

## بررسی میزان نشت از مخزن بالادست سد رودبار لرستان با استفاده از نرم افزار Seep/W

طاهره ابدی پور<sup>۱\*</sup>، همایون کتبیبه<sup>۲</sup>، علی عالی انوری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۳- دکترای مهندسی اکتشاف معدن، شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس تهران

[Abadipoor.ta90@yahoo.com](mailto:Abadipoor.ta90@yahoo.com)

### چکیده:

در این مطالعه به منظور پیش بینی میزان نشت از مخزن بالادست سد رودبار لرستان از روش تحلیل عددی اجزای محدود استفاده شده است. این مخزن ۳ میلیون مترمکعبی، در چارچوب پروژه‌ی تلمبه ذخیره‌ای سد رودبار لرستان حفاری می‌گردد. از آزمایش لوژن در هفت گمانه مختلف در طول محور مخزن برای تعیین ضریب نفوذپذیری سنگ بهره برده شد. با توجه به اینکه ضریب نفوذپذیری سنگ در طول محور مخزن بین ۱ تا ۱۰۰ لوژن تغییر می‌کند، بنابراین می‌توان گفت که انتخاب صرفاً یک مقطع برای تحلیل نشت در طول محور مخزن کافی نبوده و لذا برای کاهش میزان خطای محاسباتی، در پنج مقطع مختلف، جریان نشت آب شبیه‌سازی گردید. به همین منظور و با توجه به موقعیت گمانه‌ها و وضعیت زمین‌شناسی، مخزن سد به پنج بخش تقسیم گردیده و از اطلاعات مربوط به گمانه‌های هر بخش برای تحلیل نشت در آن بخش استفاده شده است. از این رو، ابعاد بخشی که هر مقطع در راستای محور مخزن به خود اختصاص می‌دهد متفاوت می‌باشد. در نهایت، با مجموع مقادیر نشت بدست آمده از تمامی مقاطع، میزان نشت کلی از مخزن مورد نظر تخمین زده شده است که این مقدار در حدود  $264685 \text{ m}^3/\text{day}$  می‌باشد که این میزان نشت تقریباً ۹ درصد حجم مخزن است. با توجه به میزان نسبتاً بالای نشت، بنظر می‌رسد که استفاده از تمهیدات آب بندی در این مخزن ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اجزاء محدود، نشت از مخزن سد، سد رودبار لرستان، Seep/W

## ۱- مقدمه:

بسیاری از مخازن سدهای دنیا، دارای مشکلات ناشی از نشست هستند. این نشست ممکن است از تشکیلات زمین‌شناسی ساختگاه سد یا پی سد و یا از بدنه سد اتفاق افتد. همچنین پدیده زیرشویی زیر پی و بدنه، موجب شکست‌های فاجعه آمیز در سدها گردیده است. گرادیان خروجی نیز مهمترین معیار طراحی برای ضریب اطمینان نسبت به زیرشویی است. بنابراین یافتن روش‌هایی برای کاهش مقدار نشست و گرادیان خروجی بسیار مهم می‌باشد. در این تحقیق از نرم افزار Seep/W استفاده شده است. این نرم افزار که بر مبنای روش المان محدود طراحی شده است، قادر است تحلیل‌هایی در زمینه‌های دینامیکی و استاتیکی ارائه دهد و در مدل‌سازی جریان آب در پی سد به کار برده می‌شود (کریمی م. و همکاران).

