تحلیل نشت مخزن ذخیرهٔ آب نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سد آزاد و گزینش روش بهینه آب‌بندی

هادی معینی رودبالی[۱] *؛ همایون کتیبه[۲]؛ ایرج گلابتونچی[۳]

چکیده

بررسی فرار آب از مخزن بالایی دست نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سد آزاد کردستان، یکی از عوامل مهم و اثرگذار در آب‌بندی مخزن است. در این تحقیق با توجه به مقدار نفوذپذیری دیواره‌ها و کف مخزن که از آزمایش‌های لوژن به دست آمده، میزان نشت آب به چند روش محاسبه شده است. نتایج معادله تحلیلی ودرنیکف، روش عددی المان محدود (نرم‌افزار SEEP/W)، مقدار کل نشت آب از مخزن مورد نظر را در حالت جریان پایدار، به ترتیب برابر با ۱۱۲۶۰۰، ۱۱۵۵۰۰ متر مکعب در روز نشان داده‌اند. در روش عددی المان مجزا (نرم‌افزار UDEC) میزان نشت در لحظات آغازین جریان نشت در حالت جریان ناپایدار ۱۷۰۰۰۰۰ متر مکعب بر روز برآورد شد. این مقدار نشت که مقداری قابل ملاحظه است. با گذشت زمان از دبی نشت کاسته شده و این دبی به دبی حالت پایدار یعنی ۱۱۲۴۰۰ متر مکعب در روز نزدیک می‌شود. در شبیه‌سازی سه بعدی مخزن، از نرم‌افزار Seep/3D استفاده شد که مقدار نشت کلی آب در حالت پایدار را در حدود ۱۱۸،۰۰۰ متر مکعب (معادل ۳ درصد از حجم کل) در روز نشان داد. با در نظر گرفتن نتایج بدست آمده از محاسبات نشت، احداث المان آب‌بند برای جلوگیری از فرار آب از مخزن ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، پس از بررسی جنبه‌های فنی و اقتصادی روش‌های آب‌بندی، روش بهینه آب‌بندی به کمک ژئوممبرین با صرف هزینه‌ای معادل ۲۰میلیارد ریال پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدي : نیروگاه تلمبه ذخیره ای سد آزاد، آنالیز نشت، SEEP/W ،Seep/3D، UDEC، روش‌های آب‌بندی

Upper Reservoir Seepage Analysis of Azad Dam Pumped Storage Power Station and Selecting the Best Sealing Method

H. Moeini; H. Katibeh; I. Golaabatoonchi

ABSTRACT

Seepage analysis in the upper reservoir of the Kurdistan Azad pumped storage dam with a volume of 3800000 cubic meter is an important and effective parameter for selecting of the optimized sealing method. More than 60% of the Lugeon test results show very permeable behavior. In order to calculate seepage discharge from the reservoir with no sealing element, analytical and numerical methods are used. Results of the analytical method and finite element numerical method (SEEP/W software) shown the amount of the seepage discharge in steady state flow is equal to 112600 and 11500 m3/day, respectively. Unsteady state numerical method (UDEC software) showed initial seepage discharge about 1700000 m3/day, decreasing to 112400m3/day while approaching to steady state conditions. 3D seepage modeling using Seep3D software shows about 118000 m3/day seepage discharge, means 3% of the total reservoir volume. Analysis show the necessity of sealing in the reservoir. After feasibility study, the geomembrane method was suggested as the best sealing method with the implementation cost of 20 billion Rls.

KEYWORDS

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸۹/۲/۴

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۳/۱۷

[۱] *نویسنده مسئول ودانشجوی کارشناسی ارشداکتشاف معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ Moeini.hadi@gmail.com

[۲] عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن،متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛katibe@aut.ac.ir

