تراوش مقطع عرضی بحرانی به صورت دوبعدی، به روش المان محدود با کمک مولفه Seep/W از مجموعه نرم افزارهای Geostudio2007 که در ادامه مراحل آن تشریح خواهد شد صورت پذیرفت (GEO-SLOPE, ۲۰۰۸). هر مدل‌سازی عددی نیازمند سه نوع ایده‌آل‌سازی است (کلاف و همکاران، ۱۹۷۸): ۱- ایده‌آل‌سازی مهندسی ۲- ایده‌آل‌سازی مصالح ۳- ایده‌آل‌سازی بارگذاری، که در ادامه این مراحل تشریح خواهد شد.

ایده‌آل‌سازی هندسی و المان بندی مدل

کاوش‌های ژئوتکنیکی، چه در مرحله‌ی انجام مطالعات و چه در حین اجراء حکایت از عدم وجود پی سنگی در عمق‌های کمتر از ۱۰۰ متر دارد. بنابراین عمق پی تا حدی در مدل منظور شده است که افزایش عمق به بیش از این مقدار تأثیری در نتایج نهایی محاسبات نداشته باشد. در وجه پایین‌دست، مدل محدود به رودخانه شده است و در وجه بالادست مدل تا جایی ادامه یافته است که افزایش بیش از آن تأثیری در محاسبات نهایی نداشته باشد. برای المان‌بندی مدل عددی در تحلیل تراوش از المان‌های مربعی چهار گرهی ایزوپارامتریک و مثلثی سه گرهی (کلاف و همکاران ۱۹۷۸) استفاده شده است. میزان دقت محاسبات وابسته به تعداد المان‌ها است. در این تحلیل تعداد المان‌ها به میزانی است که افزایش بیشتر آن‌ها تأثیری بر کمیت اصلی تحلیل تراوش یعنی دبی عرضی ندارد (مطالعه‌ی مش بر اساس کمیت دبی صورت گرفته است). هندسه‌ی المان بندی شده‌ی مدل در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- هندسه‌ی ایده‌آل‌سازی شده و المان‌بندی شده مدل مقطع بحرانی

ایده‌آل‌سازی مصالح

فرمول بندی محاسبات تراوش مبتنی بر قانون داریسی برای مصالح ناهمگن در محیط‌های متخلخل است (لاکشمین، ۲۰۰۳). پارامتر اصلی ورودی به مدل در این محاسبات نفوذپذیری افقی و قائم خواهد بود. پهنه‌بندی نفوذپذیری در پی بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی تکمیلی در دوران ساخت مطابق جدول ۲ به مدل تخصیص داده شده است. اما برای بدنه سد فرعی از پارامترهای استفاده شده در مرحله طراحی استفاده شده است (جدول ۳).

جدول ۳ - مشخصات نفوذپذیری بدنه سد اصلی و فرعی بار

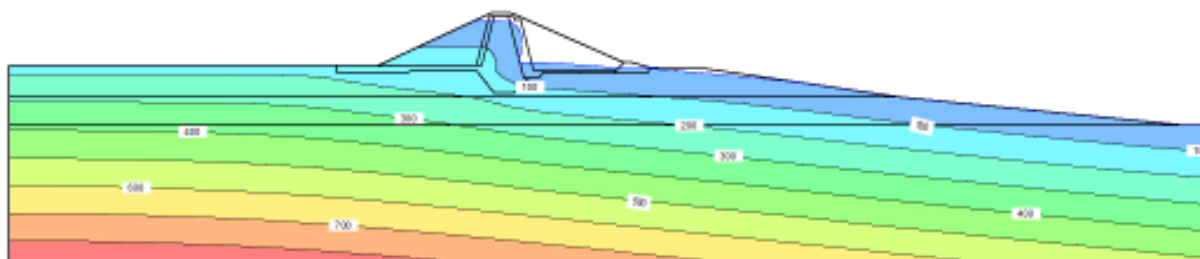
K_y (cm/s)	K_x (cm/s)	
۱	۱	پنجه سنگی
1×10^{-2}	1×10^{-2}	فیلتر و زهکش
4×10^{-4}	$1/6 \times 10^{-3}$	پوسته
1×10^{-6}	5×10^{-6}	هسته و پتوی آب بند

