

بررسی احتمال نشت آلاینده از تکیه‌گاه‌های سد باطله معدن مس سونگون با استفاده از خصوصیات ژئوتکنیک و شواهد هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی

عبدالرضا واعظی هیر^{۱*} و یونس جودت سعدآباد^۲

^۱ دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت: ۹۵/۳/۳۰، پذیرش: ۹۵/۱۱/۹، نشر آنلاین: ۹۵/۱۱/۱۰)

چکیده

سد باطله آیت‌کندی به منظور ذخیره باطله حاصل از فرآیند تغلیظ مس و مولیدن معدن مس سونگون احداث شده است. در این مطالعه با توجه به ماهیت آلاینده‌ها و امکان آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی پایین دست به فلزات سنگین، بررسی‌ها در دو بخش نمونه‌برداری آب و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در طی فصول سال و نیز مطالعه نفوذپذیری توده سنگ تکیه‌گاه‌ها و بستر رودخانه زرنکاب (مخزن اصلی) انجام گردید. روند کلی نمونه‌برداری از نزدیکی منبع آلودگی (سد باطله) به سمت پایین دست می‌باشد همچنین با استفاده از عدد لوژان و رفتارهای هیدرومکانیکی درزه‌های مربوط به گمانه‌های حفر شده در محدوده، تخمین مناسبی از امکان نشت آب از سد باطله در ترازهای مختلف انجام گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، ارتباط منطقی از نظر داده‌های هیدروژئوشیمیایی بین آب مخزن سد باطله در تراز فعلی آن و ایستگاه‌های پایین دست مشاهده نمی‌شود. همچنین با توجه به داده‌های موجود، در حال حاضر نشت از سد باطله معدن مس سونگون در تراز فعلی آن صورت نمی‌گیرد ولی با افزایش فشار هیدرولیکی امکان نشت وجود دارد، بنابر این برنامه‌ریزی برای اجرای طرح‌هایی جهت علاج بخشی و جلوگیری از هرگونه نشت ضروری می‌باشد.

کلید واژه‌ها: سد باطله، معدن سونگون، نفوذپذیری، خصوصیات هیدروشیمیایی، رفتارهای هیدرومکانیکی.

۱- مقدمه

معمولی سدهای خاکی ساخته می‌شود و این سد باید محکم و دارای ارتفاع آزاد کافی باشد. سدهای باطله از نوع سدهای بالارو با هسته رسی به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود: سد اصلی یا آغازین^۱، سد نشت‌گیر^۲. این نوع سدهای باطله از کم‌هزینه‌ترین و ساده‌ترین نوع سدهای باطله است که باید دارای استحکام و ارتفاع آزاد کافی باشند (Al-Busaidi, ۱۹۹۸). در بررسی آلودگی آب زیرزمینی به دلیل وجود سد باطله معدن مس در کشور عمان که توسط Sharma (۲۰۰۱) انجام گردید، مشخص گردید که ابر آلودگی تا فاصله ۱۴ کیلومتر پایین‌تر از سد باطله حرکت داشته است. در پشت این سد باطله بدون پوشش ۱۱ میلیون تن باطله سولفیدی و ۵ میلیون مترمکعب آب دریا که برای معدن کاری استفاده می‌شد، قرار دارد. شکل (۱) موقعیت مجتمع مس سونگون را نشان می‌دهد (ملاپیری، ۱۳۹۲).