[۳] رئیس هیات مدیره شرکت مهندسی مشاور عمران فرآب

۱- مقدمه

ذخیرهٔ آب در مخازن مصنوعی باید براساس راندمانی قابل قبول انجام پذیرد. تلفات آب از این مخازن ممکن است به دلایل گوناگون بخصوص مسائل ژئوتکنیکی سنگ بستر باشد [۱]. در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، آب از مخزن پایین‌دست به مخزن بالادست پمپاژ می‌شود، تا انرژی برق در ساعات کم مصرف، به شکل انرژی پتانسیل در آب ذخیره شده و سپس با تخلیه آب از مخزن بالادست به سمت مخزن پایین‌دست و با عبور از توربین‌های نیروگاه برق‌آبی در ساعات اوج مصرف، برق تولید شده به شبکه سراسری برق منتقل شود [۲]. بنابراین با توجه به صرف هزینه، و ارزشی که آب پمپاژ شده خواهد داشت، بررسی میزان نشت آب از مخزن بالادست و جلوگیری از فرار آب به کمک روش‌های گوناگون آب‌بندی، اهمیت بسیاری دارد.

در این مطالعه ابتدا مقدار فرار آب و رفتار کلی آن در ساختگاه مخزن بالادست سد و نیروگاه آزاد سنندج، بدون در نظر گرفتن المان آب‌بند و با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی بررسی شده و نتایج آنها مقایسه شده‌اند. سپس با معرفی روش‌های معمول در آب‌بندی مخازن و با بررسی‌های فنی و اقتصادی هر روش در این مورد مطالعاتی، روش بهینه آب‌بندی پیشنهاد گردید.

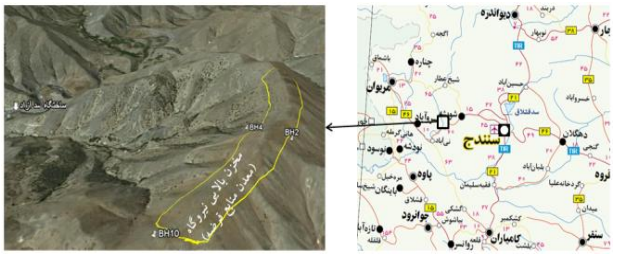
۲- معرفي پروژه

نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سد آزاد کردستان در ۷۵ کیلومتری غرب سنندج واقع شده است. این سد که از جاده سنندج – مریوان قابل دسترسی است، با هدف کنترل سیلاب‌ها و تنظیم آب‌های جاری، تامین آب شرب و کشاورزی منطقه احداث شده است. سد آزاد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی بوده که در طرح اولیه دارای تاجی به طول ۶۰۰ متر، عرض ۱۲ متر و ارتفاع ۱۲۵ متر در نظر گرفته شده است. برای تامین بخشی از مصالح سنگی مورد نیاز، معدن سنگی در شمال‌غربی سایت سد، به عنوان منبع قرضه در نظر گرفته شد (شکل۱). محل معدن روباز[1] به شکلی انتخاب شده که در محدوده ماسه سنگ‌ها به شکل یک پیت با عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متر، عرض متوسط ۲۰۰ متر و طولی در حدود ۱۰۰۰ متر قرار می‌گیرد. حجم تقریبی این مخزن ٤ میلیون مترمکعب گزارش شده است [۳]. استخراج سنگ از این معدن طبق طرح اولیه، برای دستیابی به دو دلیل اصلی خواهد بود:

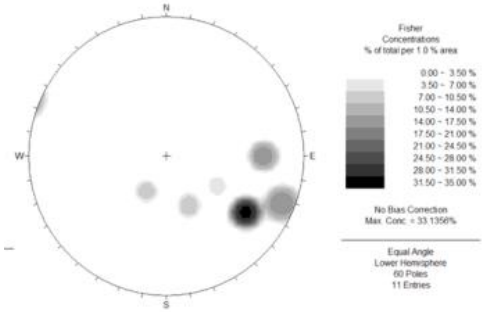
الف: تامین منابع قرضه مورد نیاز بدنه سد آزاد

ب: استفاده از پیت معدنی بر جای مانده به عنوان مخزن بالا دست مخزن سد.

