Archive of SID

ارزیابی تراوش در سدهای خاکی با استفاده از اندازه گیری دما- مطالعه موردی: سد خاکی شمیل واقع در استان هرمزگان خاکی

علی نورزاد [i]; آرزو محمدی [ii]

چکیده

فرسایش داخلی یکی از عوامل اصلی شکست سدهای خاکی می باشد که به سبب شسته شدن ذرات ریز خاک بوجود آمده و باعث ایجاد تراوش متمرکز در قسمت هایی از سد می شود. به همین دلیل، وجود سیستم بررسی تراوش جهت مراقبت و نظارت بر سد ضروری می باشد. بیشتر سیستم های ارزیابی تراوش موجود، قادر به تشخیص تغییرات کوچک در تراوش نمی باشند. اندازه گیری دما یکی از روش های جدید ارزیابی تراوش در سدهای خاکی می باشد که این روش برخلاف روش های سنتی قادر به تشخیص فرآیندهای وابسته به زمان مانند فرسایش داخلی و تغییرات کوچک تراوش می باشد. در این مقاله، با تحلیل داده های بدست آمده از اندازه گیری ماهانه دما در سد خاکی شمیل واقع در استان هرمزگان، فرسایش داخلی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: سد خاکی، فرسایش داخلی، ارزیابی تراوش، اندازه گیری دما.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۲/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۹/۳۰

[i] استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، دانشکده آب، noorzad@pwut.ac.ir

[ii] دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعت آب و برق.

۱- مقدمه

بررسی فرسایش داخلی و تراوش در سدهای خاکی از مسائل مهم در مراقبت و نگهداری از سد می باشد که در بیشتر سدهای جهان صورت می گیرد. پیشرفت های اخیر در زمینه ارزیابی با استفاده از اندازه گیری دما باعث بهبود روش های مراقبت شده است. بیشترین کاربرد این روش در ارزیابی بلند مدت است که تراوش های کوچک و آرام و همچنین محل دقیق ناحیه تحت تراوش را مشخص می سازد. این روش بر این اساس است که تغییر در نفوذ پذیری خاک باعث تغییر در مقدار تراوش می شود که این تغییرات نیز به نوبه خود باعث تغییر دما می شود. حساسیت این روش در حدود $۱۰^{-۵}$ $m^3/s, m$ برای سدهای عادی می باشد. ولی ممکن است کم یا زیاد شود که این امر بستگی به محل اندازه گیری دما و شرایط محلی دارد.

دمای یک سد خاکی عمدتاً به دمای مخزن و هوای اطراف آن بستگی دارد. از آنجا که تغییرات دما در همه آب های سطحی روی می دهد پس دماهای مذکور نیز به صورت فصلی تغییر کرده و باعث ایجاد موج های گرمایی در سد می شوند.

دمای مخزن در بالادست زمانی یک سد خاکی را تحت

www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر قرار می دهد که میزان تراوش در سد بیش از حالت عادی باشد. معمولا جریان تراوش کم تاثیری در دمای سد نداشته و دما تقریبا به صورت ثابت باقی می ماند که با افزایش جریان تراوش در سد به طور فصلی تغییر می کند. در حالت کلی دامنه تغییرات دما بستگی به میزان جریان تراوش، تغییرات فصلی دما در مرزهای جریان و به فاصله مرز تا نقطه اندازه گیری دما دارد.

اندازه گیری دما در سدهای خاکی اولین بار در سال ۱۹۵۷ در آلمان شروع شد(Kappelmayer 1957). اصطلاحات بیشتر این روش در سوئد در سال ۱۹۹۰، موقعی که فرآیندهای گرمایی مطالعه می شد صورت گرفت .اگر چه استفاده از این روش به کندی رایج شد، ولی امروزه مورد قبول همگان قرار گرفته و به طور موفقیت آمیزی در سدهای خاکی، بخصوص در آلمان و سوئد استفاده می شود (Armbruster and Merkler 1983; Merkler *et al*. 1989; Johansson 1991, 1997). از سال ۱۹۸۷ اندازه گیری های کوتاه مدت و بلند مدت دما در ۳۰ سد کشور سوئد انجام گرفته و امروزه در آیین نامه ها و توصیه نامه های سوئدی این روش ارزیابی سفارش شده است.

متاسفانه در ایران علی رغم توجه زیاد به سد سازی و نیاز اساسی به ارزیابی تراوش در سدها، تا به حال اقدامی مناسب در این خصوص نشده بود. برای اولین بار ارزیابی تراوش از طریق اندازه گیری دما در سد خاکی شمیل در سال ۱۳۸۷ صورت گرفت. در اینجا، ابتدا فرآیندهای انتقال حرارت و سپس روش های عددی برای بررسی تراوش به روش حرارتی و نتایج بدست آمده از بررسی تراوش در سد خاکی شمیل آمده است.

