



آنالیز نشت از پی سد بیدواز اسفراین

حجت میرانی مقدم

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران

رادین اسپندار

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران

چکیده

در این تحقیق پدیده نشت سد بیدواز اسفراین با استفاده از مدل سازی دو بعدی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از نرم افزار seep w از بسته نرم افزاری GEO SLOPE که بر اساس روش اجزاء محدود طراحی شده، یک مدل دو بعدی از پی مرکزی و بدنه سد مذکور تهیه شد. مدل سازی در تراز ۱۵۰۴ مخزن و در یک مقطع سد انجام گرفته و با استفاده از داده های ابزار دقیق سد و نیز میزان نشت در این تراز مدل کالیبره شد. سپس نتایج این مقطع برای کل بدنه و پی مرکزی سد مورد استفاده قرار گرفت. از مدل کالیبره شده برای پیش بینی میزان نشت در ترازهای ۱۵۱۶ و ۱۵۳۰ مخزن استفاده شد. نتایج حاصل از مدل سازی بیانگر این است که میزان نشت که از طریق پی مرکزی و بدنه سد صورت می گیرد، بسیار کم بوده و در مقابل نشت کل ساختمان ناچیز می باشد. بیشترین میزان نشت سد از جناحین سد و مقدار کمی از فضای زیر پرده تزریق عبور می کند. مقادیر نشت پرده در پی مرکزی، خیلی کم و در هسته تقریباً صفر است.

کلمات کلیدی: مدل دو بعدی، سد بیدواز، نشت، ابزار دقیق.

Seepage Analysis Through the Foundation of Esfarayen Bidvaz Dam

Hojat Mirani Moghadam

Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran

Radin Espandar

Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran

In this research Seepage phenomena in Esfarayen Bidvaz dam is considered using a two dimensional flow model. In order to do this the researcher, using the seep w software of GEO SLOPE software package which has been designed on finite element method, has designed a two dimensional model of central foundation and the dam body. The model was made in the water level of 1504 of reservoir and in one section of the dam. Using the instrumentation data and seepage amount of dam, model was calibrated. Then the results of this section were used for the whole dam body and central foundation. Using the calibrated model the seepage amount in 1516 and 1530 water level of reservoir was predicted. the results of the two dimensional model show that the amount of seepage passing through the central foundation and dam body is little and in comparison with total seepage of the dam site is very small. The most amount of the seepage of the dam passes through the banks of the dam and a little amount passes through under grout curtain in central foundation. Seepage passing through the grout curtain in central foundation is very small and the amount that passes through the clay core is approximately zero.