محدوده موردنظر مخزن بالادست سد آزاد از نظر واحدهای ساختمانی زمین‌شناسی در ناحیهٔ سنندج-سیرجان واقع شده که از لحاظ لیتولوژی شامل سنگ‌های رسوبی از نوع ماسه سنگ و کنگلومرا و شیل است. بیش‌ترین قسمت این معدن (منبع قرضه) در بخش ماسه سنگی و بخش کوچکی از آن در توده‌سنگ‌های شیلی و کنگلومرایی قرار می‌گیرد. گسل عمده‌ای از محدودهٔ معدن عبور نمی‌نماید ولی گسل‌های موضعی و محلی، پیت معدنی را قطع می‌کنند. به طور کلی می‌توان گفت که توده‌های ماسه سنگی محدودهٔ مورد مطالعه درزه‌دار بوده و درجه شکستگی آنها در نقاط مختلف با گستردگی‌های متفاوت، بسیار متغیر است [۳]. سه دسته درزه اصلی در منطقه برداشت شده که با توجه به میزان بازشدگی، همگی دارای پتانسیل آب‌بری هستند. مشخصات این درزه‌ها به همراه رزدیاگرام آنها در شکل (۲) دیده می‌شود.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به سد آزاد و نمای سه بعدی ساختگاه سد و منبع قرضه [۱]



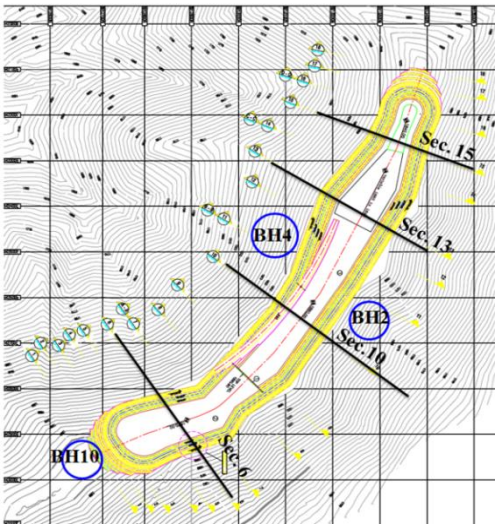
شکل (۲): تمرکز شیب و راستای شیب درزه‌ها بر روی صفحه استریونت [۱]

۳- تحلیل نشت

برای برآورد میزان نشت در روش‌های موردنظر، در طول مخزن، ٤ مقطع در نظر گرفته شد و یا به عبارتی، مخزن به چهار بخش تقسیم شد. ملاک انتخاب بخش‌های گفته شده، تغییر در تراز ارتفاعی کف پیت بوده است زیرا کف مخزن دارای یک سطح مسطح نیست. به همین دلیل تحلیل‌ها در چهار حالت برای ترازهای ارتفاعی کف مخزن (یعنی ترازهای ۱۸٤۰، ۱۸۵۰،

۱۸۶۰، ۱۸۷۰ برای کف پیت در حالیکه تراز بالایی مخزن در ارتفاع ۱۹۰۰ متری قرار دارد) انجام شد. در شکل (۳) محل این مقاطع به همراه محل گمانه‌هایی که در آن‌ها آزمایش لوژن انجام شده (گمانه های ۲، ٤ و ۱۰)، مشخص شده است. نتایج آزمایش‌های لوژن انجام گرفته بر روی سه گمانه حفر شده در محدوده مخزن، در شکل (٤) ارائه شده است. چنانکه پیداست در حدود ٦۰ درصد از مقاطع آزمایش لوژن، مقادیرلوژن بیش از ۳ لوژن بوده و در ۲۱ درصد از مقاطع مقدار آبخوری بسیار زیاد بوده است. این امر گواهی بر وجود نواحی خردشده و به شدت تراوا در دیواره‌ها و کف مخزن بوده و نشان دهندهٔ وجود پتانسیل بالای فرار آب از مخزن مورد نظر است. بنابراین لازم است که ضمن انجام محاسبات نشت آب، در مورد آب‌بندی این مخزن نیز مطالعات مناسب در دستور کار قرار گیرد [۱].

در انجام محاسبات مربوط به نشت در روش‌های مختلف تحلیل نشت، عامل نفوذپذیری نقشی اساسی دارد. در کل محدوده، فقط از ۳ گمانه آزمایش لوژن گرفته شده و بنابراین به دلیل کمبود اطلاعات مربوط به عامل نفوذپذیری، محاسبات در دو حالت بیشینهٔ لوژن و متوسط مقادیر لوژن حاصل از آزمایش‌های لوژن انجام شد. به عبارتی یک بار نفوذپذیری معادل محیط، برابر $۱/۳\times۱۰^{-۵}$ متر بر ثانیه و یک بار برابر $۵/۶\times۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه – به ترتیب معادل ۱۰۰ و ٤۳ لوژن– در نظر گرفته شد.