یکی از نگرانی‌های اصلی در فرآوری و تهیه کنسانتره در معادن کانسارهای فلزی، تعیین محل دفع پساب و باطله است به همین منظور سدهای باطله برای جمع‌آوری و نگهداری پساب‌ها و مواد باطله حاصل از فرآیند تغلیظ، احداث می‌شوند از طرفی به علت فعل و انفعالات خاص شیمیایی که بر روی کانه استخراجی صورت می‌گیرد، عموماً دارای پتانسیل بالای آلودگی بوده و بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، بهداشت و سلامت جامعه، گیاهان، جانوران و خاک اثر نامطلوبی دارند. به طور کلی سد باطله یک ساختار طراحی شده برای نگه داشتن مواد باطله و آب حاصل از معدن کاری تعریف می‌شود. Jantzer (۲۰۰۵) سد باطله را به سه نوع بالارو، پایین رو و برجا تقسیم‌بندی کرد. سد باطله بالا رو کم هزینه‌ترین و ساده‌ترین نوع سد باطله است. برای ساخت این نوع سد، ابتدا یک سد خاکی کم‌ارتفاع با روش

1. Starter Dam
2. Seepage Dam

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۳۹۳۵۱۸

آدرس ایمیل: r.vaezi@tabrizu.ac.ir (ع. واعظی هیر)، younes.jodat@yahoo.com (ی. جودت سعدآباد).

به دلیل قرارگیری سد باطله معدن مس سونگون در بالادست زمین‌های زراعی و روستاها و همچنین یکی از سرشاخه‌های سد ستارخان اهر، تهدیدهای زیست محیطی در مقایسه با سدهای آبی به مراتب بیشتر می‌باشد. بنابراین هرگونه نشت، حتی در مقادیر ناچیز به دلیل ماهیت باطله ذخیره شده در مخزن سد، خطرات جدی محیط زیستی را به دنبال خواهد داشت. بخش اعظم حوضه آبریز زرنکاب که سد باطله معدن سونگون در داخل آن قرار گرفته است به وسیله توده نفوذی که در حقیقت زائده و رگه‌هایی از توده نفوذی اصلی سونگون می‌باشد، پوشیده شده است و یک سری برش‌های ولکانیکی دارای ترکیب داسیتی، توفهای ولکانیکی و افق‌هایی از گدازه‌های تراکی‌آندزیتی در مناطق مختلف حوضه رخنمون دارد. توده نفوذی در بخش‌های وسیعی از خود دچار دگرسانی گرمایی شدید شده و در بسیاری از موارد بافت اصلی سنگ به کلی تغییر نموده است به گونه‌ای که مجموعه دگرسان شده خرد شده سفید، زرد و قهوه‌ای رنگ جایگزین آن شده است. با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، سنگ‌شناسی منطقه عمدتاً از جنس تراکی‌آندزیت می‌باشد و دو سیستم گسل، سنگ‌های منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. هر دو سیستم شکستگی، با سیستم دایک‌ها همراه می‌باشند. دو سیستم گسله اصلی در منطقه دارای امتداد شمال شرق- جنوب غرب و شمالی- جنوبی می‌باشند که بارزترین سیستم شکستگی در محدوده مورد مطالعه است. همچنین بررسی آماری درزه‌های محدوده نشان می‌دهد که گسله‌ها و درزه‌ها عمدتاً دارای شیب زیاد (بیش از ۶۰ درجه) بوده و به موازات جهت‌های اصلی گسل‌های موجود در سطح منطقه هستند (جودت، ۱۳۹۳).

تعیین میزان نفوذپذیری توده سنگ کاربردهای ویژه‌ای در مسائل مربوط به آب زیرزمینی دارد که از جمله می‌توان به تعیین میزان نشت آب و برآورد میزان تزریق‌پذیری توده سنگ اشاره نمود. مرسوم‌ترین روش برای تعیین ضریب نفوذپذیری سنگ‌های درزه‌دار، استفاده از آزمایش لوژان می‌باشد که در این تحقیق از نتایج ۷۶ آزمایش لوژان انجام شده برای تعیین رفتارهای هیدرومکانیکی هریک از مقاطع استفاده گردید. علاوه بر ۴۹ حلقه گمانه حفر شده در محدوده مخزن سد در زمان مطالعات مکان یابی و اجرای طرح، در این پژوهش نیز سه حلقه گمانه هم در تکیه گاه‌ها و محور سد به منظور مطالعات دقیق‌تر در سال ۹۳ با پیشنهاد و نظارت مؤلفین و هزینه شرکت مس حفر گردید (شکل (۲)). همچنین به منظور بررسی تأثیرات سد باطله بر روی آب‌های سطحی محدوده اطراف سد، در چهار فصل از آب‌های سطحی و زیرزمینی پایین دست سد باطله معدن سونگون نمونه‌برداری صورت گرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مجتمع مس سونگون