۲- فرآیندهای انتقال حرارت

انتقال گرما به تعادل و جابجایی انرژی در یک سیستم بستگی دارد. در مورد محیط متخلخل،انتقال گرما مجموعه ای از فرآیندهای پیچیده که بین فازهای مختلف محیط (جامد و سیال) صورت می گیرد، میباشد. در مقیاس ماکروسکوپی، مهم ترین فرآیندهای انتقال حرارت در محیط متخلخل انتقال یا هدایت گرما(Conduction) و جابجایی یا همرفت حرارتی(Convection) می باشد.

۲-۱- انتقال یا هدایت گرما

انتقال حرارت از طریق هدایت، در اثر اختلاف درجه حرارت بین دو نقطه از آن جسم صورت می گیرد. در این حالت ذرات جسم تغییرات قابل ملاحظه ای ندارند. هدایت در حقیقت انتقال انرژی حرارتی یک مولکول به مولکول مجاور می باشد. تجربه نشان می دهد در صورت وجود گرادیان حرارتی در یک جسم، انرژی از جای گرم به جای سرد منتقل می شود. شدت انتقال انرژی برای واحد سطح جسم متناسب است با گرادیان درجه حرارت:

$$q = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} \qquad (۱)$$

که در این رابطه q: شدت جریان حرارتی (w)، A: سطح جسم (m^2)، λ: ضریب هدایت حرارتی(W/m. k)، $\partial T/\partial x$: گرادیان حرارتی است.

اگر سیستم در جریان حرارتی ثابت باشد یعنی درجه حرارت نقاط مختلف بر حسب زمان تغییر نکند و فقط انتقال حرارت در جهت محور x صورت پذیرد؛ کافیست از رابطه(۱)انتگرال گیری کنیم تا شدت جریان بدست آید. ولی اگر درجه حرارت جسم بر حسب زمان تغییر کند و یا اگر منبع حرارتی در جسم باشد مسئله مشکل تر خواهد شد. با در نظر گرفتن یک حالت کلی، یعنی امکان تغییرات دما با گذشت زمان و وجود منبع گرمایی در داخل جسم، برای یک المان به ضخامت dx می توان موازنه انرژی را به صورت زیر نوشت:

انرژی تولید شده داخل جزء مورد نظر+ انرژی هدایت شده از سطح چپ به داخل= تغییرات انرژی داخلی + انرژی هدایت شده از راست به چپ

با ترکیب روابط فوق معادله زیر بدست می آید:

$$-\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q} A dx = \rho c A \frac{\partial T}{\partial x} dx - A\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) dx\right]$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق

T: دما (K)

x: طول مسیر (m)

$\dot{q}$: انرژی تولید شده به ازای واحد حجم (W/m^3)

c: ظرفیت حجمی گرمای ویژه خاک(J/kg. K)

www.SID.ir

Archive of SID

ρ: وزن مخصوص (kg/m^3)

معادله مذکور مربوط به هدایت گرمایی یک بعدی می باشد. برای هدایت حرارت در حالت سه بعدی نیز می توان نوشت:

$$q_x + q_y + q_z + q_{gen} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} + \frac{dE}{dt}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (۳)$$

با در نظر گرفتن $\dot{q}=0$ (تولید انرژی در واحد حجم وجود نداشته باشد) برای فرآیند هدایت گرمای توده خاک می توان نوشت :

$$C_o \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_o \frac{\partial T}{\partial x}\right) \quad (۴)$$

که درآن C_o ظرفیت حجمی گرمای خاک می باشد. با استفاده از رابطه(٤) می توان هدایت گرما در هر سازه خاکی در یک بعد را تعیین کرد.

۲-۲- انتقال گرما از طریق جابجایی یا همرفت

درانتقال حرارت به وسیله جابجایی، مولکول ها متحرک بوده و انرژی حرارتی را با خود جابجا می کنند. در این حالت قسمتی از سیال با قسمت دیگر مخلوط شده و عمل جابجایی یا همرفت صورت می پذیرد. جابجایی در واقع انتقال انرژی با حرکت حجمی سیال می باشد.

در سدهای خاکی بخش مربوط به جابجایی گرما به علت تراوش به وجود می آید. سرعت دمایی V_T به صورت زیر می تواند تعریف شود (Claesson *et al.* 1985):

$$V_T = \frac{C_w}{C_o} q \quad (۵)$$

برای حرکت آب در خاک (محیط با مقدار تخلخل n) یک بعدی (درجهت x) با استفاده از قانون بقای جرم می توان نوشت:

$$\frac{\partial(\rho_f n)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_f q_i) = 0 \quad (٦)$$

که

ρ_f: دانسیته سیال(آب) (kg/m^3)است.