مقدمه

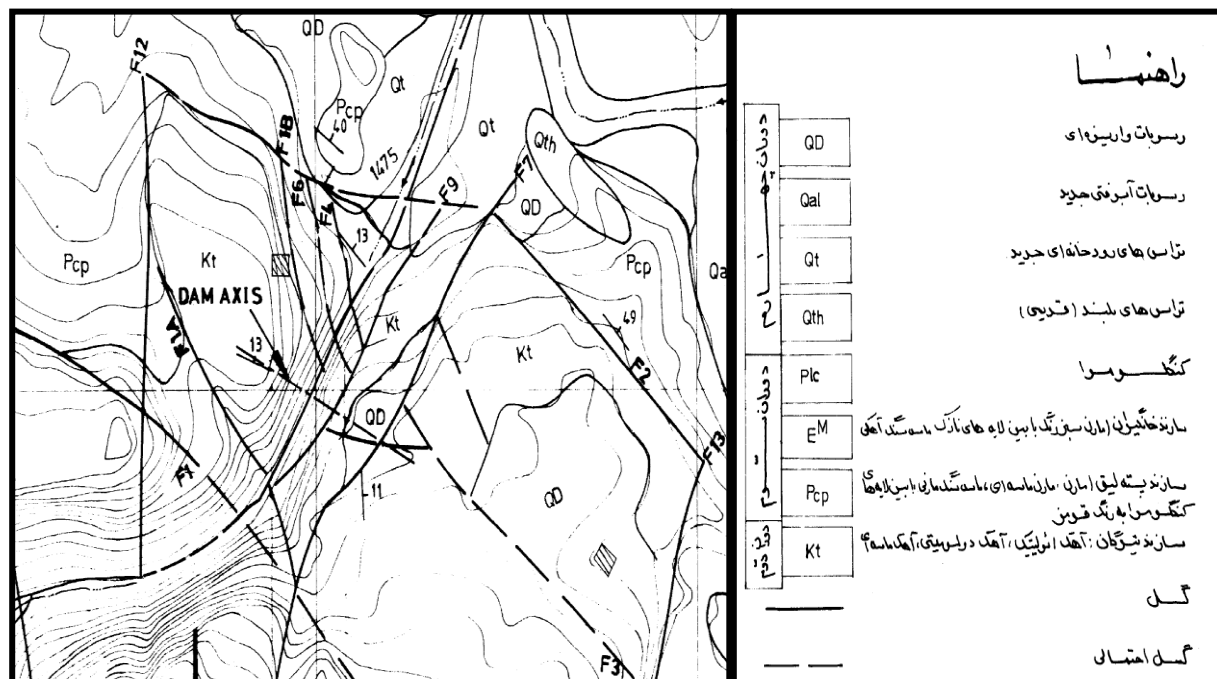
سد بیدواز اسفراین در استان خراسان شمالی در ۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان اسفراین واقع شده است. این سد با ارتفاع ۶۶ متر طول تاج ۱۰۴ متر و عرض تاج ۱۱ متر حجم مفید مخزن حدود ۳۲ میلیون متر مکعب را دارد. سد از نوع خاکی سنگریزه ای با هسته رسی مایل است که بر روی پی آبرفتی قرار گرفته است. تراز نرمال سد ۱۵۳۰ متر می باشد. همزمان با آبگیری سد مقداری نشت آب در محدوده پاشنه سد در پایین دست مشاهده گردید. میزان نشت از تراز ۱۵۰۰ متر مخزن به طور چشمگیری افزایش می یابد. هدف این تحقیق بررسی نشت از پی و بدنه سد مذکور با استفاده از مدل سازی دوبعدی جریان پایدار، پی مرکزی و بدنه سد مذکور می باشد.

زمین شناسی

ساختمان سد بیدواز اسفراین از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران در جنوب منطقه ساختمانی کپه داغ قرار دارد. تکیه گاههای چپ و راست که دیواره های جنوبی مخزن را تشکیل می دهند و نیز پی مرکزی سد از آهک تیرگان به سن کرتاسه پایین تشکیل شده است. لیتولوژی این سازند در ساختمان سد شامل آهک، آهک ائولیتی، آهک

دولومیتی و آهک ماسه‌ای است که میان لایه‌هایی از آهک مارنی نیز در آن دیده می‌شود. از نظر بافت دارای دانه بندی ریز تا متوسط تا بلورین است. شیب طبقات در محدوده سد ۱۰-۱۸ درجه و ضخامت لایه‌ها از چند سانتی متر تا ۲ متر متغیر است. آثار حفرات انحلالی از چند سانتی متر تا یک متر در سطح آنها به چشم می‌خورد. این آهک‌ها دارای درز و شکاف فراوان بوده و چند گسل امتداد آنها را قطع می‌کند. در قسمت‌های غربی و شمالی مخزن بر روی این آهک‌ها واحدهای سنگی پستلیق به سن پالئوسن قرار گرفته است که شامل مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز رنگ است که با یک سطح فرسایشی بر روی آهک‌ها قرار دارند. سنگ‌های مذکور در سطح هوازده و خرد شده هستند و تنها میان لایه‌های ماسه سنگی و کنگلومرای مشخصی دارند. بر روی سازند پستلیق، مارن‌های خاکستری رنگ مایل به سبز سازند خانگیران با سن ائوسن قرار گرفته است که عمدتاً در مرکز مخزن و به سمت دیواره‌های شمالی آن گسترش دارند. جوانترین رسوبات محدوده سد مربوط به عهد حاضر است که شامل رسوبات واریزه‌ای و آبرفت‌های رودخانه‌ای است. رسوبات رودخانه‌ای در رقوم بستر رودخانه و بر روی آهک تیرگان قرار دارند و ضخامت آنها بین ۱۴-۳۷ متر متغیر است و شامل شن و ماسه با مقدار کمی رسوبات ریزدانه است.