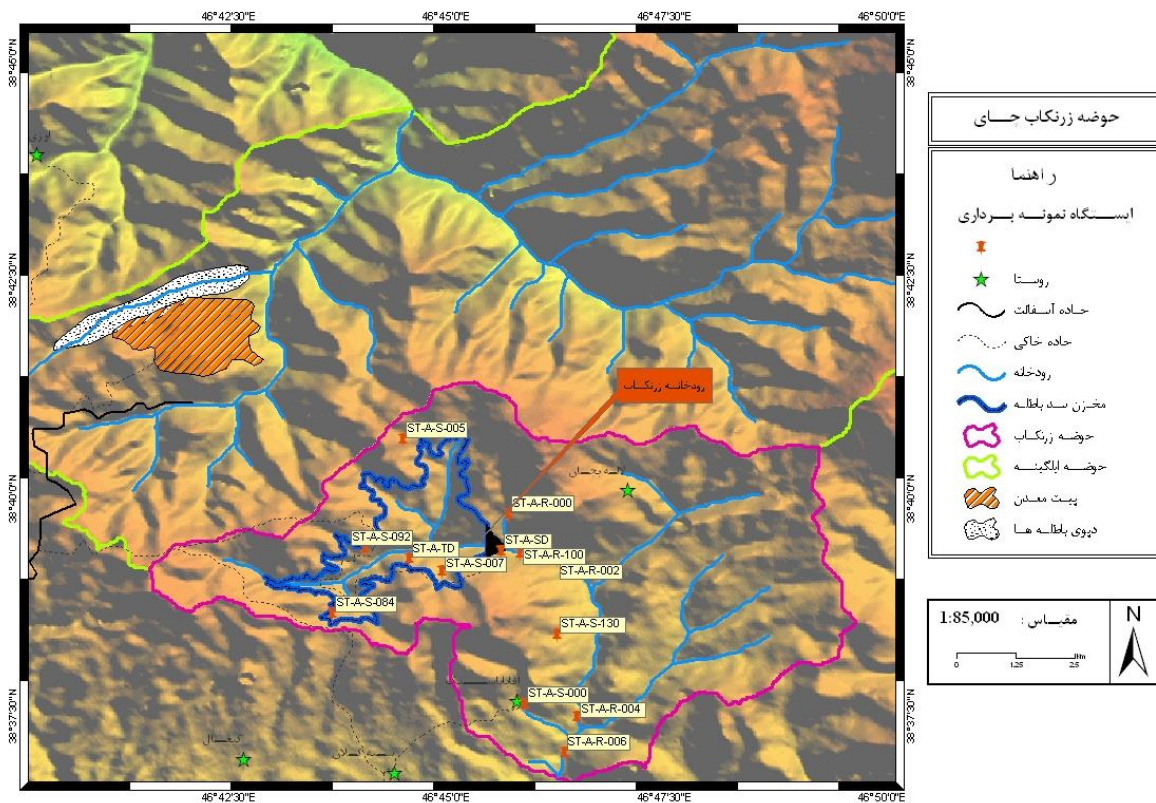
۲- مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در شمال آذربایجان شرقی، بالادست حوضه آبریز زرنکاب و در جنوب شرق معدن مس سونگون قرار دارد. این محدوده در منطقه کوهستانی قرار داشته که از جنوب به دشت اهر- ورزقان و از شمال به ارتفاعات ارسباران و دشت مغان محدود می‌شود. این منطقه در ارتفاع متوسط ۲۰۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. سد باطله از سال ۸۳ شروع به ذخیره باطله کرده است که به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود: سد اصلی یا آغازین^۱، سد نشت‌گیر^۲ سد اصلی (با ارتفاع نهایی ۱۸۶ متر) به منظور ذخیره باطله معدن مس سونگون در دوران بهره‌برداری و همچنین کنترل روان آب‌های ورودی حوضه آبریز با استفاده از مصالح درشت‌دانه و ریزدانه در حال احداث می‌باشد (ارتفاع کنونی ۱۱۵ متر می‌باشد). این سد به منظور جمع‌آوری نشت آب‌های احتمالی از بدنه پی و تکیه‌گاه‌های سد باطله و انتقال آن توسط ایستگاه پمپاژ مجاور مخزن احداث گردیده است نوع سد خاکی با هسته رسی به ارتفاع ۱۰ متر و طول تاج ۷۰ متر احداث شده است. کلیه نشتاب‌ها نیز توسط ایستگاه پمپاژ آب برگشتی جهت استفاده در سیستم کارخانه وارد سیکل می‌گردد. این سد با ۸۰۰۰ متر حفاری و تزریق ۴۰۰ تن سیمان در پی دارای پرده آب‌بند می‌باشد. آب ورودی به سد باطله ترکیبی از باطله سنگ‌های معدنی که شامل انواع کانی‌های فلزی، غیرفلزی و همچنین مواد شیمیایی افزوده شده در مرحله پرمیاسازی شامل: آهک کلکتورها و ... می‌باشد. باطله به صورت دوغاب وارد مخزن سد شده و پس از ته‌نشینی مواد جامد آب رویی برای استفاده مجدد در خط تغلیظ به کارخانه پمپاژ می‌شود حجم مخزن سد باطله در تراز نهایی ۲۷۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