در این تحقیق میزان نشست، بردارهای سرعت، خطوط جریان و خطوط هم‌پتانسیل مخزن بالادست سد رودبار لرستان با استفاده از پارامترهای ورودی مانند نفوذپذیری و شرایط مرزی محاسبه می‌شوند و شرایط مرزی، شامل تراز آبی مخزن و ارتفاع آب زیرزمینی و ... می‌باشند. مخزن بالادست مخصوص نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای است. ویژگی مهم این نیروگاه‌ها این است که، دارای یک مخزن پایین دست در پشت سد و یک مخزن بالادست در ارتفاع مشخص از مخزن پایین هستند. در زمان کم باری آب از مخزن پایین دست به مخزن بالادست پمپاژ شده و در آن به صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود و در زمان پر مصرف آب از مخزن بالادست به سمت مخزن پایین دست آمده و برق تولیدی وارد شبکه سراسری می‌شود (Akitaka h. and et al., ۱۹۹۳). در ضمن، شرایط مرزی اغلب با زمان تغییر می‌کند و همیشه نمی‌تواند به طور مسلم با یک تعریف تحلیل گردد. در حقیقت گاهی شرایط مرزی درست بخشی از راه حل می‌تواند باشد (شهبازی م. و همکاران، ۱۳۸۹). به دست آوردن مقدار نشست، این امکان را به وجود می‌آورد که با توجه به نتایج بدست آمده، مشکلات نشست را پیش بینی کرده و بتوان تصمیم‌گیری درست و به موقع را انجام داد.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و خصوصیات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمان‌ی ساختگاه مخزن سد:

مخزن مورد بررسی در واقع مخزن بالادست نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سد رودبار لرستان می‌باشد و منطقه مورد مطالعه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سد رودبار، در استان لرستان و در ۹۲ کیلومتری جنوب شهر الیگودرز قرار دارد (شکل ۱). برای مخزن بالادست دو گزینه چال حاتم و گله مویه پیشنهاد شده بود که به علت شرایط نامناسب توپوگرافی، گزینه گله مویه رد و گزینه چال حاتم پذیرفته شد (شکل ۲). محدوده مخزن چال حاتم در ارتفاعات مشرف به مخزن سد رودبار لرستان و در فاصله حدود ۱۵۰۰ متری شمال-شمال غرب سد رودبار قرار دارد. سد رودبار لرستان بر روی رودخانه رودبار (از سرشاخه‌های شرقی حوزه آبخیز رودخانه دز یا بختیاری) واقع گردیده است. مورفولوژی رودخانه رودبار در این محدوده و چرخش مسیر آن در پایین دست محل احداث سد به گونه‌ای است که اختلاف ارتفاعی طبیعی حدود ۳۰۰ متر را ایجاد می‌کند که شرایط برای احداث مخزن بالادست امکان‌پذیر می‌شود.

ساختگاه مخزن سد رودبار شامل واحدهای سنگی که خود شامل سازند ایلام- سروک و گرو و واحدهای روبره شامل آبهست‌های دامنه‌ای و خاک‌های برجا می‌شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای رودبار لرستان. موقعیت تقریبی با علامت دایره مشخص شده است.



شکل ۲: موقعیت گزینه‌های پیشنهادی چال حاتم و گل مویه نسبت به سد رودبار لرستان

سازند ایلام-سروک مربوط به دوران کرتاسه بوده که شامل بخشی از محدوده شرقی مخزن بالادست چال حاتم است و در برگرنده مجموعه سنگ‌های آهکی نازک تا متوسط لایه خاکستری تا قهوه‌ای رنگ همراه با میان لایه‌های نازک شیل و مارن تا عمق ۱۵ متری و آهک سیلیسی تا عمق حدود ۲۲ متر می‌باشد. سازند گرو نیز مربوط به دوران کرتاسه است و سازند گرو بخش عمده‌ای از مخزن بالادست نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را تشکیل داده است و توسعه قابل توجهی در

ارتفاعات کوه چال حاتم دارد. این سازند در محدوده مخزن بالادست عمدتاً از تناوب لایه‌های آهک رسی نازک لایه خاکستری تا خاکستری تیره و میان لایه‌های شیل تشکیل شده است.