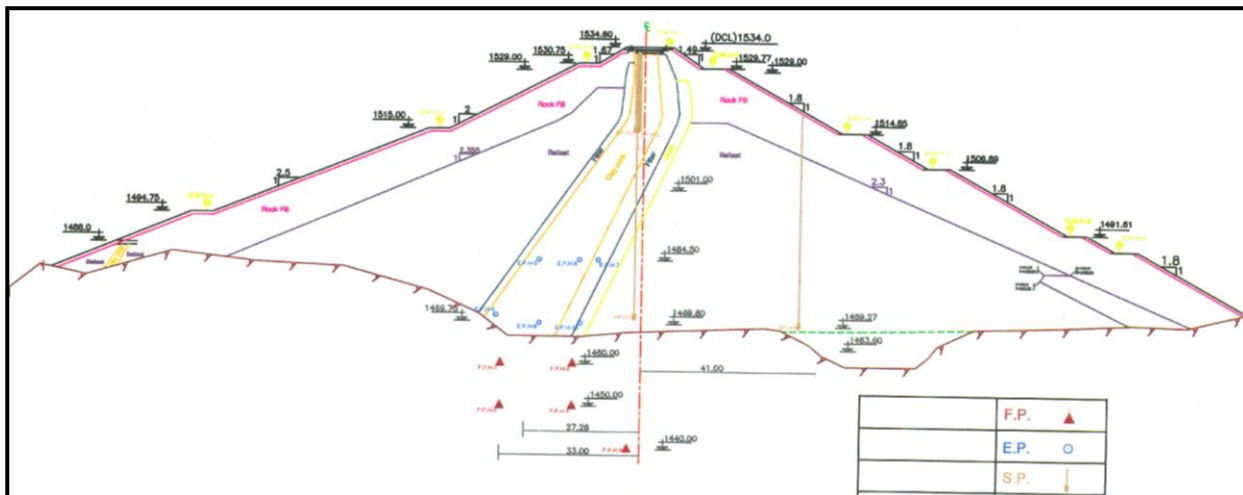
از لحاظ زمین‌ساختی طبقات سنگی تنگه‌ای که سد در آن احداث شده توسط دو دسته گسل با روند کلی شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب قطع شده و جابجایی‌هایی در آن ایجاد شده است. گسل‌های دسته اول در جناح راست و گسل‌های دسته دوم در جناح چپ گسترش دارند. جناح چپ توسط گسل‌های مذکور به صورت پلکانی پایین افتاده و خردشدگی‌های بیشتری نسبت به جناح راست در آن قابل مشاهده است. خود تنگه نیز در اثر گسلی از دسته دوم ایجاد شده است که جابجایی طبقات در دیواره‌های تنگه این مطلب را تایید می‌کند. کلا در محدوده تنگه و دیواره جنوبی مخزن تعداد ۱۴ گسل شناسایی شده (شکل ۱) که عمدتاً نرمال و بعضاً معکوس اند. سه سیستم درز و شکاف نیز در توده سنگی، حاصل از برداشت‌های حین ساخت سازه‌های هیدرولیکی (تونل انحراف و...) شناخته شده است. گسل خوردگی و درز و شکاف در آهک تیرگان باعث ایجاد زون‌های نفوذپذیر در این سازند شده و در نتیجه رشد حفره‌ها در اثر انحلال و شستشوی مواد ریز دانه اتفاق افتاده است. این موضوع باعث افزایش نفوذپذیری این سازند شده است که تشکیل دهنده پی و تکیه‌گاه‌های سد می‌باشد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی سد بیدواز اسفراین (طوس آب مشهد ۱۳۷۶)