اغلب سرعت تراوش با یک شکل کلی قانون دارسی بیان می شود:

$$q_i = -\frac{k}{\mu}\left[\frac{\partial p}{\partial x} + \rho_f g\right] \quad (۷)$$

که درآن k: تراوایی (m^2)، μ: ویسکوزیته دینامیکی ($kg/m.\ s$) ، P : فشار(N/m^2)، g : شتاب ثقل (m/s^2)، q_i: نرخ نشت سیال (m/s) می باشد.

با استفاده از معادلات فوق و برای شرایط پایدار معادله حرکت را برای حرکت آب در خاک می توان به صورت زیر نوشت (ρ_f و μ ثابت می باشند):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K \frac{\partial p}{\partial x} + \rho_f K g\right] = 0 \quad (۸)$$

این معادله با شرایط اولیه و مرزی مخصوص مسئله، نشت آب در خاک را توصیف می کند که به وسیله تغییرات فشار و تغییرات دانسیته آب به وجود آمده است.

تراوایی k مستقل از خواص سیال می باشد و رابطه بین تراوایی ($k(m^2)$و هدایت هیدرولیکی K(m/s) به صورت زیر می باشد:

$$K = \frac{g\rho_f}{\mu} k \quad (۹)$$

۳- ارزیابی تراوش در سدهای خاکی از طریق اندازه گیری دما

ارزیابی تراوش در سد خاکی به دو روش صورت می گیرد:

الف) روش پاسیو که در آن دما به صورت یک ردیاب برای تشخیص حالات غیر عادی حرارتی عمل می کند در این روش ارزیابی تراوش با استفاده از روش های اندازه گیری دما بر اساس تحلیل تاخیر موج گرمایی، تحلیل دامنه و روش های عددی صورت می گیرد.

ب) روش اکتیو که در این روش وجود آب در خاک با بررسی عکس العمل حرارتی خاک که به علت گرما ایجاد می شود توضیح داده می شود.

در این مقاله صرفاً بررسی تراوش در سدهای خاکی به روش عددی توضیح داده می شود.

۳-۱- روش عددی

برنامه کامپیوتری به نام DamTemp برای شبیه سازی شار انرژی در سدهای خاکی استفاده می شود. این برنامه

www.SID.ir

Archive of SID

برای ارزیابی تراوش در یک ناحیه محدود از هسته قابل استفاده است. این برنامه میدان حرارتی را در دو بعد با فرض اینکه بعد سوم در طول سد ادامه پیدا می کند را محاسبه می کند. در این روش انتقال حرارت از طریق هدایت و جابجایی (همرفت) با چند فرض ساده و مهم شبیه سازی می شود.

میدان دما در مناطق تحت تراوش و همچنین مصالح اطراف توسط جریان تراوش (گستردگی یا جابجایی جریان) و شرایط مرزی داده می شود. در این برنامه سه لایه برای مدل سازی در نظر گرفته می شود همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است :

۱) لایه فوقانی با هدایت گرما (در جهت x و y) و بدون در نظر گرفتن جابجایی

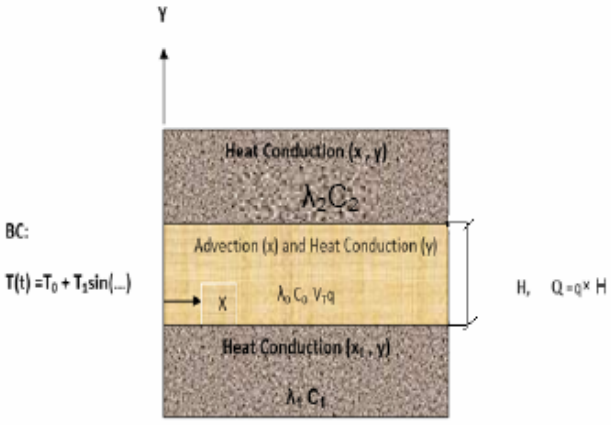
۲) لایه میانی تحت تراوش با خاصیت جابجایی گرما در جهت x و هدایت گرما در جهت y

۳)لایه تحتانی با خاصیت هدایت گرما (در جهت x و y) و بدون جابجایی

۳-۱-۱ مراحل ارزیابی تراوش به روش عددی

بررسی تراوش با استفاده از داده های بدست آمده از اندازه گیری دما در چند مرحله صورت می گیرد که در ذیل اشاره شده است:

الف) معرفی محل نقطه اندازه گیری/ پروفیل قائم وانتخاب داده های حرارتی



شکل (۱): فرضیات اصلی و پارامترهای مدل

ب) بررسی داده های حاصل از اندازه گیری به منظور یافتن نشانه ای از تراوش متمرکز

ج) تعیین شرایط مرزی و مخزن

د) تعیین فاصله مرز بالادست تا نقطه اندازه گیری

ه) شبیه سازی با نرم افزار DamTemp

٤- موقعیت و ساختگاه سد خاکی شمیل

حوضه آبریز رودخانه های شمیل و نیان (حسن لنگی) با وسعت ۲۰۰۰ کیلومتر مربع که سرشاخه های اصلی آن به نام چیل، شق رود سردار احمدی از ارتفاعات ۲۵۷۵ متری کوه های شاه احمدی و ٢٦٤٥ متری پشکوه و کوه های شیخ عالی در شمال شرقی شهرستان بندر عباس سرچشمه می گیرند و پس از به هم پیوستن با جهتی از شمال به جنوب تشکیل رودخانه حسن لنگی را می دهند. محل دریاچه مشترک شمیل و نیان در منطقه روستای شمیل، پشت بند تا گلوگاه رودخانه زندان ادامه می یابد و سرانجام وارد خلیج فارس می شود. محل ساخت سد شمیل و نیان در استان هرمزگان به فاصله حدود ۹۰ کیلومتری شمال خاوری شهر بندر عباس، واقع در ۱۲ کیلومتری شمال روستای شمیل است (شکل۲).

سدهای شمیل و نیان از نوع سدهای خاکی سنگریزه ای و با هسته رسی می باشند و ارتفاع این دو سد تقریبا برابر ۳۲ متر و دارای مخزن مشترک می باشند. مشخصات سد شمیل در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصه های مربوط به اجزای اصلی سد خاکی شمیل

ارتفاع سد	۳۲/۳ متر
درازی تاج	۱۲۰۰ متر
پهنای تاج	۸ متر
پهنای سد در پی	۲۱٤ متر
ژرفای دیواره آب بند	۱۰ متر
پهنای دیواره آب بند	٦۰ سانتی متر

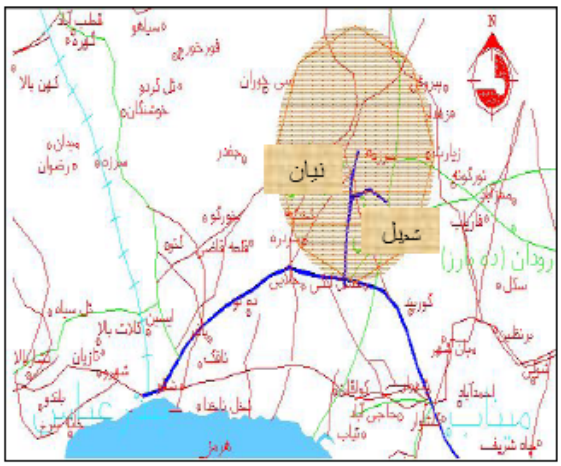
پی ساختگاه را کنگلومرای بالایی سازند آغاجری به سن میوسن پسین – پلیوسن تشکیل می دهد که دارای بافت سنگی مشابهی با آبرفت می باشد و تشخیص آنها در مغزه های حفاری دشوار است. نهشته های آبرفتی شامل آبشست دامنه ای،آبرفت رودخانه ای می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

نهشته های آبرفتی از جنس شن ماسه ای لای دار و قلوه سنگ می باشند. سنگدانه های تشکیل دهنده آبرفت از جنس سنگ آهک، سنگ سیلیس و سنگ های آذرین است که گرد شده تا نیمه گرد می باشند.

پی سنگ بستر و تکیه گاه ها را کنگلومرای شمیل تشکیل می دهد. کنگلومرای یاد شده از لایه های کنگلومرا، ماسه سنگ، میکرو کنگلومرا و گلسنگ بوجود آمده است.



شکل(۲): موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد شمیل و نیان

۵- ارزیابی تراوش در سد خاکی شمیل

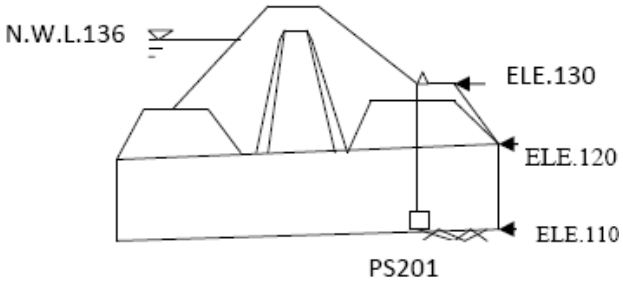
بررسی تراوش با استفاده از داده های بدست آمده از اندازه گیری دما طبق مراحل ذکر شده انجام شد:

الف) معرفی محل نقطه اندازه گیری

اندازه گیری دما از طریق دو پیزومتر لوله های قائم PS201 و PS1141 انجام شد. اندازه گیری دما با استفاده از دستگاه Level Temperature Meter که دقت آن در حدود $\pm$ ۰/۱°c می باشد، صورت گرفت. در این مقاله فقط تراوش در لوله قائم PS201 مورد بررسی قرار گرفته است. این لوله در ۸۷۰ متری پایین دست بر روی سنگ بستر در تراز ۱۱۰ متری قرار گرفته و تا تراز ۱۳۰ متری ادامه می یابد (شکل ۳).

ب) بررسی داده های حاصل از اندازه گیری دما

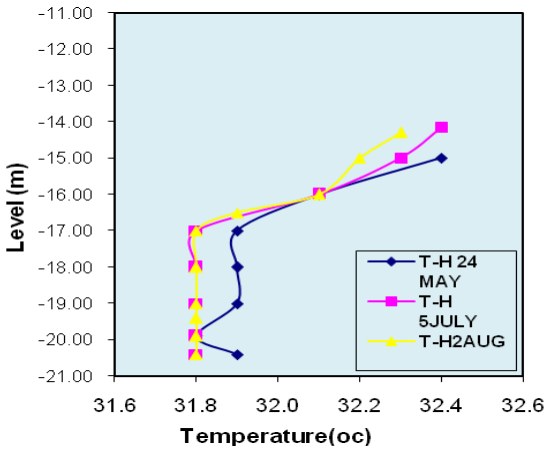
اندازه گیری دما در تاریخ ٤ خرداد، ۱۵ تیر و ۱۲ مرداد سال ۱۳۸۷ در عمق های مختلف صورت گرفت. دمای مخزن نیز با استفاده از همین وسیله و در عمق های مختلف اندازه گیری شد. به علت کم آبی و خشکسالی سطح آب کم(سطح تراز آب مخزن۱۱۲/٤ متر بود) و به تبع آن تغییرات دما کم بود. داده های حاصل از اندازه گیری دما در مخزن و تراز های مختلف لوله PS201 به صورت نمودار پروفیل قائم دما برای زمان های مختلف(شکل ٤) نشان داده شده است. با توجه به شکل (٤) تغییر ناگهانی دما در عمق های ۲۰ و ۱۷ متری در خرداد ماه و یک افزایش ناگهانی در تیر و مرداد ماه در عمق ۱۷متر دیده می شود که باید به منظور اطمینان از تراوش بررسی گردد.



شکل (۳) : تراز و محل لوله قائم PS201

ج) تعیین شرایط مرزی و مخزن

مشخصه های لازم جهت شبیه سازی متوسط دمای مخزن در فواصل تعیین شده، دامنه دما و همچنین تاریخ مربوط به ماکزیمم دمای مخزن می باشد. متوسط دمای مربوط به مخزن در فاصله ۸۷۰ متری سد ۳۲/۱ درجه سانتی گراد و دامنه دما ۲/۹ درجه سانتی گراد و ماکزیمم دمای مخزن در ۱۲ مرداد می باشد.



شکل(۴) : پروفیل قائم دما در عمق های مختلف لوله قائمPS201، سال ۱۳۸۷

www.SID.ir

Archive of SID

د) تعیین فاصله مرز بالادست تا نقطه اندازه گیری

به دلیل پایین بودن سطح تراز آب (۱۱۲/۴۲ m) فاصله مرز بالادست تا عمق های ۱۷و ۲۰ متری برابر با ۱۱۲/۵۵ متر می باشد. جنس زمین در لایه فوقانی مربوط به لوله قائم PS201 کنگلومرا و لایه میانی (ناحیه تحت تراوش) آهک و لایه تحتانی کنگلومرا می باشد. ویژگی های حرارتی هر یک از لایه ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. ویژگی های حرارتی هر یک از لایه های مورد نظر

ویژگی حرارتی / لایه	ظرفیت حجمی ویژه گرما ($MJ/m^3.K$)	ضریب هدایت حرارتی(W/m. k)
لایه فوقانی (کنگلومرا)	۲/۱	۲/۸
لایه میانی (آهک)	۲/۳	۲/۲
لایه تحتانی (کنگلومرا)	۲/۱	۲/۸