شکل(۳): نمای کلی از مخزن بالادست، گمانه‌های آزمایش لوژن و مقاطع درنظر گرفته شده در محاسبه نشت [۱]

شکل (۴): نتایج آزمایش لوژن در سه گمانه ۲، ۴ و ۱۰ [۱]

در ادامه با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی، مقدار نشت، بدون در نظر گرفتن المان آب‌بند برای مخزن، محاسبه شده و سپس میزان اثر روش‌های آب‌بندی در مخزن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- روش تحلیلی ودرنیکف

ودرنیکف[۲]، روش حلی تحلیلی برای محاسبه میزان نشت از کانال‌های با اشکال گوناگون و شرایط جریان پایدار آزاد در محیط همگن ارائه داده است [۴]. مقدار نشت جریان آزاد و پایدار در کانالی در محیط همگن همسانگرد و با گسترش نامحدود در شرایطی که سطح ایستابی آب زیرزمینی بسیار پایین باشد، به کمک فرمول ۱ بیان می‌شود [۵]:

$$q_s = ky(A + W/y) \qquad (۱)$$

در به کارگیری این فرمول، مقطع مخزن معادل مقطعی از یک کانال فرض می‌شود که در یک محیط پیوسته ساخته شده است. برآورد میزان نشت در مقاطع گفته شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

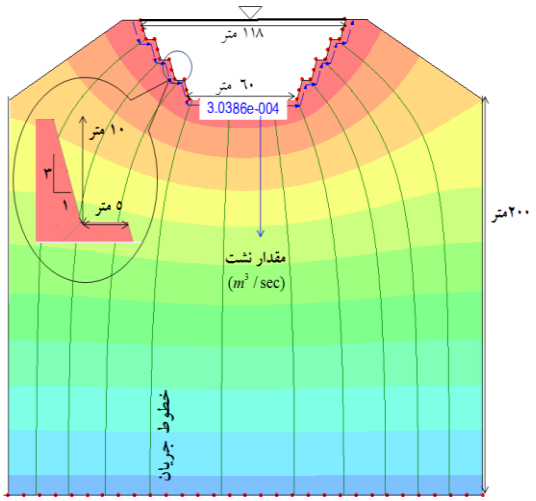
۳-۲- روش‌های عددی:

روش‌های عددی مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از: روش عددی المان محدود[۳] (نرم‌افزار SEEP/W و نرم‌افزار Seep/3D) و روش عددی المان مجزا[٤] (UDEC).

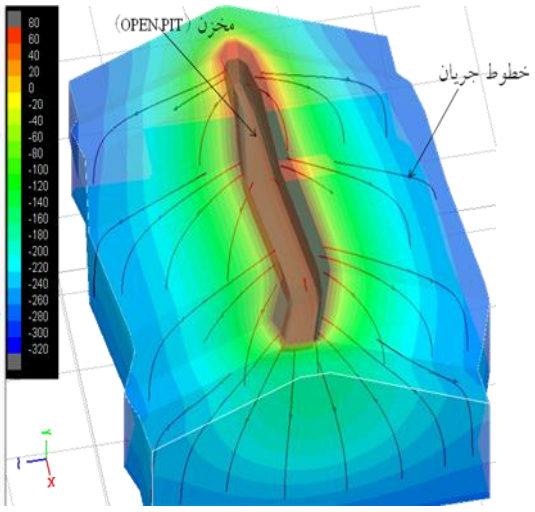
الف: Seep/w و Seep3D: در به کارگیری این نرم‌افزارها فرض پیوسته بودن محیط الزامی است. ابعاد مقطع شماره ۱۰ مخزن و نمای سه‌بعدی ساده از کل مخزن به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. در مطالعات اولیه زمین‌شناسی و همچنین در گمانه‌های مطالعاتی هیچگونه آب زیرزمینی دیده نشده است. بنابراین در همه روش‌های عددی تحلیل نشت، سطح آب زیرزمینی ۲۰۰ متر پائین‌تر از کف پیت فرض شده است. تحلیل نشت در Seep/w به صورت دوبعدی و در Seep3D به صورت سه‌بعدی انجام شده است. نتایج در

جدول (۲) دیده می‌شود.