مدل سازی بدنه و پی سد بیدواز

با توجه به این که بیشترین تعداد ابزار دقیق در پی مرکزی و بدنه سد بیدواز قرار دارد و در جناحین سد ابزار زیادی (به جز چند چاه مشاهده ای) نصب نشده است، همچنین برای رسیدن به پاسخ این مسئله که نشت سد مربوط به جناحین سد است یا مربوط به پی مرکزی و بدنه سد، مدل دوبعدی از پی مرکزی و بدنه سد بیدواز تهیه شد. کیفیت و وضعیت توده سنگ در سه قسمت مختلف پی سد متفاوت بوده و عملکرد عوامل ساختاری نیز در سه قسمت پی یکسان نیست بنابراین تهیه مدل دو بعدی از پی مرکزی و بدنه سد، به دلیل هموزنیته بیشتر مصالح پی مرکزی نسبت به مصالح کل پی سد نتایج دقیق تری ارائه می دهد. رفتار ابزارهای سه مقطع پی سد مذکور تقریباً شبیه به هم بوده و مقدار هد پیرومترهای پی در سه مقطع نیز با یکدیگر اختلاف زیادی ندارد. بنابراین مدل سازی در یک مقطع انجام شد و برای کل پی مرکزی نتایج مدل در همین مقطع ارائه گردید. مدلسازی از پی مرکزی و بدنه سد بیدواز در مقطع H-H (شکل ۲) انجام گرفت. این مقطع به این دلیل انتخاب شده که بیشترین نتایج ابزار را دارد و این باعث می شود واسنجی مدل بهتر انجام گیرد. همچنین این مقطع در مجاورت تکیه گاه چپ قرار دارد که بیشترین احتمال نشت در آن وجود دارد. مدلسازی برای تراز ۱۵۰۴ مخزن انجام گرفت. مخزن سد در تاریخ ۱۳۸۶/۱/۹ به این تراز رسیده است. میزان نشت در این تراز ۱۲/۵ لیتر بر ثانیه بوده است. آنالیز نشت در حالت پایدار صورت گرفت. مدل نشت برای این تراز تهیه و با توجه به نتایج ابزارها و مقدار نشت کالیبره شد سپس از مدل کالیبره شده برای پیش بینی میزان نشت در ترازهای ۱۵۱۶ (حداکثر تراز آبگیری مخزن تاکنون) و ۱۵۳۰ (تراز نرمال مخزن) استفاده شد.



شکل ۲- مقطع عرضی H-H سد بیدواز اسفراین (طوس آب مشهد ۱۳۸۵)

فرضیات مدل سازی

برای مدل سازی سد مذکور فرضیات زیر در نظر گرفته شده است.

جریان دو بعدی در نظر گرفته شده است.

برای انجام آنالیز نشت، جریان پایدار استفاده شده است.

مقطع عرضی H-H برای مدل سازی دو بعدی انتخاب گردید. ضخامت آن واحد در نظر گرفته شده و خصوصیات این ناحیه برای کل طول سد یکسان در نظر گرفته شده است.

مصالص مورد استفاده برای هر قسمت، همگن می باشند.

هندسه مدل

همانطور که قبلا گفته شد مدل سازی در مقطع H-H صورت گرفت. این مقطع از ۸ بخش مختلف شامل پی

سنگی، پرده تزریق، تزریق تحکیمی، هسته سد، پوسته، فیلتر، زهکش و لایه های محافظتی تشکیل شده است (شکل

۳). لایه های بدنه سد براساس نقشه مقطع مذکور طراحی و المان بندی شد. لایه سنگی پی بر اساس مقاطع زمین-

شناسی موجود و لایه پرده تزریق بر اساس نقشه چین ساخت آبنندی پی و نقشه پلان تزریق آبنندی و تحکیمی پی،

طراحی و المان بندی شد. برای ساختن مش از المان های چهار ضلعی و مثلثی استفاده شده است. حداکثر عمق پرده

تزریق ۷۵ متر تعیین شده است. ضخامت آن نیز ۴ متر در نظر گرفته شده است. عمق سنگ کف ۱۰۸ متر در نظر