م) شبیه سازی با نرم افزار DamTemp

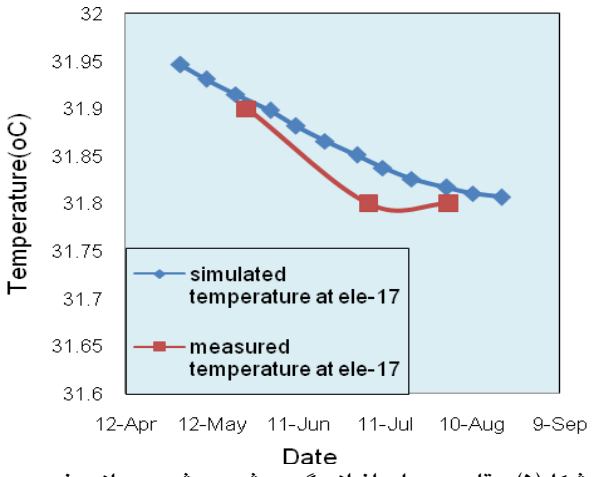
برای شبیه سازی علاوه بر مشخصه های تعیین شده در بالا، با توجه به نمودار پروفیل قائم دما ارتفاع ناحیه تحت تراوش و مقدار تراوش در عمق مورد نظر تخمین زده می شود و بعد از چندین بار آزمون مقدار مورد نظر بدست می آید.

با توجه به پروفیل قائم دما برای لوله قائم PS201 ارتفاع ناحیه تحت تراوش در عمق ۱۷متری (٤خرداد)، ۰/۵ متر و مقدارتراوش بازای‌واحد (q) طول $m^3/m.s$ ۱۱×۱۰^{-۶} تخمین زده می شود که بعد از چندین بار آزمون و خطا مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۲×۱۰^{-۶} و ارتفاع مناطق تحت تراوش ۰/۲۵ متر مقدار مناسبی به نظر می رسد.

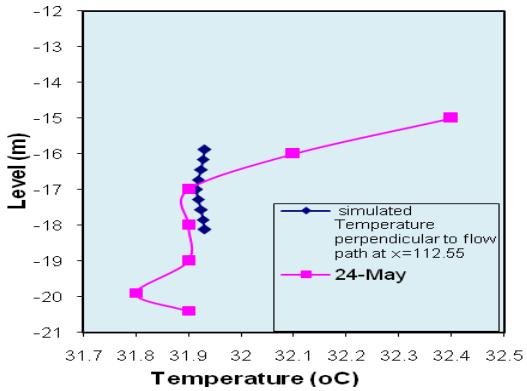
داده های بدست آمده از شبیه سازی و داده های بدست آمده از اندازه گیری دما به صورت دو نمودار تغییرات دما نسبت به زمان (شکل۵) و پروفیل قائم دما (شکل٦) با هم مقایسه شده و نشان می دهد که مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۲×۱۰^{-۶} و ارتفاع ناحیه تحت تراوش ۰/۲۵ متر مقدار مناسبی می باشد.

برای عمق ۱۷متری در تاریخ ۱۵ تیر و ۱۲ مرداد مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰^{-۶} و ارتفاع ناحیه تحت تراوش یک متر تخمین زده شده است. مقایسه دو نمودار دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی شده نسبت به زمان(شکل۷)، پروفیل قائم موجود و شبیه سازی شده (شکل ۸) نشان می دهد که مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰^{-۶} و ارتفاع ۰/۵ متر مقدار مناسبی می باشد.

برای عمق ۲۰ متری در ٤ خرداد ماه یک تغییر ناگهانی دما دیده می شود. با توجه به نمودار پروفیل قائم دما می توان ارتفاع ناحیه تراوش را یک متر و مقدار تراوش را $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰^{-۶} در نظر گرفت. مقایسه دو نمودار دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی شده نسبت به زمان(شکل۹)، پروفیل قائم موجود و شبیه سازی شده(شکل ۱۰) نشان می دهد که مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰^{-۶} و ارتفاع ۰/۵ متر مقدار مناسبی می باشد.



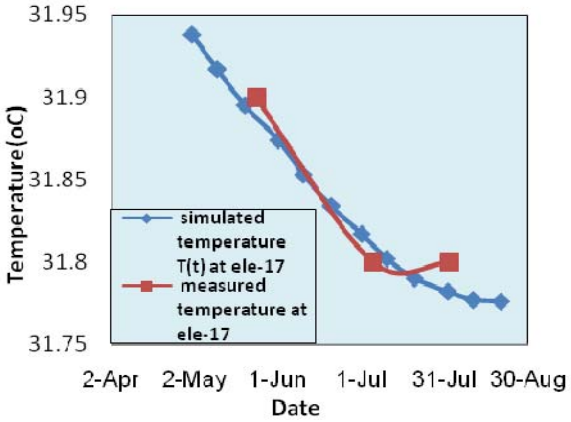
شکل(۵): مقایسه دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی نسبت به زمان عمق۱۷متری، PS201، ۴ خرداد سال ۱۳۸۷