ب- UDEC: برای مدل‌سازی درزه‌ها و ناپیوستگی‌های موجود در ساختگاه مخزن از نرم‌افزار المان مجزای UDEC استفاده شد تا تحلیلی دقیقتر دربارهٔ نشت آب از مخزن انجام شود. عوامل ژئومکانیکی لازم برای شبیه‌سازی ناپیوسته این مخزن در جدول (۱) آورده شده است. ابتدا طرح کلی منطقه طبق شکل (۷) ساخته شد. پس از شبیه‌سازی حفاری پله‌به‌پله معدن (مرحله مکانیکی)، مخزن ایجاد شده مورد آبگیری قرار گرفت (مرحله هیدرولیکی).



شکل (۵): شبیه‌سازی جریان نشت در مقطع شماره ۱۰ مخزن توسط نرم‌افزار Seep/w [۱]



شکل (۶): نمای سه‌بعدی از مخزن و خطوط جریان نشت در نرم‌افزار Seep3D [۱]

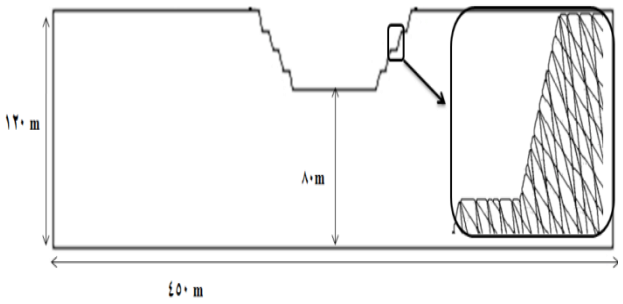
در شکل (۸) آخرین پله پیت (مخزن)، درزه‌ها و جریان آب موجود در درزه‌ها به کمک بردارهای جریان که نشان‌دهنده راستای جریانند، نمایش داده شده است. گفتنی است که نرم‌افزار UDEC برای انجام محاسبات، نیازی به عامل نفوذپذیری ندارد بلکه با ارائه مشخصات درزه‌داری توده سنگ، نرم‌افزار مسئله نشت را حل می‌نماید و مقدار دبی آب عبوری از مخزن را محاسبه می‌کند.

با توجه به بزرگی طرح و نیز با وجود درزه‌داری بسیار زیاد با فاصله‌داری کم (۱ متر) در منطقه مورد مطالعه، در شبیه‌سازی مخزن، اجرای برنامه UDEC به زمان بسیار زیادی نیاز دارد. بنابراین فقط در مقطع شماره ۱۰ به انجام محاسبات نشت پرداخته شده است.

جدول (۱): ویژگی‌های ژئومکانیکی محیط در مدل‌سازی UDEC [۱]

	پارامترهای مدل	واحد	مقدار
ویژگی‌های سنگ	چگالی	kg/m^3	۲۶۰۰
	مدول بالک	GPa	۱۶۰۰
	مدول برشی	GPa	۶۰۰
ویژگی‌های درزه‌ها	صلبیت برشی	GPa/m	۶۰۰
	صلبیت قائم	GPa/m	۱۶۰۰
	زاویه اصطکاک	درجه	۳۷
	چسبندگی	MPa	۰،۲۴
	بازشدگی	میلیمتر	۳
	بازشدگی باقیمانده	میلیمتر	۳