در واحد روباره، آبشست‌های دامنه‌ای بر روی دامنه ارتفاعات و نواحی پست حاشیه مواد حاصل از فرسایش سطحی بصورت پوششی از نهشته‌های واریزه‌ای شامل قطعات ریز و درشت سنگی زاویه‌دار بدون سیمان شدگی قرار گرفته‌اند که ضخامت آن‌ها در بخش‌های مختلف متفاوت می‌باشد و خاک‌های برجا در محدوده مخزن چال حاتم، به دلیل وجود لایه‌های ضخیم رس، محیط مناسبی برای فعالیت‌های کشاورزی ایجاد کرده‌اند. نهشته‌های کوتاه‌تر در محدوده مخزن، عمدتاً از سنگ‌ریزش‌ها در پای ارتفاعات و خاک‌های برجا که عمدتاً از مصالح ریز دانه رسی همراه با قطعات پراکنده قطعه سنگ-های ریزشی ارتفاعات هستند، تشکیل شده‌اند. منشا رس‌های موجود می‌تواند عمدتاً مربوط به وجود آهک‌های رسی منطقه، خصوصاً سازند گرو مربوط باشد.

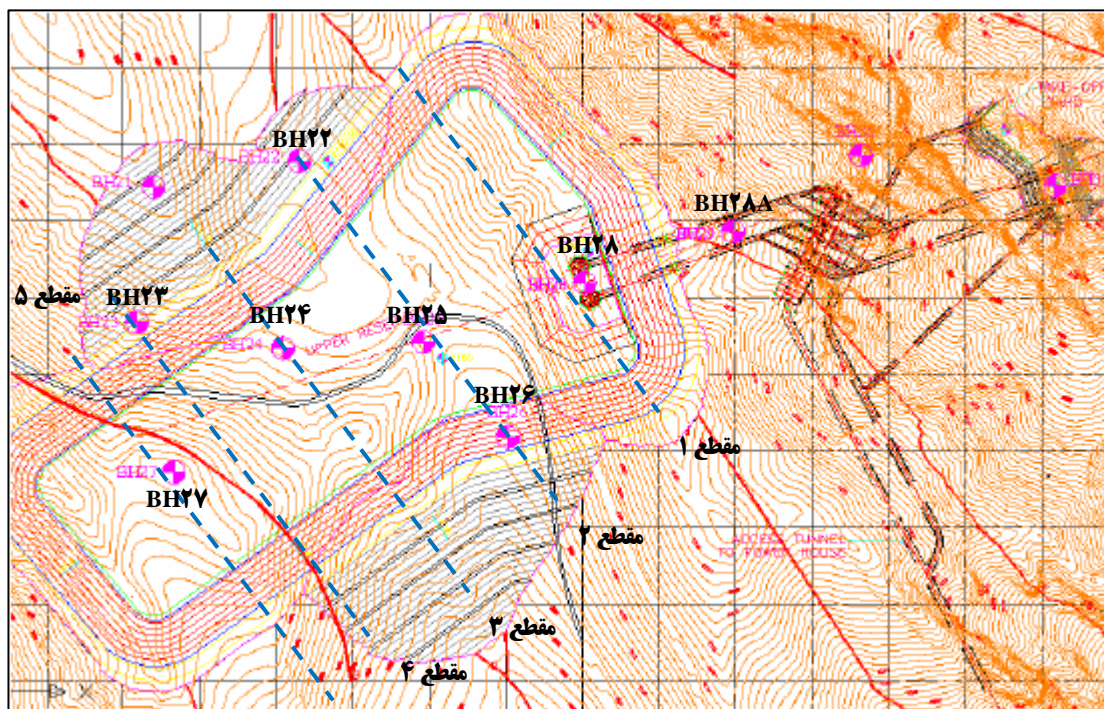
از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی محدوده ساختگاه چال حاتم در زون زاگرس چین خورده-رانده قرار دارد که تحت تاثیر تنش‌های زیادی قرار گرفته که ماحصل این حرکات بصورت گسلش فراوان (گسل چال حاتم، گسل اصلی رودبار و...)، چین خوردگی و درزه‌شدگی سنگ نمایان می‌باشد (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۹).