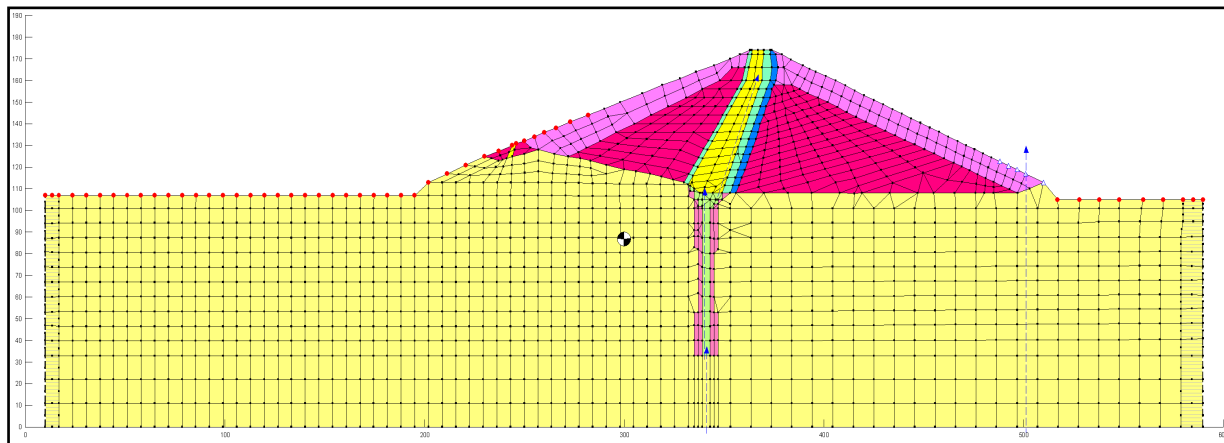
گرفته شد. تزریق تحکیمی نیز در زیر هسته اعمال شد. در دو طرف پرده تزریق یک زون تدریجی در نظر گرفته شد)

شکل ۳). مطابق این شکل ضخامت این زون از زیر هسته تا عمق ۲۵ متری معادل ۴ متر، از عمق ۲۵-۵۵ متری

معادل ۲ متر و از عمق ۵۵ متر به بعد ۴ متر در نظر گرفته شد. نفوذپذیری این زون حدواسط بین دو لایه سنگ پی و

پرده تزریق می باشد. دلیل انتخاب چنین محدوده ای نفوذ دوغاب سیمان در اطراف پرده در مقاطع فوق الذکر می

باشد. ضخامت این زون بر اساس داده های نقشه چین ساخت آبنندی پی سد تعیین شده است.



شکل ۵-۱ هندسه مدل تهیه شده برای سد بیدواز در مقطع H-H

شکل ۳ هندسه مدل تهیه شده برای سد بیدواز در مقطع H-H

خصوصیات مصالح بدنه سد

برای بدنه سد ۵ نوع مصالح در نظر گرفته شده است. مقادیر اولیه نفوذپذیری آن‌ها بر اساس پیش بینی‌های طراحی و ساخت سد بوده است که در حین واسنجی مدل مقدار بعضی از نفوذپذیری‌ها تغییر کرد. این مصالح در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. میزان نفوذپذیری برای هر کدام از مصالح بدنه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ خصوصیات مصالح بدنه سد

نوع مصالح	میزان نفوذپذیری	نسبت نفوذپذیری افقی به قائم
هسته	1×10^{-9}	۱
خاکریز	6×10^{-6}	۲
فیلتر	9×10^{-6}	۱۰
زهکش	5×10^{-3}	۱۰
سنگ ریز	1×10^{-1}	۱

خصوصیات مصالح پی سد

برای پی سد ۳ نوع مصالح در مدل وارد شده است. این مصالح شامل پی سنگی (آهک تیرگان)، پرده تزریق و زون تدریجی بین این دو می باشد. میزان نفوذپذیری برای پی سنگی بر حسب متر بر ثانیه با توجه به این که لوژان

متوسط معادل ۶۰ برآورد شده است از رابطه زیر که برای گمانه های با قطر ۷۶ میلی متر ارائه شده است محاسبه شد (Milanovic, 2004).

$$K = 1.3 \times 10^{-7} \text{ Lu}$$

میزان نفوذپذیری برای پی سنگی بر طبق این فرمول 78×10^{-7} متر بر ثانیه بدست آمد. برای پرده تزریق که متوسط لوژان ۲ فرض شد، میزان نفوذپذیری $2/6 \times 10^{-7}$ محاسبه و در مدل اعمال شد. بعد از واسنجی مشخص شد که نفوذپذیری سنگ پی بیشتر از مقدار فرض شده است. جهت نفوذپذیری اصلی در سنگ پی برابر ۷ درجه در نظر گرفته شد که در جهت لایه بندی سنگ آهک، فرض شد. خصوصیات این مصالح بعد از واسنجی مدل در جدول ۲ آمده است. تمامی مصالح بدنه و پی سد همگن فرض شده اند.