همان‌طور که گفته شد، هیچگونه آب زیرزمینی در حفاری گمانه‌ها ثبت نشده و این به معنی اشباع نبودن محیط است. بنابراین منطقی است که در مراحل اولیه آبگیری مخزن، سرعت نشت زیاد بوده و با گذشت زمان و با اشباع شدن تدریجی محیط، از سرعت نشت کاسته شود. همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، در ابتدا مقدار نشت کلی مخزن بسیار بالا بوده و ۱۷۰۷۰۰۰ مترمکعب بر روز است. با گذشت زمان و پس از رسیدن به جریان پایدار، مقدار نشت کاهش یافته و به مقدار ۱۱۲۰۰۰ متر مکعب در روز می‌رسد. روند تغییرات سرعت نشت بسیار مهم است. این در حالی است که این نحوه تغییرات از روش‌های گفته شده قبلی، قابل استخراج نبود. بنابراین، با توجه به حجم نشت آب در آغاز آبگیری مخزن و نیز به دلیل پر و خالی شدن روزانه مخزن در دوره‌های مختلف مصرف برق، آب‌بند نمودن مخزن بدیهی می‌نماید.

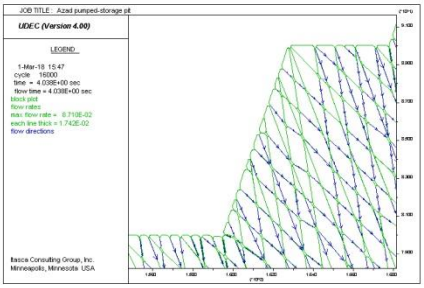


شکل (۷): مدل اولیه ساختگاه مخزن قبل از استخراج منابع قرضه از پیت در نرم‌افزار UDEC [۱]

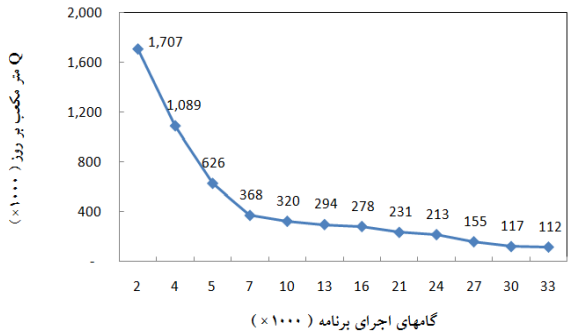
نتایج بدست آمده از تحلیل نشت در روش‌های مختلف در دو حالت نفوذپذیری میانگین و نفوذپذیری حداکثر، به طور خلاصه در جدول (۲) آمده است. دیده می‌شود که مقدار نشت بدست آمده در نرم‌افزار UDEC پس از رسیدن جریان نشت به حالت پایدار، به مقادیر بدست آمده از سایر روش‌ها، با فرض نفوذپذیری معادل میانگین مقادیر لوژن، نزدیک است. این امر می‌تواند حاکی از آن باشد که استفاده از نفوذپذیری میانگین در محاسبات نشت پاسخی نزدیک‌تر به واقعیت را خواهد داشت. بنابراین می‌توان مقدار نشت کل مخزن در حالت پایدار را در حدود ۱۱۵،۰۰۰ متر مکعب بر روز تخمین زد که به طور تقریبی معادل ۳ درصد از حجم کل مخزن است.

جدول (۲): نتایج آنالیز نشت مخزن در روش‌های گوناگون، مقدار نشت بر حسب مترمکعب بر روز.

میزان نشت	نفوذپذیری	روش
۱۱۲۶۱۵	لوژن میانگین	ودرنیکوف
۲۶۱۲۱۰	لوژن حداکثر	
۱۱۵۵۲۶	لوژن میانگین	Seep/W
۲۸۷۳۴۲	لوژن حداکثر	
۱۱۸۰۰۰	لوژن میانگین	Seep3D
۲۹۰۰۰۰	لوژن حداکثر	
۱۱۲۳۶۸		UDEC



شکل (۸): بردارهای جریان، نشان‌دهندهٔ ورود آب از مخزن به درزه‌های دیواره و کف پیت، در نرم‌افزار UDEC[۱]



شکل (۹): تغییر مقدار نشت نسبت به زمان در شبیه‌سازی جریان نشت به کمک نرم‌افزار UDEC [۱]

با این تفاسیر و با توجه به روند تغییرات مقدار نشت در طی زمان (حالت ناپایدار) بدست آمده در نرم‌افزار UDEC، آب‌بندی مخزن بالادست نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سد آزاد کردستان ضروری به نظر می‌رسد.