1. Starter Dam
2. Seepage Dam



شکل ۲- تصویر گوگل از سد باطله، گمانه‌های موجود (L1 و R1) و گمانه‌های حفاری شده (L2 و R2 و V1)



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

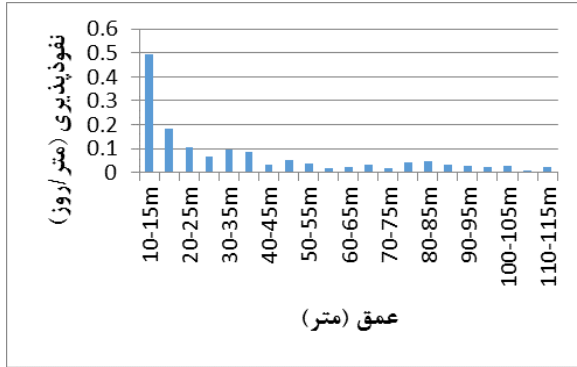
برداشت شده چند قطره اسیدنیتریک اضافه گردید و در مجاورت یخ خشک به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های برداشت شده از نظر برخی یون‌های شیمیایی و فلزات سنگین مورد آنالیز قرار گرفتند تا به دلیل بالا بودن غلظت آنها در مخزن سد باطله، از آنها به عنوان یک ردیاب استفاده شود و احتمال ارتباط شیمیایی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی پایین دست سد و باطله‌های پشت سد مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین برای بررسی ارتباط احتمالی بین ترکیب شیمیایی بین ایستگاه‌های نمونه برداری و آب ذخیره شده در سد باطله، از مخزن اصلی سد و سد نشت‌گیر نیز نمونه برداری انجام شد. محدوده مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در شکل (۳) نشان داده شده است. پارامترهایی نظیر هدایت الکتریکی توسط دستگاه‌های قابل حمل در محل نمونه برداری، اندازه‌گیری شده و بقیه پارامترها در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفتند. به منظور جلوگیری از ترسیب فلزات، به نمونه‌های