### ۳- هیدروژئولوژی و وضعیت نفوذپذیری محدوده مخزن سد:

سنگ بستر مخزن بالادست عمدتاً از مجموعه سنگ‌های آهکی، آهک رسی با میان لایه‌های شیل تشکیل شده است که فاقد نفوذپذیری اولیه قابل توجهی هستند. بنابراین هیدروژئولوژی توده سنگ متاثر از نفوذپذیری ناپیوستگی‌هایی است که در توده سنگ وجود دارند. هفت گمانه مطالعاتی با عمق ۲۵ تا ۸۵ متر حفر گردید و با انجام آزمایش لوژن، ضریب نفوذپذیری در افق‌های مختلف توده سنگ بدست آمد که ضریب نفوذپذیری در راستای محور مخزن بین ۱ تا ۱۰۰ لوژن متغیر است. ارزیابی سطح آب زیرزمینی گمانه‌ها موید این مهم است که هیچ کدام از گمانه‌های محدوده مخزن بالادست به آب زیرزمینی برخورد ننموده‌اند. همچنین در محدوده مخزن و پیرامون آن هیچ‌گونه چشمه‌ای مشاهده نشده است موقعیت گمانه‌ها در (شکل ۳) نشان داده می‌شود.

### ۴- بحث: شبیه‌سازی جریان نشت با استفاده از نرم افزار Seep/W

مدل عددی یک شبیه‌سازی عددی از فرایندهای فیزیکی است. Seep/W یک مدل عددی است که می‌تواند فرایند واقعی فیزیکی نشت آب را به صورت ریاضی شبیه‌سازی کند (Krahan J., ۲۰۰۴). این نرم افزار از زیر مجموعه Geo Studio مربوط به بررسی شرایط نشت و جریان آب در خاک است. از قابلیت‌های این بخش برنامه، ترسیم تراز آب عبوری از درون خاک و بردارهای سرعت و ترسیم خطوط جریان و هم‌پتانسیل و محاسبه نشت عبوری برای مقطع مشخصی از خاک است. همچنین این برنامه این قابلیت را دارد که در شرایط جریان ماندگار (Steady State) آنالیز انجام دهد و شرایط آب و خاک را در حالت‌های مرحله‌ای بررسی کند (امین جواهری ا. و پاکتیت ا.، ۱۳۹۱). برای محاسبه نشت توسط این نرم افزار، با توجه به شرایط مرزی و نتایج حاصل از آزمایش لوژن، شبیه‌سازی انجام می‌شود.



شکل ۳: موقعیت گمانه‌ها در محدوده ساختگاه مخزن چال حاتم

با توجه به نتایج آزمایش‌های برجا و متفاوت بودن نرخ نفوذپذیری در محدوده مخزن از هفت گمانه در راستای محور مخزن استفاده شده و به همین علت محدوده مخزن به پنج مقطع تقسیم گردیده و از اطلاعات بدست آمده از گمانه‌ها میزان نشت در هر مقطع محاسبه شده است، البته در یکی از این مقاطع از اطلاعات سه گمانه برای بخش مد نظر استفاده گردیده است. در نهایت، میزان نشت تعیین شده برای هر مقطع در طول نسبت داده شده به هر بخش ضرب شده و از مجموع این مقادیر، نشت کلی محاسبه می‌گردد. نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری به روش لوژن در گمانه‌های ساختگاه چال حاتم در (جدول ۱) ملاحظه می‌شود (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۹).

قابل ذکر است که، در محدوده مخزن بالادست سد، گمانه BH28 حفر شده ولی به علت برخی از مشکلات ادامه حفاری متوقف شده، و از داده‌های شبیه‌ترین گمانه به گمانه مد نظر (از لحاظ فاصله و قرار داشتن در یک نوع سازند زمین‌شناسی) یعنی گمانه BH28A استفاده شد. بنابراین از گمانه 28A در مقطع ۱، گمانه‌های 22، 25 و 26 برای مقطع ۲، گمانه 24 برای مقطع ۳، گمانه 23 برای مقطع ۴ و گمانه 27 برای مقطع ۵ استفاده شد.

