



## شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

### بررسی مقدار دبی نشت از آبرفت سد سورک با استفاده از نرم افزار

### Seep/w

\*محمد رضا کریمی، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی، rezakarimi682@yahoo.com

غلامرضا لشکری پور، دکترای زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی، lashkarg@hamoon.usb.ac.ir

محمد غفوری، دکترای زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی، ghafoori@ferdowsi.um.ac.ir

#### چکیده:

در این تحقیق به منظور پیش بینی نرخ دبی نشت از آبرفت سد سورک از روش تحلیل عددی اجزای محدود استفاده شده است. جهت نتیجه گیری بهتر از تحلیل، از المان های چهارگرمی استفاده شده است. با استفاده از آزمایشات برجا، مقدار ضریب تراوایی در محل محور سد بین  $10^{-2}$  (cm/s) تا  $10^{-7}$  (cm/s) به دست آمده است. از همین جهت چون انتخاب یک مقطع برای تحلیل نشت کافی نبوده و ضریب خطا را بالا می برد، تصمیم گرفته شد از اطلاعات هفت گمانه که در طول محور حفاری شده استفاده گردد. به همین منظور طول سد به هفت بخش تقسیم شد و از اطلاعات مربوط به هر گمانه برای تحلیل آن بخش استفاده شد و سپس از مجموع آمار به دست آمده مقدار دبی نشت به دست آمد. به دلیل هموزن نبودن خاک از مش بندی (شبه بندی) استفاده شده است. به جهت به دست آوردن نتایج بهتر از تحلیل، مش بندی بسیار کوچک انتخاب شده، به طوری که هر المان دارای مقیاس واقعی یک متری بر روی زمین است. به دلیل تفاوت در پهنای عرض سد در امتداد طول آن، ابعاد مقاطع در نظر گرفته شده با یکدیگر متفاوت می باشد. بزرگترین مقطع با عرض ۲۵۰ متر و ارتفاع ۳۵ متر، دارای بیشترین تعداد المان با (۲۲۵۲۵ المان) و بیشترین تعداد گره (۲۲۹۰۴ گره) می باشد. با توجه به تحلیل های انجام شده توسط این نرم افزار دبی نشت در حدود  $640000 \text{ m}^3/\text{year}$  می باشد. بنابراین پیشنهاد می شود جهت آب بندی پیش بینی لازم اتخاذ گردد.

واژه های کلیدی: مدل سازی عددی، اجزاء محدود، آبرفت، نفوذ پذیری

#### مقدمه:

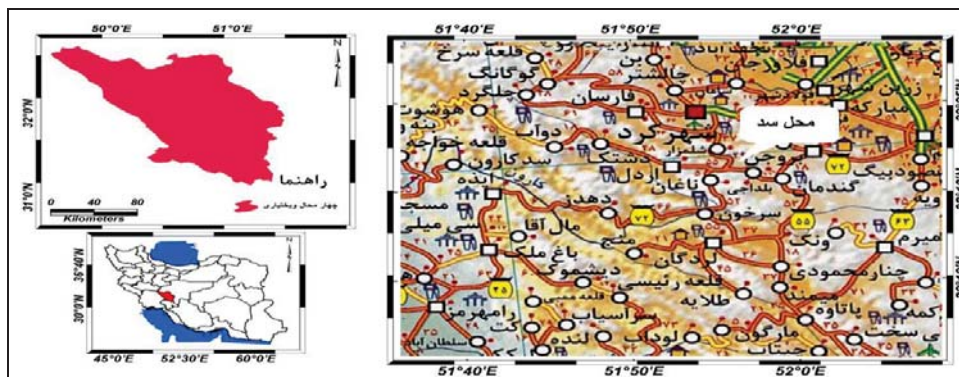
بسیاری از مخازن سدهای شناخته شده در جهان، دارای مشکلات ناشی از نشت می باشند. این نشت ممکن است از تشکیلات زمین شناسی ساختگاه سد یا پی سد و یا از بدنه سد اتفاق افتد. همچنین پدیده زیرشویی زیر پی و بدنه، موجب شکست های فاجعه آمیز در سدها گردیده است. گرادیان خروجی نیز مهمترین معیار طراحی برای ضریب اطمینان نسبت به زیرشویی است. بنابراین یافتن روش هایی برای کاهش مقدار نشت و گرادیان خروجی بسیار حائز اهمیت خواهد بود. در این تحقیق از نرم افزار seep/w استفاده شده است، که یک برنامه کامپیوتری فراگیر و چند منظوره می باشد و قادر است تحلیل هایی در زمینه های دینامیکی، استاتیکی ارائه دهد و جهت تحلیل و مدل سازی جریان آب در پی سد از روش المان محدود استفاده می کند. در این تحقیق خصوصیات جریان (مقدار نشت و گرادیان خروجی) آبرفت سد سورک بررسی می شود و نتایج به دست