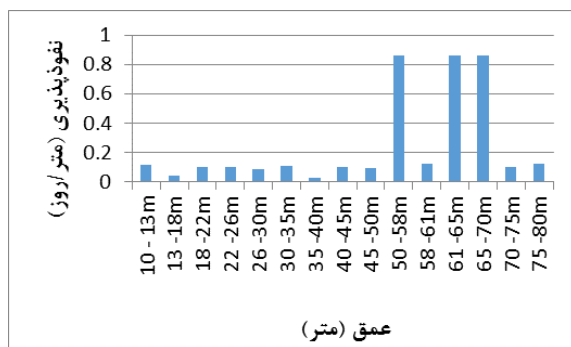
۴- بحث و نتایج

۴-۱- بررسی نفوذپذیری ساختگاه

به منظور تعیین میزان نفوذپذیری توده سنگ در قسمت‌های مختلف ساختگاه سد باطله، محدوده به سه قسمت تکیه‌گاه راست، بستر رودخانه و تکیه‌گاه چپ تقسیم‌بندی شد. توصیف نفوذپذیری سنگ‌ها به صورت کیفی و تغییرات عدد لوژان می‌باشد، از این رو با توجه به توصیه‌های بین‌المللی، اعداد لوژان در پنج گروه تقسیم‌بندی شدند (Nonveiller, ۱۹۸۹) و درصد فراوانی مقادیر لوژان در هر یک از قسمت‌های ساختگاه محاسبه گردید و در جدول (۱) نشان داده شده است، بدین ترتیب می‌توان حدود نفوذپذیری و نوع رفتار سنگ در برابر فشار آب راه، در هریک از بخش‌های مشخص شده بررسی نمود بنابراین با استفاده از نتایج آزمایش لوژان، می‌توان توده سنگ را از نظر پتانسیل آبگذری و رفتارهای هیدروژئومکانیکی توده سنگ مورد ارزیابی قرار داد.



شکل ۴- نمودار تغییر روند نفوذپذیری نسبت به عمق در گمانه L1 واقع در تکیه‌گاه چپ



شکل ۵- نمودار تغییر روند نفوذپذیری نسبت به عمق در گمانه L2 واقع در تکیه‌گاه چپ

جدول ۱- درصد فراوانی لوژان در تکیه‌گاه‌های سد باطله

مقدار لوژان	تکیه‌گاه راست	تکیه‌گاه چپ
$Lu \leq 2$	۳/۰۳٪	۱۲/۸۲٪
$2 < Lu \leq 10$	۷۲/۷٪	۵۳/۸۴٪
$10 < Lu \leq 30$	۲۱/۲٪	۲۳/۰۷٪
$30 < Lu \leq 60$	۳/۰۳٪	۰٪
$60 < Lu$	۰٪	۷/۱۶٪

همان‌گونه که از شکل مشخص است در عمق ۵۰ تا ۷۰ متری نفوذپذیری افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است اما در گمانه L1 روند کاهش نفوذپذیری نسبت به عمق مشخص است و به جز چند افزایش در نفوذپذیری تغییرات چشم‌گیری در این گمانه وجود ندارد (شکل‌های (۴) و (۵)). بنابراین برنامه‌ریزی برای اجرای طرح‌هایی جهت علاج بخشی و جلوگیری از هرگونه نشت احتمالی ضروری می‌باشد.