جدول ۱: داده‌های لوژن گمانه‌ها

شماره گمانه	عمق (m)	وضعیت نفوذپذیری	
		میانگین لوژان	وضعیت لوژان
BH۲۲	۱۰-۲۵	۱۰۰	Very high
BH۲۳	۴-۷	۲۱	Medium
	۷-۱۵	۱۱۱	>۱۰۰
	۱۵-۲۰	۱۳	Medium
	۲۰-۲۵	۶	Low
	۲۵-۳۰	۲۸	Medium
BH۲۴	۱۷-۳۰	۱۰۰	Very high
	۳۰-۳۵	۳۵	Hight
	۳۵-۴۰	۱۰۰	Very high
	۴۰-۴۵	۲۵	Medium
BH۲۵	۴-۹	۸۶	Very high
	۹-۱۴	۲	Impermeable
	۱۴-۱۹	۳۶	Hight
	۱۹-۳۵	۱۰۰	Very high
	۳۵-۴۵	۴	Low
	۴۵-۵۰	۱۰۰	Very high
BH۲۶	۴۰-۴۵	۱۰۰	Very high
BH۲۷	۲-۳	۱۰۰	Very high
	۵-۳۰	۹۹	Very high
	۳۲-۷۵	۱۰۰	Very high
BH۲۸A	۴-۱۵	۸۳	Very high
	۱۵-۲۰	۲۸	Medium
	۲۰-۴۰	۴۸	Hight
	۴۰-۴۵	۱	Impermeable
	۴۵-۵۰	۴	Low
	۵۰-۵۵	۱	Impermeable
	۵۵-۷۰	۱۰۰	Very high
	۷۰-۷۵	۱۹	Medium
	۷۵-۸۵	۱۰۰	Very high

#### ۴-۱: شبیه‌سازی جریان نشت

ابتدا هندسه مدل را با توجه به رنج‌های متفاوت لوژن در گمانه‌ها به صورت منطقه‌ای (Regional) ترسیم می‌گردد و ضریب نفوذپذیری را با توجه به (فرمول ۱) به هر منطقه اختصاص داده و سپس مدل مش‌بندی شده و شرایط مرزی مانند تراز آبی مخزن و ... اعمال گشته و با مشخص کردن منطقه مورد نظر برای نشت، مواردی مانند میزان نشت در محل مورد

نظر، بردارهای سرعت، خطوط هم‌پتانسیل، خطوط جریان و سایر پارامترها محاسبه شده و نتایج حاصل از این پردازش و محاسبات نشت در (جدول ۲) آورده شده است.

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

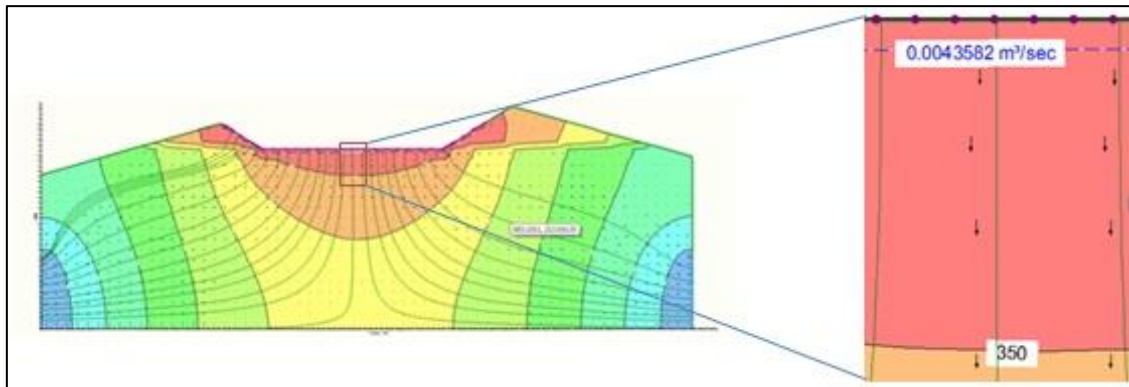
(۱)

که در فرمول بیان شده، K میزان نفوذپذیری بر حسب (m/s) و Lu عدد لوژن می باشد.