آمده به صورت عدد، میزان دبی نشت از آبرفت را بیان می‌کند. مدل جریان آب در خاک با استفاده از راه حل عددی می‌تواند خیلی پیچیده باشد. نهشته‌های خاک طبیعی به‌طور کلی هموزن و یا غیر هموزن می‌باشند. علاوه بر این، شرایط مرزی اغلب با زمان تغییر می‌کند و همیشه نمی‌تواند به‌طور مسلم با یک تعریف تحلیل گردد. در حقیقت گاهی شرایط مرزی درست بخشی از راه‌حل می‌تواند باشد (شه‌بازی و همکاران، ۱۳۸۹).

به دست آوردن مقدار نشت، به طراح این امکان را می‌دهد که مشکلات نشت را پیش‌بینی و خصوصیات جریان مورد نظر را به‌دست آورد و با صرف کمترین زمان، طراحی اپتیمم را انجام داده و سریعاً تصمیم‌گیری نماید. محاسبه جریان آب زیرزمینی معمولاً به کمک شبکه جریان صورت می‌پذیرد. مفهوم شبکه جریان مبتنی بر معادلات پیوستگی لاپلاس می‌باشد که شرایط و وضعیت جریان آرام را برای نقطه‌ای معلوم در توده خاک بیان می‌کند. برای رسم شبکه جریان و در نتیجه محاسبه دبی تراوش و میزان بار آبی در نقاط مختلف نیاز به حل عددی معادله دیفرانسیل پیوستگی دوبعدی جریان (معادله لاپلاس) می‌باشد (شمسائی، ۱۳۷۷).

### موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های زمین‌شناسی ساختگاه سد:

منطقه مورد مطالعه از نظر جغرافیایی در محدوده استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان بروجن واقع شده است (شکل ۱). محل سد بر روی رودخانه کیار، نزدیک روستای سورک و در دره دهنو قرار دارد (شکل ۲). بیشترین رسوبات منطقه را سنگ‌های آهکی کرتاسه تشکیل می‌دهد، تشکیلات زمین‌شناسی عمدتاً مربوط به آهک‌ها و آهک‌های شیلی کرتاسه زیرین و رسوبات کنگلومراتیک اواخر دوران سوم و بیرون زدگی‌های محدودی از دوره ائوسن است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد

بررسی زمین‌شناسی گمانه‌های اکتشافی نشان می‌دهد که پی‌سنگ آهکی محور سد با ضخامت قابل توجهی از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. ضخامت حداکثر آبرفت در گمانه شماره BH7 حدود ۱۰۰ متر گزارش شده است. ضخامت رسوبات آبرفتی در گمانه شماره BH3 واقع در جنوب گمانه BH7 برابر ۴۷/۵ متر و گمانه شماره BH10 واقع در شمال BH7 برابر ۹۴ متر می‌باشد. به عبارت دیگر سنگ کف آهکی به سمت کوله راست از شیب ملایم‌تری برخوردار است. علاوه بر این به سمت تکیه‌گاه چپ و محور رودخانه، ضخامت قابل توجهی از رسوبات ریزدانه متشکل از رس و لای وجود دارد که در دیگر بخش‌های سد به آن برخورد نشده است. نتایج آزمایشات نفوذپذیری نشان می‌دهد که آبرفت‌های محور از نظر آب‌گذری متفاوت بوده و این تفاوت