جدول ۲ خصوصیات مصالح پی سد

نوع مصالح	میزان نفوذپذیری	نسبت نفوذپذیری در راستای لایه بندی به عمود بر لایه بندی
پی سنگی	$1/35 \times 10^{-4}$	۵۰
پرده تزریق	1×10^{-7}	۱۰
زون تدریجی اطراف پرده	1×10^{-6}	۵۰

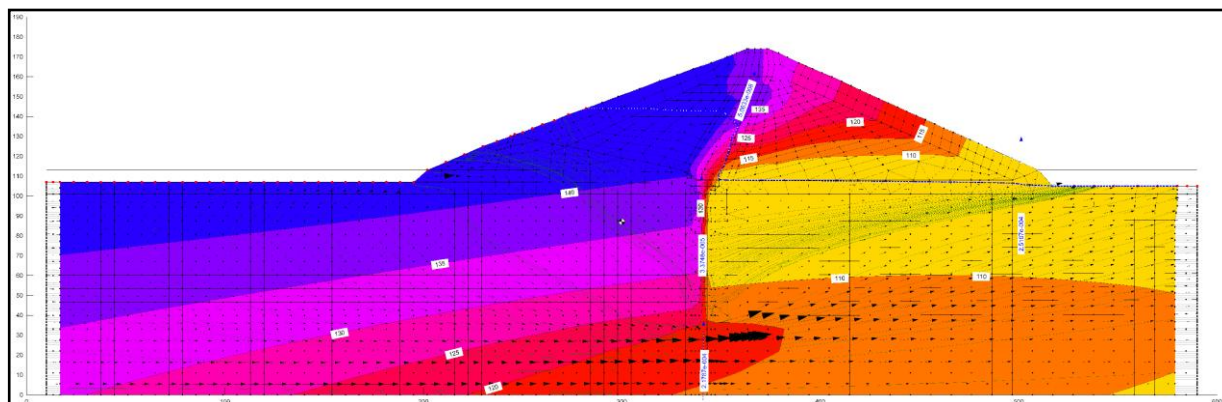
شرایط مرزی تعیین شده برای مدل

مرز با هد ثابت ۱۵۰۴ برای مخزن سد در نظر گرفته شد. برای پایین دست سد نیز هد ۱۴۶۵ برابر با ارتفاع زهکش پایین دست، تعیین شد. مرز شیب پایین دست بدنه به عنوان مرز Seepage face تعیین شد، مرزی که خطوط جریان بر آن مماس شده و مقدار جریان از آن تقریباً مساوی صفر است. مرزهای دو طرف سنگ پی مرز نامحدود در نظر گرفته شد. بقیه مرزها بدون جریان فرض شدند و مدل برای این شرایط آنالیز شد. مدل با توجه به نتایج پیرومترهای نصب شده در این مقطع و مقدار نشت ۱۲/۵ لیتر بر ثانیه واسنجی شد، تا حدی که اختلاف بین هد اندازه گیری شده در ابزارها و هد محاسبه شده توسط مدل به کمترین مقدار خود برسد (جدول ۳). نتایج مدل کالیبره شده در این تراز در شکل ۵-۲ آمده است. از این مدل کالیبره شده برای بررسی میزان نشت در ترازهای ۱۵۱۶ و ۱۵۳۰ استفاده شده است.

نتایج مدل سازی در تراز ۱۵۰۴

نتایج حاصل از مدل واسنجی شده در شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود میزان نشت کلی در این تراز برابر ۰/۲۵ لیتر بر ثانیه در یک متر طول پی می باشد. بیشترین میزان نشت از فضای زیر پرده تزریق عبور می کند. مقادیر نشت پرده و هسته ناچیز می باشد. طول پی مرکزی سد حدود ۵۰ متر می باشد که در صورت یکسان

فرض کردن شرایط در کل طول پی میزان کل نشت از پی و بدنه سد برابر $12/5$ لیتر بر ثانیه خواهد بود. با توجه به این که در مدل کالیبره شده میزان نشت پرده تزریق و هسته ناچیز می باشد عملکرد این قسمت ها مناسب می باشد.