٤- آب‌بندي

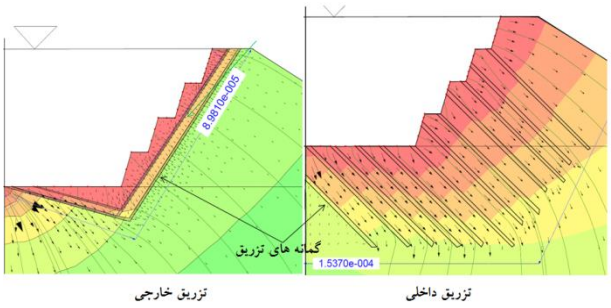
گزینه‌های مختلفی برای آب‌بندی سدها، کانال‌های آب و مخازن آبی وجود دارد از جمله: پتوی بتنی[۶]، پتوی رسی[۷]، بتن آسفالتی[۸]، ورقه‌های ژئوممبرین[۹]، تزریق[۱۰] . هرکدام از این پوشش‌ها اثر متفاوتی بر روی میزان نشت آب دارند.

با توجه به شیب ۷۰ درجه‌ای دیواره‌ی پله‌های پیت، اجرای المان‌های آب‌بند که به تراکم نیاز دارند مشکلات زیادی دارد. بنابراین، گزینه‌های پتوی رسی و بتن آسفالتی از دیدگاه اجرایی منتفی است.

با توجه به خطرات ناشی از نشست‌های نامتقارن در برابر تنش‌های وارده به ویژه در هنگام زلزله، پوشش بتنی می‌باید به صورت مسلح اجرا شود. استفاده از شبکه‌های آرماتور در میان بتن، یکی از روش‌های مسلح نمودن بتن است. تزریق بتن در کف و دیواره‌های پیت نیز از دیگر روش‌های آب‌بندی مخزن است. برای اجرای پرده آب‌بند دو طرح تزریق داخلی و خارجی قابل اجرا است. بدین ترتیب که در تزریق داخلی با حفر یک سری گمانه از داخل مخزن و به صورت مورب سعی بر طولانی تر نمودن مسیر جریان نشت و در پایان کاهش مقدار جریان می‌شود. در تزریق خارجی، با حفر گمانه‌هایی از خارج بدنه مخزن و به موازات دیوراه‌های آن، یک دیوار آب‌بند سراسری در اطراف پیت ایجاد می‌شود. در شکل (۱۰) خطوط جریان ناشی از نشت آب از مخزن در دو حالت گفته شده، به دست آمده از نرم‌افزار SEEP/W دیده می‌شود.

جدول (۳): ضخامت لازمه روش‌های آب‌بندی پیشنهادی [۱]

روش آب بندی	ضخامت المان آب‌بند (سانتیمتر)
پوشش بتنی	۳۰
پتوی رسی	۱۵۰
بتن آسفالتی	۱۰
پرده تزریق	۴۰۰۰
ژئوممبرین	۲

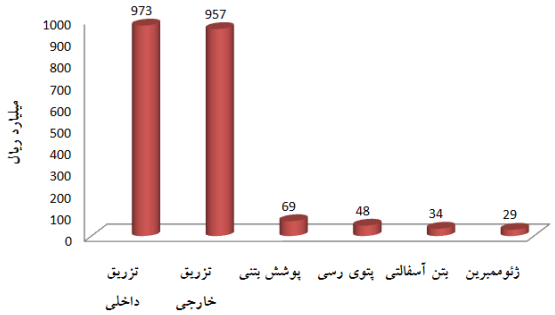


شکل (۱۰): تزریق داخلی و خارجی (دو ردیفه) و خطوط جریان نشت آب در این دو روش به کمک نرم‌افزار SEEP/W [۱]

زمان‌بر بودن هر دو روش گفته شده برای تزریق، مشکلات اجرایی در نقاط شیب‌دار، احتمال ایجاد ناپایداری ناشی از فشار تزریق در دیواره‌های مخزن، احتمال به وجود آمدن پنجره‌های تراوا و همچنین هزینه‌های بسیار بالای اجرای این روش، استفاده از تزریق را به عنوان آب‌بند مخزن منتفی می‌نماید.