هم در مقاطع مختلف گمانه‌ها و هم از یک گمانه به یک گمانه دیگر مشاهده می‌شود. این وضعیت از آنجا ناشی می‌شود که رسوبات آبرفتی از نظر دانه‌بندی شرایط یکسانی نداشته و در حالیکه در برخی نقاط رسوبات ریزدانه به صورت ماتریکس چسبنده‌ای در بین عناصر گرانولار درشت دانه قرار گرفته است و سبب کاهش نفوذپذیری یا غیر قابل نفوذ شدن آنها گشته است، در دیگر نقاط به علت عدم وجود ماتریکس فوق و پر شدن فضای بین عناصر درشت دانه با ماسه، میزان آب‌گذری آنها افزایش یافته است. بسته به نوع عناصر پر کننده و وجود یا عدم وجود آنها، میزان نفوذپذیری اندازه‌گیری شده از کمتر از  $10^{-2}$  تا  $10^{-7}$  سانتیمتر بر ثانیه، متفاوت بوده است. لازم به ذکر است که در برخی مقاطع به نفوذپذیری صفر یا غیر قابل نفوذ نیز برخورد شده است.

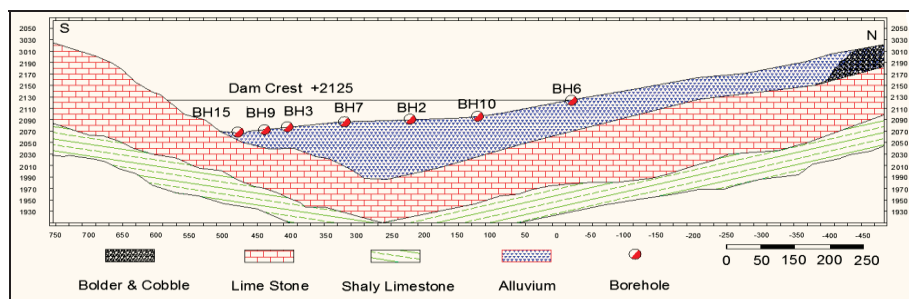


شکل ۲- موقعیت قرار گیری سد در دره دهنو

### بحث:

#### بررسی میزان نشت آبرفت سد سورک با استفاده از نرم افزار seep/w:

مدل عددی یک شبیه سازی عددی از فرایندهای فیزیکی است. seep/w یک مدل عددی می‌باشد که می‌تواند فرایند واقعی فیزیکی نشت آب را به صورت ریاضی شبیه‌سازی کند (Krahan, 2004). نرم افزار seep/w از مجموعه geo studio مربوط به بررسی شرایط تراوش و جریان آب در خاک است. از قابلیت‌های این بخش از برنامه، ترسیم تراز آب عبوری از درون خاک و بردارهای سرعت و ترسیم خطوط جریان و هم‌پتانسیل و محاسبه دبی 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 (امین‌جوهری و پاک‌نیت، ۱۳۸۸). جهت محاسبه دبی نشت آبرفت از زیر سد با توجه به تراز نرمال آب در مخزن و نتایج حاصل از آزمایشات لفران، از نرم افزار seep/w استفاده گردیده است. مقطع زمین‌شناسی سد در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقطع زمین‌شناسی سد

با توجه به نتایج آزمایشات برجای انجام شده و مشخص شدن رنج متفاوت ضریب تراوایی در آبرفت، جهت تحلیل نشت از اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های حفر شده در محور استفاده شد. با توجه به قرار گیری هفت گمانه در محور، طول محور به هفت بخش تقسیم و از آمار برداشت شده از هر گمانه در تحلیل نشت آن بخش استفاده شد. در نهایت عدد به دست آمده در طول اختصاص یافته به هر بخش ضرب شده و نتیجه، مقدار دبی نشت از بخش مورد نظر را نشان می‌دهد. در نهایت از مجموع مقادیر به دست آمده، مقدار نشت کلی به دست آمد. تقسیم بندی انجام شده از سمت جنوب به شمال و به ترتیب از گمانه‌های BH2, BH7, BH3, BH9, BH15, BH6, BH10 استفاده شده است. اطلاعات استفاده شده برای همه مقاطع در (جدول ۱) آورده شده است (مهندسی مشاور زیندآب، ۱۳۸۸).