ایده‌ال‌سازی بارگذاری

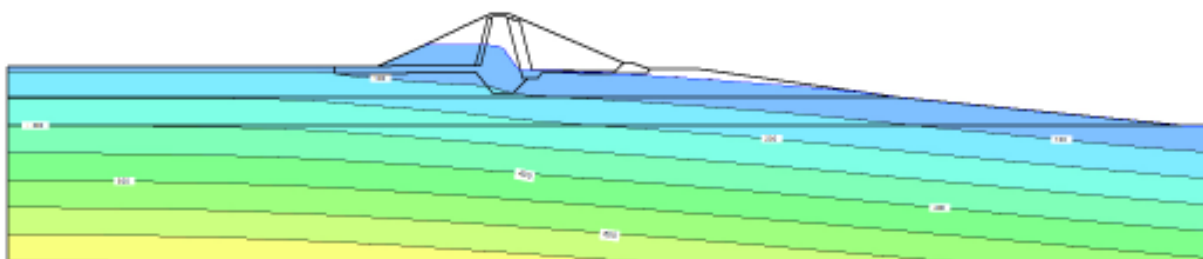
مطالعات هیدرولوژی منطقه و برنامه‌ریزی منابع آب سد نشان می‌دهد (شرکت مشاور آب پوی، ۱۳۸۸) که در حالت ایده‌آل، می‌توان سد را در نیمی از سال در حالت پر و نیمی دیگر در حالت نیمه پر در نظر گرفت. بر این اساس مقطع عرضی برای واحد طول در دو حالت ۱- مخزن نیمه پر و ۲- مخزن پر تحلیل شده است. میانگین دبی عبوری مقطع عرضی در این دو تحلیل، به عنوان دبی عبوری مقطع عرضی دایک محافظتی در واحد طول می‌باشد.

تحلیل تراوش و نتایج

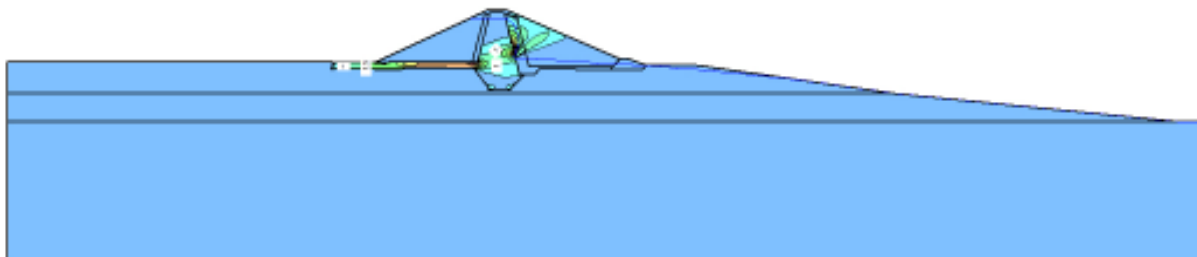
با توجه به مطالعات هیدرولوژی در این پژوهش تحلیل‌های عددی تراوش در حالت پایدار انجام شده است. در این تحلیل، مرزهای هیدرولیکی مدل: (۱) هد متناظر با تراز آب (در حالت پر یا نیمه پر) در وجه بالادست (۲) هد متناسب با قرارگیری آب در سطح رودخانه پایاب است که بر هر دو تحلیل در حالت پر و نیمه پر اعمال شده است. توزیع فشار حفره‌ای در حالت مخزن پر و نیمه پر به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. توزیع گرادیان هیدرولیکی برای این دو حالت در شکل‌های ۸ و ۹ آمده است.



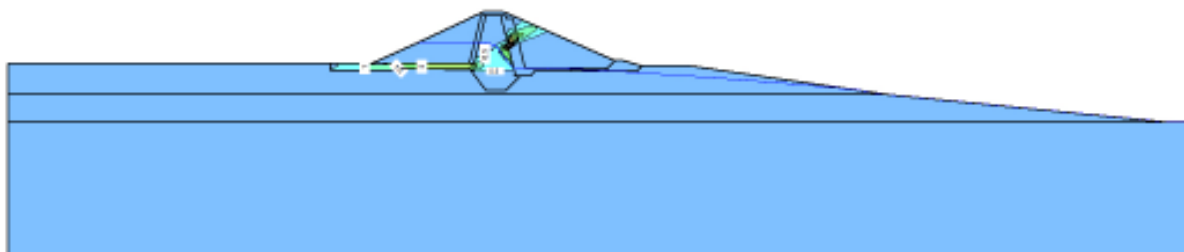
شکل ۶- توزیع فشار حفره‌ای در حالت مخزن پر (کیلو پاسکال)