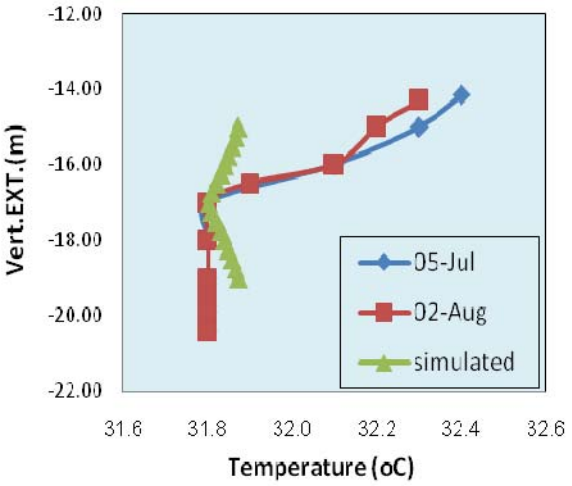
شکل(۶): مقایسه پروفیل قائم موجود و شبیه سازی شده درعمق۱۷ متری، PS201، ۴ خرداد سال۱۳۸۷

www.SID.ir

Archive of SID



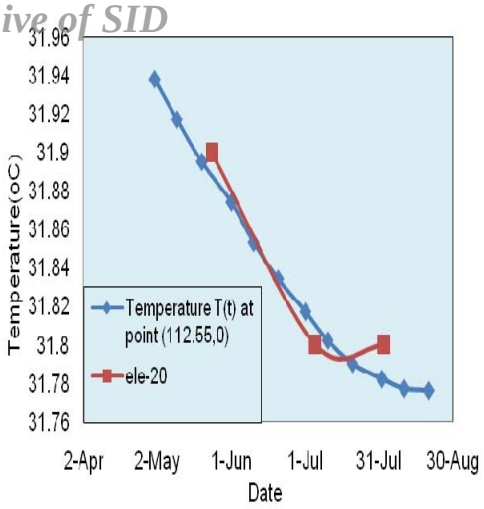
شکل(۷):مقایسه دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی نسبت به زمان عمق ۱۷متری، PS201، ۱۵ تیر و ۱۲ مرداد سال ۱۳۸۷



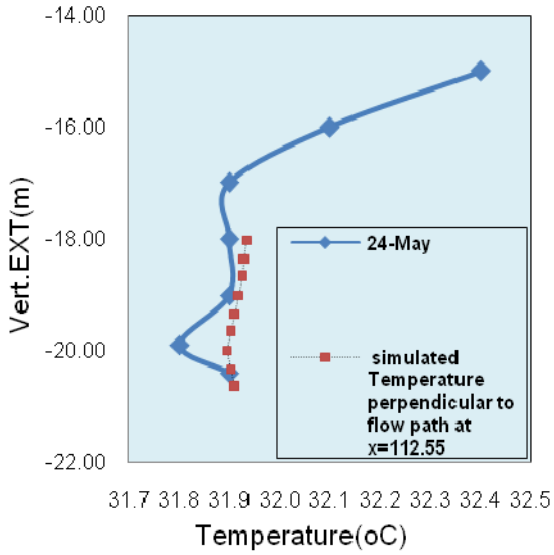
شکل(۸): مقایسه پروفیل قائم موجود و شبیه سازی شده در عمق۱۷متری، PS201، ۱۵ تیر و ۱۲ مرداد سال۱۳۸۷

با مقایسه نمودارهای مربوط به شبیه سازی انجام شده مشاهده می شود که در عمق ۱۷ متری مقدار تراوش از ۱۲×۱۰^{-۶} $m^3/m.s$ در خرداد ماه به ۱۳×۱۰^{-۶} $m^3/m.s$ در تیر و مرداد و همچنین ارتفاع ناحیه تحت تراوش از ۰/۲۵ متر به ۰/۵ متر افزایش یافته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت در عمق ۱۷متری به علت شسته شدن ذرات و فرسایش داخلی به مرور زمان ارتفاع ناحیه تراوش و همچنین مقدار تراوش افزایش می یابد.

از آنجا که در عمق ۲۰متری در تیر و مرداد ماه هیچ تغییر دمایی دیده نمی شود مقدار تراوش را ثابت در نظر می گیریم. از طرف دیگر در خرداد ماه در عمق ۲۰ متری تغییر ناگهانی دما دیده می شود. طبق شبیه سازی انجام شده در بالا میزان تراوش در عمق ۲۰ متری (٤ خرداد) ۱۳×۱۰^{-۶} $m^3/m.s$ و ارتفاع ناحیه تحت تراوش ۰/۵ متر می باشد.