جدول ۱- اطلاعات استفاده شده برای رسم مقاطع سد

شماره شکل مقطع	عمق سنگ (m)	عمق آبرفت	عمق آب در تراز نرمال	بیشترین ضریب تراوایی	کمترین ضریب تراوایی	گمانه	مشخصات مقاطع
۴	۵۸	۲۲	۳۰	$10^{-5}$ (cm/s)	$10^{-7}$ (cm/s)	BH15	مقطع شماره ۱
۵	۶۵	۳۵	۳۰	$10^{-4}$ (cm/s)	$10^{-7}$ (cm/s)	BH9	مقطع شماره ۲
۶	۵۵	۴۵	۳۰	$10^{-5}$ (cm/s)	$10^{-7}$ (cm/s)	BH13	مقطع شماره ۳
۷	-	۱۱۵	۲۳	$10^{-3}$ (cm/s)	$10^{-5}$ (cm/s)	BH17	مقطع شماره ۴
۸	-	۱۰۰	۱۵	$10^{-4}$ (cm/s)	$10^{-6}$ (cm/s)	BH12	مقطع شماره ۵
۹	-	۸۵	۸	$10^{-2}$ (cm/s)	$10^{-5}$ (cm/s)	BH110	مقطع شماره ۶
۱۰	-	۲۰	۳	$10^{-4}$ (cm/s)	$10^{-6}$ (cm/s)	BH16	مقطع شماره ۷

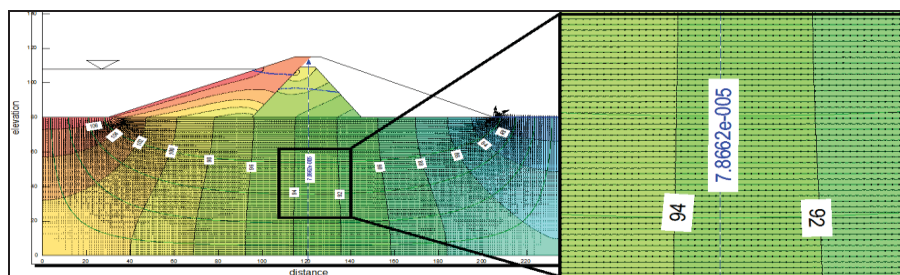
### ترتیب وارد کردن اطلاعات برای مدل کردن بدنه سدهای خاکی:

- ۱- ترسیم هندسه و مشخص کردن مرز لایه‌های مختلف سد خاکی در محیط نرم افزار.
  - ۲- وارد کردن میزان نفوذپذیری تمامی لایه‌ها و امگداری آنها.
  - ۳- مشخص کردن رنگ برای لایه‌ها و تعریف آنها برای نرم افزار.
  - ۴- ایجاد شبکه گرافیکی یا المان بندی محدود (باید به صورت دقیق انجام شود و المان هاترسیم شده ترجیحاً باید مربعی باشد).
  - ۵- مشخص کردن ارتفاع تراز آب در مخزن سد.
  - ۶- تعیین مقطع برای مشخص کردن دبی گذرنده از آن.
- با انجام مراحل فوق نرم افزار مسئله را تجزیه و تحلیل می‌کند و در خروجی آن میزان دبی نشت گذرنده از مقطع مشخص شده را نشان می‌دهد. همچنین دیگر خروجی‌های نرم افزار نظیر جهت خطوط مسیر جریان، خط فریاتیك، بردارهای سرعت و مشاهده مقادیر محاسبه شده برای تک به تک گره‌ها و المان‌ها نشان داده می‌شود (سواری و موسوی جهرمی، ۱۳۸۸). نتایج به دست آمده نشت برای تمامی مقاطع در جدول ۲ آمده است.