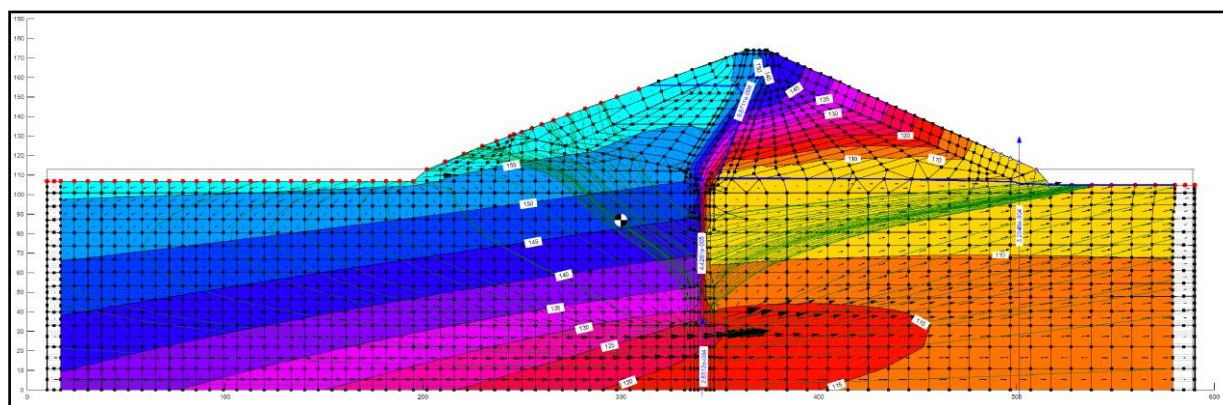
شکل ۴ نتایج مدل واسنجی شده برای تراز 1504 مخزن با ارتفاع پایه 1360

پیش بینی میزان نشت برای ترازهای 1516 و 1530 مخزن

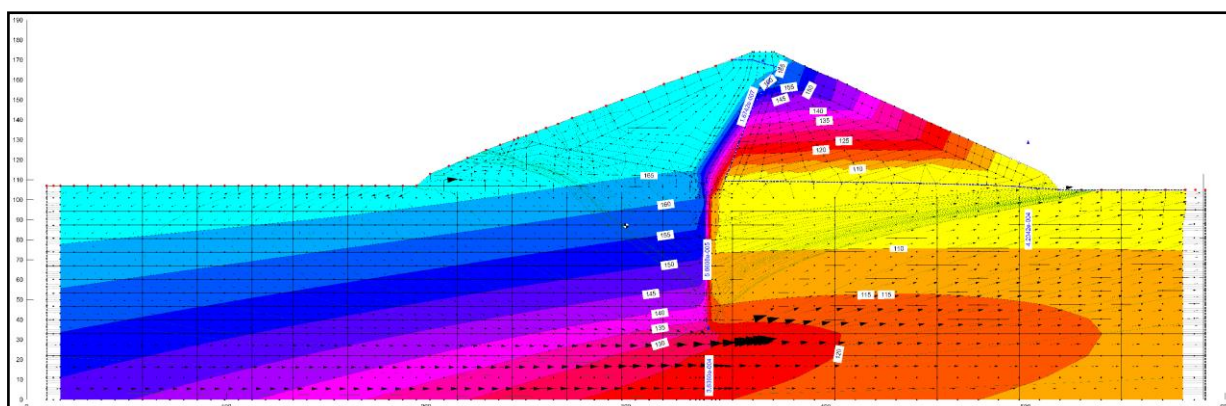
با اعمال شرایط مرزی هد 1516 و 1530 در بالادست مدل کالیبره شده آنالیز نشت از پی و بدنه سد در این تراز ها صورت گرفت. شکل ۵ نتایج آنالیز را برای تراز 1516 مخزن نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود میزان نشت در این تراز برابر $0/33$ لیتر بر ثانیه در یک متر طول سد می باشد. میزان نشت از کل پی سد برابر $16/5$ لیتر بر ثانیه خواهد بود. اندازه گیری های میزان نشت در تراز 1516 مخزن، در زهکش های پایین دست سد مقدار نشت 136 لیتر بر ثانیه را نشان می دهد. نتایج مدل بیانگر این است که از این میزان نشت تنها $16/5$ لیتر مربوط به پی مرکزی سد می باشد و بقیه مقدار نشت مربوط به تکیه گاه های سد می باشد. ملاحظه می شود که میزان نشت از پی مرکزی سد در مقابل نشت جناح ها ناچیز می باشد. تراز نرمال مخزن سد بیدواز 1530 متر می باشد و تاکنون سد مذکور تا این تراز آبگیری نشده است. شکل ۶ نتایج آنالیز نشت در تراز نرمال این سد را نشان می دهد. مشاهده می شود که مقدار نشت از پی و بدنه سد در این تراز برابر $0/42$ لیتر بر ثانیه در هر متر طول سد خواهد بود. مقدار کل نشت برابر 21 لیتر بر ثانیه در کل پی سد خواهد بود. با توجه به نتایج مدل میزان نشت از پی مرکزی سد ناچیز بوده و نشتی های مشاهده شده در پایین دست سد مربوط به پی نمی باشد. با توجه به نتایج مدل و ابزار دقیق عملکرد پرده تزریق پی مرکزی و هسته سد مناسب ارزیابی شده و انتظار می رود میزان تراوش از این بخش از ساختگاه و بدنه سد ناچیز باشد.