تکیه‌گاه راست در تکیه‌گاه راست، از بین تعداد زیاد گمانه‌های حفر شده، یک گمانه با توجه به مکان و عمق مناسب برای این تحقیق انتخاب گردید و گمانه دیگری نیز جهت تدقیق داده‌های قبلی حفر شد. در این گمانه‌ها نتایج ۳۳ آزمایش لوژان ثبت شده است که ۱۱ آزمایش لوژان انجام شده مربوط به گمانه R2 می‌باشد. لازم به ذکر است عمق گمانه‌های R1 و R2 به ترتیب ۱۱۵ و ۷۵ متر می‌باشد. با توجه به جدول (۱) مشخص می‌شود که در تکیه‌گاه راست بیشترین درصد فراوانی مربوط به اعداد لوژان ۲ تا ۱۰ و سپس لوژان‌های ۱۰ تا ۳۰ می‌باشد که نشان‌دهنده نفوذپذیری کم تا متوسط در این تکیه‌گاه می‌باشد، اگر چه در این تکیه‌گاه نفوذپذیری بسیار زیاد (لوژان بالای ۶۰) به چشم نمی‌خورد، اما درصد بسیار کمی (۳/۰۳٪) از مقاطع نفوذناپذیر (لوژان > ۲) می‌باشند که نشان از نفوذپذیری متوسط تا

تکیه‌گاه چپ در این تکیه‌گاه چپ سد باطله تعداد ۳۹ آزمایش لوژان در مقاطع مختلف و در داخل گمانه‌های L1 و L2 که به ترتیب دارای عمق‌های ۱۲۰ و ۸۰ متری می‌باشند، انجام شد. لازم به ذکر است تعداد ۱۵ آزمایش لوژان انجام گرفته در داخل گمانه L2 به دلیل تدقیق داده‌های قبلی در این مطالعه مدنظر می‌باشد. با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود که در تکیه‌گاه چپ بیشترین درصد فراوانی مربوط به لوژان‌های ۲ تا ۱۰ و سپس لوژان‌های ۱۰ تا ۳۰ می‌باشد که نشان‌دهنده نفوذپذیری کم تا متوسط در این تکیه‌گاه می‌باشد و لوژان‌های بالای ۶۰ نیز در این تکیه‌گاه اگر چه درصد کمی دارند ولی می‌توانند در آینده مخاطره‌آمیز باشند. از طرف دیگر درصد بالای جریان آشفته^۱ و بازشدگی^۲ از نظر رفتار هیدرولیکی در مطالعات سدسازی امتیاز منفی تلقی می‌شود و با توجه به این که ارتفاع آب پشت مخزن در حال افزایش است، می‌تواند در آینده مشکل آفرین باشد. نمودار تغییرات نفوذپذیری (K) نسبت به عمق در گمانه L2 نشان‌دهنده یک زون تکتونیزه شده می‌باشد که حتی روند کاهش نفوذپذیری را نسبت به عمق تغییر داده است.

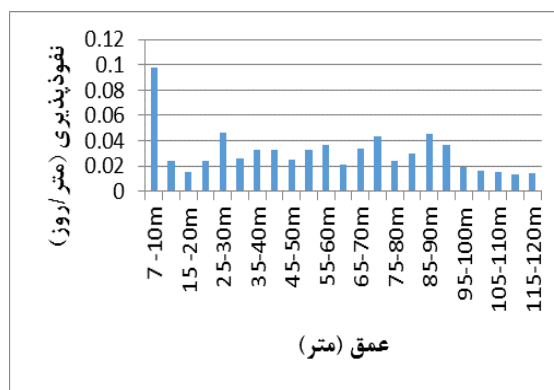
1. Turbulent
2. Dilation

بستر رودخانه در گمانه حفر شده در بستر رودخانه (گمانه V1 به عمق ۲۰ متر) درصد فراوانی اعداد لوژان بین ۱۰ تا ۳۰ لوژان قرار دارند که نشان دهنده نفوذپذیری متوسط در این قسمت می‌باشند. به طور کلی داده‌های حاصل از آزمایش لوژان و بررسی تغییرات نفوذپذیری نسبت به عمق نشان می‌دهد با وجود این که در تراز فعلی مخزن نشت وجود ندارد یا مقدار آن کم است اما به دلیل فراوانی رفتارهای هیدرومکانیکی، بازشدگی و آشفته احتمال نشت در ترازهای بالاتر محتمل‌تر است به عبارت دیگر افزایش تراز مخزن ارتباط مستقیم با فشار هیدرولیکی داشته و با در نظر گرفتن رفتار درزه‌های موجود در عمق، نشت در ترازهای بالا اتفاق خواهد افتاد و اقدامات علاج بخشی اعم از اجرای پرده تریق و ... ضروری خواهد بود.