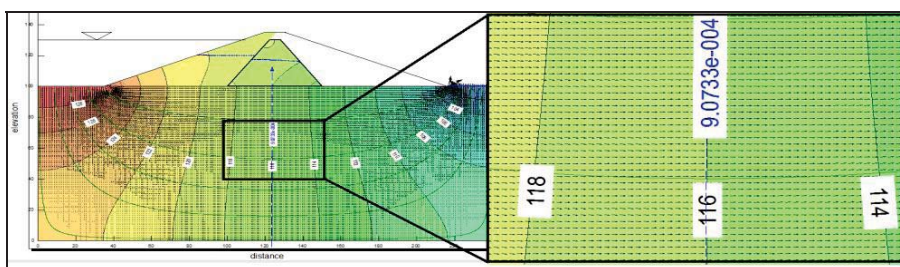
جدول ۲- مقدار نشت محاسبه شده برای هر بخش

مقاطع	مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳	مقطع ۴	مقطع ۵	مقطع ۶	مقطع ۷
مقدار دبی (m <sup>3</sup> /s)	۷/۸۷×۱۰-۵	۹/۰۷۴×۱۰-۴	۸/۰۵۷×۱۰-۵	۶/۷۴×۱۰-۴	۴/۵۱×۱۰-۵	۲/۶۲×۱۰-۴	۸/۴۸×۱۰-۵

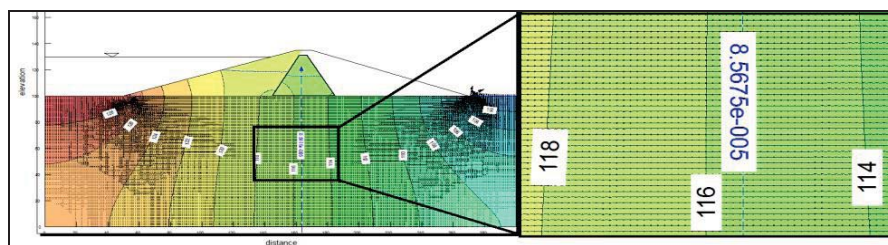
اشکال مربوط به مقاطع به ترتیب در شکل های شماره ۴ تا ۱۰ آورده شده است.



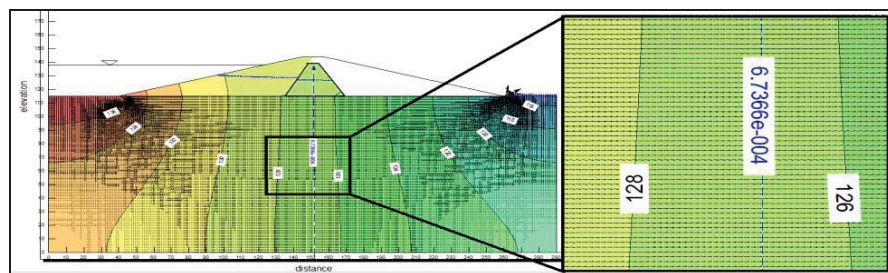
شکل ۴- خطوط هم پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۱



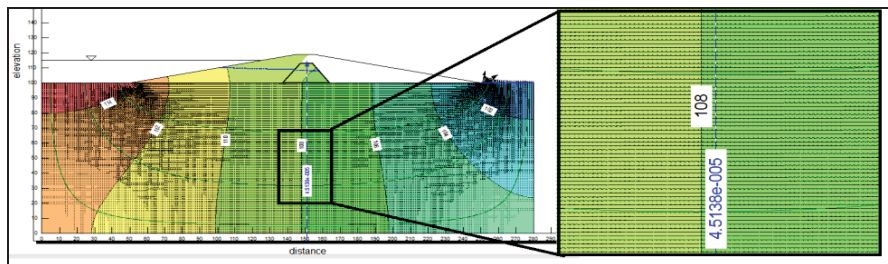
شکل ۵- خطوط هم پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۲



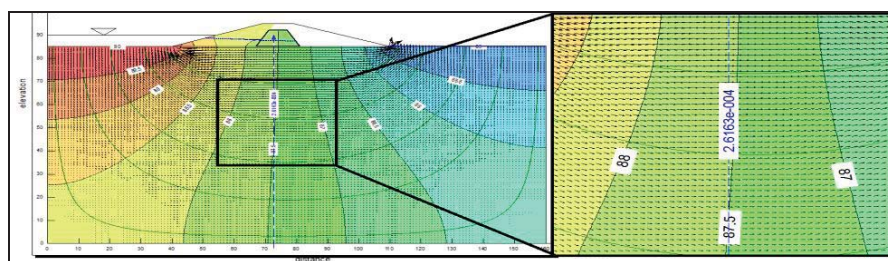
شکل ۶- خطوط هم پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۳