جدول ۳ مقادیر هد محاسبه ای توسط مدل و مشاهده ای برای پیزومترهای مقطع H-H در ترازهای ۱۵۰۴ و ۱۵۱۶ مخزن

هد محاسبه شده در تراز ۱۵۱۶	هد مشاهده شده در تراز ۱۵۱۶	هد محاسبه شده در تراز ۱۵۰۴	هد مشاهده شده در تراز ۱۵۰۴	ابزار
۱۵۰۷	۱۵۰۷	۱۴۹۶	۱۴۹۵	FPH1
۱۴۶۸/۴	۱۴۶۸/۵	۱۴۶۷	۱۴۶۶/۲	FPH4
۱۵۱۰	۱۵۱۱	۱۵۰۰	۱۵۰۰	EPH8



شکل ۵ نتایج مدل واسنجی شده برای تراز ۱۵۱۶ مخزن با ارتفاع پایه ۱۳۶۰



شکل ۶ نتایج مدل واسنجی شده برای تراز ۱۵۳۰ مخزن با ارتفاع پایه ۱۳۶۰

نتیجه گیری

نتایج مدل سازی پی مرکزی و بدنه سد بیانگر این مطلب است که میزان نشت پی مرکزی و بدنه سد در مقایسه با کل نشت کل سد ناچیز بوده و قسمت اکثر نشت سد مربوط به جناحین سد می باشد. در پی مرکزی عملکرد پرده تزریق و دیواره آببند مناسب بوده و مقدار نشت پرده بسیار کم می باشد. همچنین عملکرد هسته سد نیز خیلی خوب بوده و میزان نشت هسته تقریباً صفر می باشد. از میزان نشت ناچیزی که از پی مرکزی سد عبور می کند، قسمت اکثر آن از فضای زیر پرده تزریق عبور می کند.

تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان شمالی مخصوصاً کمیته تحقیقات این شرکت که حمایت مالی این پژوهش را بر عهده داشتند تشکر نمایند.

مراجع

- رجبعلی نژاد، م.، (۱۳۸۰) بررسی مسئله تراوش سد آبهینه و روش های کنترل آن، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، (۱۳۷۶) گزارش عملیات حفاری و ژئوتکنیک سد بیدواز اسفراین.
- شرکت مهندسی مشاور طوس آب مشهد، (۱۳۷۶) آلبوم نقشه های زمین شناسی سد بیدواز اسفراین.
- شرکت مهندسی مشاور طوس آب مشهد، (۱۳۷۸) گزارش زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی سد بیدواز اسفراین، ۱۰۹ صفحه.
- Anderon, M. P. and Woessner, W., (1992) Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport. Harcourt Brace Jovanovich.
- Milanovic, P. T. (2005) *Water Resources Engineering in Karst*. Routledge . 340 P.
- Romanov, D. and Gobrovsek, F., 'Leakage Below Dam Sites in Limestone Terrains by Enhanced Karstification: a Modeling Approach', *Enviro Geol* (2007) 51: 775-779.
- SEEP/W for Finite Element Seepage Analysis Users Guide Version 5, GGeo-SLOP international Ltd (2002).