شکل ۷- توزیع فشار حفره ای در حالت مخزن نیمه پر (کیلو پاسکال)



شکل ۸- توزیع گرادیان هیدرولیکی در حالت مخزن پر



شکل ۹-توزیع گرادیان هیدرولیکی در حالت مخزن نیمه پر

این تحلیل نشان می دهد که میزان دبی عبوری از واحد طول این مقطع در حال مخزن پر ۹×۱۰^{-۶} و در حالت نیمه پر ۵×۱۰^{-۶} مترمکعب بر ثانیه است. با فرض قابلیت اعمال این مقطع در محاسبه نشت بر طول ۱۷۰۰ متری دایک حفاظتی، نشت سالیانه از بدنه و پی این جبهه از مخزن حدود $۳/۷۵$ میلیون مترمکعب (۱۶ درصد حجم مخزن در تراز نرمال) خواهد بود. این میزان چندین برابر مقدار پیش‌بینی شده در مرحله‌ی طراحی است. لذا برای دستیابی به اهداف پروژه، علاج بخشی مخزن برای کاهش نشت از این جبهه الزامی است.

توزیع فشار حفره‌ای (اشکال ۷و۶) حکایت از برخورد سطح فریاتیگ با سطح پی در پایاب دارد که محل اولین تماس در ترازهای بالایی شیب است. این برخورد نشان دهنده‌ی ظهور آب در هنگام آبیگری در سطح شیروانی پی پایاب دایک حفاظتی

است که می‌تواند مخاطراتی نظیر فرسایش سطحی و درونی پایاب پی و حتی بهم زدن پایداری کلی شیب پایین دست دایک محافظتی را به دنبال داشته باشد. هرچند توزیع گرادیان‌های جریان (شکل‌های ۸ و ۹) حکایت از پایین بودن گرادیان‌های خروجی دارد اما با توجه به ناهمگنی محیط در عمل و حساسیت پروژه، در جهت اطمینان اجرای یک طرح مناسب زهکشی به منظور مقابله با فرسایش پی در درجه اول و جمع‌آوری زه خروجی در درجه دوم منطقی به نظر می‌رسد.

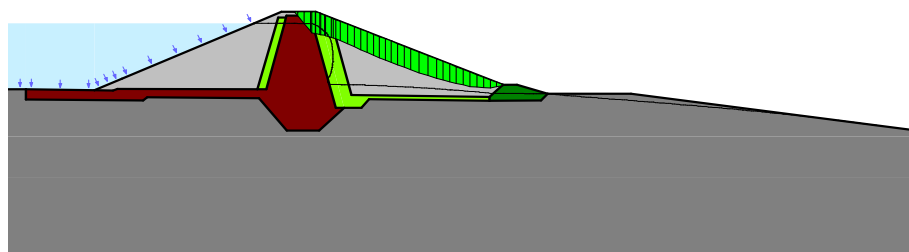
ارزیابی پایداری کلی شیب پایاب دایک محافظتی

بعد از محاسبه میزان تراوش، با توجه به میزان بالآمدگی آب در سطح پی پایاب دایک محافظتی، نگرانی در خصوص پایداری کلی این سازه مطرح گردید. برای ارزیابی میزان ضریب اطمینان پایداری این ناحیه، همان مقطع ایده‌آل شده بحرانی دایک محافظتی در تحلیل تراوش در حال مخزن پر، به روش تعادل حدی بیشاب در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر پارامترهای رفتاری مصالح بدنه و پی (وزن مخصوص مرطوب و اشباع، چسبندگی و زاویه اصطکاک مصالح داخلی) برگرفته از گزارش طراحی طرح است (شرکت مشاور آبپوی، ۱۳۸۹) برای تحلیل مقطع در حالت شبه استاتیکی ضریب زلزله به پیشنهادی سید، ۰/۱۵ گرانث زمین در نظر گرفته شد (سید، ۱۹۷۹) شکل ۱۰ و ۱۱ دوایر بحرانی را در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی نشان می‌دهند. جدول ۴ مقادیر ضریب اطمینان دوایر بحرانی را به همراه مقادیر حداقل مجاز پیشنهادی استاندارد ارتش آمریکا (USBR) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با وجود بالآمدگی تراز آب مخزن، شیب پایاب دارای پایداری کلی است. البته بایستی توجه کرد که در صورت بروز فرسایش درونی پس‌رونده‌ی در پی پایاب (هرچند با توجه به مطالعات تراوش احتمال وقوع آن ناچیز به نظر می‌رسد که اجرای طرحی زهکشی در پایاب سد بر طرف کننده نگرانی خواهد بود) می‌تواند در آینده تعادل مکانیکی محیط را تغییر داده باعث وجود ضعف و ناپایداری کلی آن گردد.