شکل (۹): مقایسه دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی نسبت به زمان عمق ۲۰ متری ، PS201 ، ۴ خرداد سال ۱۳۸۷



شکل (۱۰): مقایسه پروفیل قائم موجود و شبیه سازی شده درعمق ۲۰ متری، PS201، ۴ خرداد سال۱۳۸۷

۶- نتیجه گیری

اندازه گیری دما جهت بررسی تراوش در سدهای خاکی یکی از حساس ترین روش های ژئوفیزیکی می باشد. مزیت این روش نسبت به روش های دیگر این است که با استفاده از این روش می توان محل دقیق تراوش و حتی کوچکترین مقدار تراوش را بدست آورد. از طرف دیگر، روش اندازه گیری دما یک روش ارزیابی بلند مدت است که تا حدودی برخی مواقع جزء معایب این روش محسوب می شود.

همان طور که می دانیم، با تغییر سطح آب مخزن میزان تراوش نیز تغییر می کند. تجارب بدست آمده از ارزیابی

www.SID.ir

Archive of SID

تراوش در سد خاکی شمیل نشان می دهد که در صورت پایین بودن سطح آب (به علت خشکسالی و کم آبی سطح آب مخزن سد شمیل کم بود) میزان تراوش در نقاط مزبور کم شده و به تبع آن میزان تغییرات دما نیز کم خواهد شد. این مسئله در نمودار پروفیل قائم دمای مربوط به لوله PS201 قابل مشاهده می باشد. طبق این نمودار تغییر ناگهانی دما در عمق ۱۷ و ۲۰ متری دیده می شود که این تغییر دما بسیار کم می باشد. مقدار تراوش بدست امده از شبیه سازی در عمق ۱۷متری $m^3/m.s$ ۱۲×۱۰$^{-۶}$در خرداد ماه $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰$^{-۶}$ در تیر و مرداد می باشد. برای عمق ۲۰ متری در خرداد ماه مقدار تراوش $m^3/m.s$ ۱۳×۱۰$^{-۶}$بوده ولی در تیر و مرداد مقدار تراوش ثابت است که این مقدار تراوش بسیار کم می باشد.

یکی دیگر از نکات مهمی که در بررسی تراوش سد خاکی شمیل بدست آمد در ارتباط با اندازه گیری دمای مخزن می باشد. از آنجا که دمای مخزن در عمق و فواصل مختلف متفاوت می باشد توصیه می شود دمای مخزن در فواصل نزدیک به امتداد لوله قائم اندازه گیری شود و همچنین تغییرات دما به صورت متوسط بیان شود.

۷- تقدیر و تشکر

برخود لازم می دانیم از شرکت سهامی آب منطقه ای هرمزگان و شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر) بدلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم و اجازه نصب ابزار و از شرکت دیداس بخاطر حمایت، پشتیبانی و همکاری در خرید و نصب ابزار مورد نیاز تشکر کنیم. همچنین از زحمات و همکاری های علمی جناب آقای امیر عطا تقوی دانشجوی دکتری مکانیک خاک و پی دانشگاه علم و صنعت در انجام این تحقیق تشکر و قدر دانی می شود.

۸- مراجع

[۱] **گزارش طرح احداث سدهای شمیل و نیان و تاسیسات وابسته**، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، ۱۳۸۰.

[۲] Armbruster, H.; Merkler, G.-P; "Measurement of Subsoil Phenomena by Thermic and Geoelectric methods", Bulletin of the International Association of Engineering Geology, p.p.135–142, 1983 (Paris).

[۳] Claesson, J.; Eftring, B.; Eskilson, P.; Hellström, G.; "Markvärme - en Handbok om Termiska Analyser, (Ground Heat Systems - a Handbook on Thermal Analyses)", Swedish Council for Building Research, 1985.

[٤] Johansson, S.; "Localization and Quantification of Water Leakage in Ageing Embankment Dams by Regular Temperature Measurements", Proceedings of the 17th Congress of International Commission on Large Dams (ICOLD), 1991 (Austria).

[٥] Johansson, S.; "Seepage Monitoring in Embankment Dams", Doctoral Thesis, TRITA-AMI PHD 1014, ISBN 91-7170-792-1, Royal Institute of Technology, 1997.

[٦] Kappelmeyer, O.; "The Use of Near Surface Temperature Measurements for Discovering Anomalies due to Causes at Depths", Geophysical Prospecting, vol. 3, p.p. 239-258, 1957.

[۷] Merkler, G.P.; Militzer, H.; Hötzl, H.; Armbruster, H. ; Brauns, J.;" Detection of Subsurface Flow Phenomena", Lecture Notes in Earth Sciences, Springer Verlag Berlin,

www.SID.ir