مطالعات نشان داده‌اند که پوشش ژئوممبرین، به دلیل مقاومت مطلوب در برابر عوامل جوی و محیطی و به خصوص اشعه ماورابنفش، انعطاف‌پذیری مطلوب در برابر تنش‌های وارده در برابر نیروهای دینامیک و نشست‌های نامتقارن، سهولت اجرا و سرعت نصب بالا و در نتیجه کاهش زمان اجرای المان آب‌بند، از نظر فنی، بهترین گزینه به عنوان آب‌بند مخزن خواهد بود [۱].

مقایسه اقتصادی آب‌بندهای گفته شده در نمودار شکل (۱۰) آورده شده است. برآورد هزینه‌های اجرایی در روش‌های گفته شده، بر اساس قیمت‌های فهرست بهای سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. همان‌طور که دیده می‌شود پوشش ژئوممبرین و روش پرده آب‌بند (تزریق داخلی و خارجی) به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین هزینه را خواهند داشت.



شکل (۱۰): مقایسه هزینه روش‌های آب‌بندی پیشنهادی [۱]

۵- نتیجه‌گیری

در شبیه‌سازی جریان نشت در حالت ناپایدار از نرم‌افزار UDEC استفاده شد. این نرم‌افزار که با شبیه‌سازی ناپیوستگی‌ها، میزان نشت را محاسبه می‌نماید نشان داد که در لحظه شروع جریان نشت، دبی جریان برابر ۱،۷۰۰،۰۰۰ متر مکعب در روز می‌باشد. از این میزان نشت که مقداری قابل ملاحظه است، با گذشت زمان کاسته شده و به تدریج دبی نشت به دبی پایدار (۱۱۲،۴۰۰ مترمکعب بر روز) نزدیک می‌شود. نرم‌افزارهای SEEP/W و Seep3D میزان نشت در حالت جریان پایدار، را به ترتیب برابر با ۱۱۵،۵۰۰ و ۱۱۸،۰۰۰ مترمکعب بر روز برآورد نمودند. با توجه به مقدار دبی نشت بدست آمده از معادله تحلیلی ودرنیکف (۱۱۲،۶۰۰ مترمکعب بر روز)، مفید بودن این روش در تخمین مقدار نشت، آشکار می‌شود.

با توجه به نتایج تحلیل نشت در روش‌های گفته شده و نیز به دلیل ارزش و اهمیتی که آب پمپاژ شده به مخزن بالادست نیروگاه دارد، تلفات آب از راه نشت آب به بدنه مخزن، قابل چشم‌پوشی نبوده و در آب‌بند نمودن این مخزن جای تردید باقی نمی‌ماند.

با توجه به بررسی‌های فنی و اقتصادی، پوشش ژئوممبرین با صرف هزینه‌ای در حدود ۲۰ میلیارد ریال، به عنوان روش بهینه در آب‌بندی مخزن ذخیره‌ای نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سد آزاد پیشنهاد می‌شود.

۶- مراجع

[۱] معینی رودبالی، هادی؛ بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی و هیدروژئولوژیک در گزینش روش بهینه ی آب بندی مخزن ذخیره ای با نگرشی ویژه به نیروگاه تلمبه-ذخیره ای سد آزاد کردستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده معدن، زمستان ۱۳۸۹.

[۲] وزارت نیرو، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران ، " معرفی طرح سد ونیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه بیشه" ، ۱۳۸۸ .

[۳] شرکت بین‌المللی استراتوس، گزارش بررسی‌های ژئوتکنیکی و تحلیل پایداری دیواره معدن مصالح سنگی (منبع قرضه) سد آزاد، تهران، ۱۳۸۷.
[۴] میلتون ادوارد هار، ترجمه فریدون کاوه، آب زیرزمینی ونشت، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۹.
[۵] Bhagu R.Chahar,Extension of Vedernikov's graph for seepage from canals, Vol.32, No. 2-GROUND WATER-Mrach-April 2001(Pages 272-275).

۷- زیر نویس

[1] Open pit
[2] Vedernikov
[3] Finite Element
[4] Distinct Elemnt
[5] Run
[6] Concrete blanket
[7] Clay blanket
[8] Asphaltic concrete
[9] Geomembrane
[10] Grouting