جدول ۴- ضریب اطمینان شیب پایاب پی و بدنه سد فرعی سد بار

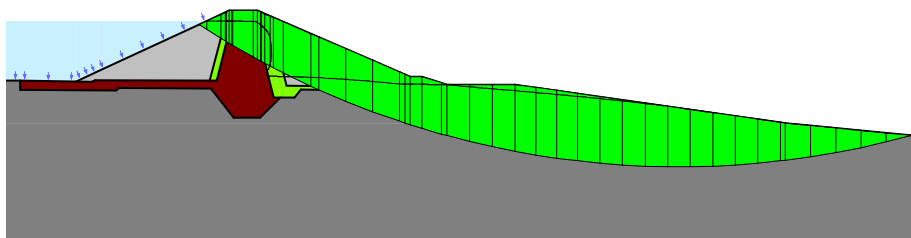
ضریب اطمینان محاسبه شده	شبه استاتیکی	استاتیکی
مجاز	۱/۱۵	۲/۱۲۶

2.167



شکل ۱۰- شیروانی بحرانی پایین دست سد و پی بار در حالت مخزن پر (استاتیکی)

1421



شکل ۱۱- شیروانی بحرانی پایین دست سد و پی بار در حالت مخزن پر (شبه استاتیکی)

۵- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهد:

- ۱- میزان نشست مخزن از پی و بدنه دایک محافظتی حدود ۱۶ درصد حجم کل مخزن است لذا اجرای طرح علاج بخشی برای کاهش نشست از این جنبه ضروری است.
- ۲- با آبیاری مخزن آب در پایاب سد فرعی ظاهر خواهد شد و هرچند گرادیان خروجی آن ناچیز است اما اجرای طرح زهکشی در روی پی پایاب دایک محافظتی در درجه اول برای جلوگیری از فرسایش سطحی پی در اثر جریان آب و در درجه دوم به علت ناهمگنی و عدم قطعیت های محیط برای جلوگیری احتمالی از فرسایش پس روند منطقی است.
- ۳- با وجود بالا آمدگی تراز آب در پی پایاب دایک محافظتی، این پی بر مبنای پارامترهای مقاومتی منظور شده در طراحی پایداری کلی (مکانیکی) دارد اما در صورت بهم خوردن پایداری داخلی آن در اثر فرسایش پس رونده احتمال ناپایداری کلی پی پایاب سد فرعی و به دنبال آن شیب پایاب دایک محافظتی وجود دارد.

منابع

- شرکت مهندسی مشاور آب پوی، (۱۳۸۸)، "گزارش سیمای طرح سد و شبکه آبیاری بار"
- شرکت مهندسی مشاور آب پوی، (۱۳۸۵)، "گزارش نتایج آزمایش های ژئوتکنیکی مخزن سد بار"
- شرکت مهندسی مشاور آب پوی، (۱۳۸۹)، "گزارش نتایج آزمایش های ژئوتکنیکی تکمیلی مخزن سد بار"

Clough, Ray, W. and Zienkiewicz, O.C., (1978), "Finite Element Methods of Analysis and Design of Dams", Bulletin 30, International Commission on Large Dams.

Fernuik, N., and Haug, M. 1990. "Evaluation of in situ permeability testing methods". *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 116(2): 297-311.

GEO-SLOPE International Ltd., (2008), "Seepage Modeling with SEEP/W 2007", Third Edition, Canada
Lakshmin, R.,)2003(, "Seepage in Soils Principles and Applications", John Wiley and Sons inc



کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب

۲۹ و ۳۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ - مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی
19 - 20 May, 2015 - Shahid Beheshti Conf. Center

SEED H.B. (1979). "Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams", *Geotechnique*, Vol. 29, No. 3, pp. 215-263

Zninardic, D., and Piccoli, S. 1995." Field measurements of hydraulic conductivity". Proc., 4th Int.Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, Italy, April 10-12, pp. 489-494.