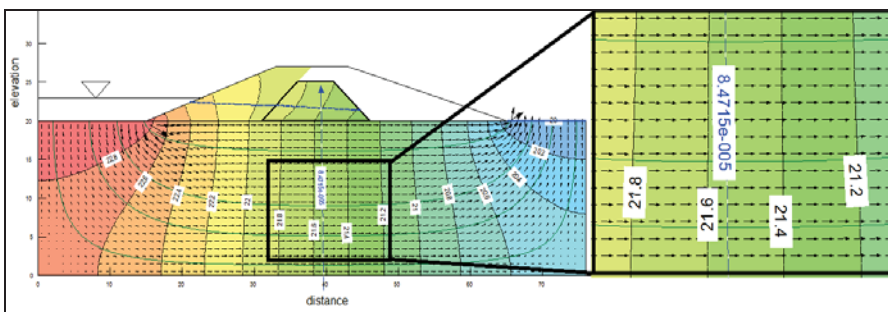
شکل ۷- خطوط هم‌پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۴



شکل ۸- خطوط هم‌پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۵



شکل ۹- خطوط هم‌پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۶



شکل ۱۰- خطوط هم‌پتانسیل و مقدار نشت از مقطع شماره ۷

### نتیجه گیری:

نتایج نشان داد که با توجه به طول زیاد سد در این تحقیق دبی نشت از آبرفت‌های سد سورک با استفاده از نرم افزار Seep/w محاسبه گردید، در صورت استفاده از یک مقطع جهت تحلیل، نتایج ضعیفی به دست می‌آید، به همین دلیل طول سد به هفت بخش تقسیم شد که هر بخش به طول مشخصی از سد اختصاص پیدا می‌کند. نتایج به دست آمده برای هر مقطع بر حسب  $(m^3)$  برای یک متر از واحد طول می‌باشد که این مقدار در طول اختصاص یافته به هر بخش ضرب شده و مقدار نشت کلی برای آن مقطع را نشان می‌دهد. مقدار دبی نشت برآورد شده توسط نرم‌افزار برای کل طول، در حدود  $640000$  متر مکعب در سال می‌باشد. این مقدار بسیار قابل توجه می‌باشد و باید مورد توجه طراحان قرار گیرد و جهت رفع آن اقدامات لازم انجام گردد.



## تشکر و قدردانی:

نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دارند تا از شرکت مهندسين مشاور زاینده‌آب به‌خاطر در اختیار قرار دادن گزارشات تشکر و قدردانی نمایند.

## منابع فارسی:

- ۱- شهبازی، م.، غفوری، م.، لشکری‌پور، غ.، ۱۳۸۹، بررسی نشت و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در ایستگاه -های N7 و W7 خط ۷ متروی تهران، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین.
- ۲- شمسایی، ا.، ۱۳۷۷، هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل، جلد دوم، مهندسی آب‌های زیرزمینی، مرکز نشر دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- ۳- امین‌جواهری، ا.، پاک‌نیت، ا.، ۱۳۸۸، تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از *Geo Studio*. چاپ اول، انتشارات نشر علم عمران.
- ۴- سواری، م.، موسوی‌چهرمی، ح.، ۱۳۸۸، ارزیابی و بررسی روش‌های کنترل و نشت از بدنه سدهای خاکی بوسیله نرم افزار seep/w (مطالعه موردی سد خاکی گذارلندر)، دومین همایش سد سازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.
- ۵- مهندسين مشاور زاینده‌آب، ۱۳۸۳، گزارش مطالعات ژئوتکنیک سد سورک، ۱۲۹ص.

## References:

- 1- Krahn, J. (2004). *Seepage Modeling with SEEP/W an Engineering Methodology*, 1th edition.