جدول ۲: مقادیر نشت بر حسب  $m^2/day$  برای هر مقطع

شماره‌ی مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	جمع کل
میزان نشت ( $m^2/day$ )	۶۰۲۴۸	۸۴۳۲۵	۱۶۵۷۱	۲۲۰۱۷	۸۱۵۲۴	۲۶۴۶۸۵

در یکی از اشکال مقاطع که مربوط به مقطع شماره ۱ می باشد در (شکل ۴)، نتایج نهایی تحقیق مانند میزان نشت، بردارهای سرعت، خطوط هم‌پتانسیل و خطوط جریان مشاهده می گردد.



شکل ۴: مقطع شماره ۱

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات:

در مخزن بالادست سد رودبار لرستان به علت اینکه نرخ نفوذپذیری در راستای محور مخزن بین ۱ تا  $100$  لوژن تغییر می کند، استفاده از یک مقطع خطای مدل سازی را افزایش می دهد. بنابراین با توجه به هفت گمانه حفر شده در راستای مخزن، مخزن را به پنج بخش تقسیم نموده، و هر بخش را به یک طول از محور مخزن اختصاص می دهیم. نتایج بدست آمده برای هر مقطع بر حسب  $m^2$  برای یک متر از واحد طول می باشد که این مقدار در طول اختصاص یافته برای هر بخش ضرب شده و نرخ نشت کلی برای آن بخش محاسبه می شود. بنابراین نشت کلی در مخزن بالادست  $264685 m^2/day$  می باشد که البته این مقدار نشت حدود ۹ درصد حجم مخزن است. با توجه به اینکه منطقه مورد نظر بسیار تکتونیزه بوده، این مقدار نشت تا حدی قابل قبول می باشد ولی با در نظر گرفتن اینکه قرار است در تولید برق از این سد استفاده شود و ممکن است به اهداف ساخت سد دست نیابند حتما در این مخزن از یک روش آب بندی مناسب باید استفاده شده تا مقدار نشت به حداقل مقدار خود برسد و علاوه بر میزان تولید برق کافی، از هزینه های نشت بعد از آب گیری جلوگیری شود.

## تشکر و قدردانی:

نویسندگان این مقاله از مهندسین محترم شرکت مهتاب قدس تهران به علت در اختیار گذاشتن اطلاعات کمال تشکر و سپاسگذاری را دارند.

## منابع:

- ۱- امین جواهری ا. و پاک نیت ا.، (۱۳۹۱). تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از Geo Studio, چاپ اول، انتشارات علم عمران.
- ۲- شهبازی م.، غفوری م. و لشکری پور غ.، (۱۳۸۹). "بررسی نشت و مدل سازی آب های زیرزمینی در ایستگاه های N۷ و W۷ خط ۷ متروی تهران"، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین.
- ۳- کریمی م.، لشکری پور غ. و غفوری م.، "بررسی مقدار دبی نشت از آبرفت سد سورک با استفاده از نرم افزار Seep/W"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- ۴- مهندسین مشاور مهتاب قدس.، (۱۳۸۹). "گزارش اولیه مطالعات زمین شناسی مهندسی مطالعات مرحله اول نیروگاه تلمبه ذخیره ای رودبار لرستان" Akitaka, h. and et al., (۱۹۹۳). "Seawater pumped-storage power plant in Okinawa island, Japan", Engineering Geology, Vol. ۳۵, pp. ۲۳۷-۲۴۶.
- ۶-Krahn, j., (۲۰۰۴). Seepage Modeling with SEEP/W an Engineering Methodology, ۱th edition.