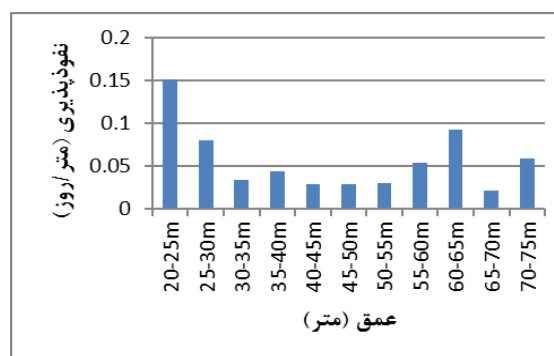
۴-۲- بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی

پارامترهای هیدروشیمیایی طی چهار دوره (زمستان و پاییز ۹۲، بهار و تابستان ۹۳)، در ایستگاه‌های ST-A-S-005، ST-A-S-007، ST-A-S-084، ST-A-S-092 به عنوان نمونه‌های زمین‌واقع در بالا دست سد باطله، ایستگاه‌های ST-A-TD و ST-A-SD به عنوان نمونه‌های معرف منشأ آلودگی و ایستگاه‌های ST-A-R-002، ST-A-R-004، ST-A-R-006، ST-A-R-100، ST-A-S-000، ST-A-S-130 به عنوان نمونه‌های پایین دست و جهت تشخیص ارتباط احتمالی با پساب ذخیره شده در مخزن سد باطله مورد نمونه‌برداری و آنالیز قرار گرفتند. ایستگاه ST-A-R-000 هم تحت تأثیر منطقه آلوده قرار نگرفته است. براساس نتایج آنالیز نمونه‌ها، اختلاف قابل توجه مقدار هدایت الکتریکی پساب سد باطله (ST-A-TD) با سایر ایستگاه‌ها به دلیل ترکیب پساب قابل انتظار می‌باشد. اما اختلاف مقدار هدایت الکتریکی با ایستگاه سد نشت‌گیر (ST-A-SD) نشان دهنده اختلاط آب‌های چشمه‌های موجود در بدنه سد است که از طریق زهکش‌های تعبیه شده به این سد انتقال می‌یابند. ایستگاه ST-A-S000 که در داخل روستای آقابابا سنگ قرار دارد نشان دهنده تأثیر عوامل انسانی نظیر فاضلاب‌های انسانی و حیوانی در این ایستگاه می‌باشد، به طوری که مقدار EC آن به طور متوسط ۷۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به بالا بودن مقدار EC در منشأ آلودگی (مخزن سد باطله و سد نشت‌گیر) می‌توان از آن به عنوان ردیاب طبیعی در جهت بررسی نشت استفاده کرد که با توجه به اختلاف چشم‌گیر مقدار آن در ایستگاه‌های پایین دست احتمال نشت کم رنگ‌تر می‌شود (شکل ۸).

زیاد این تکیه‌گاه می‌باشد. بررسی رفتارهای هیدرومکانیکی در این تکیه‌گاه و در گمانه R1 نشان می‌دهد رفتار خطی^۱ بیشترین درصد فراوانی را دارا می‌باشد که نشان‌دهنده رفتار الاستیک درزه‌ها در مقابل فشار آب است اما روی هم رفته رفتارهای بازشدگی^۲ و جریان آشفته^۳ درصد فراوانی بیشتری از رفتار خطی دارند که نشان دهنده بازشدگی قابل ملاحظه درزه‌ها همراه با جریان سریع آب و ارتباط میان دسته درزه‌های اصلی می‌باشد (Ewert, 1985). در گمانه R2 همانند گمانه‌های تکیه‌گاه چپ رفتار بازشدگی درصد قابل توجهی را به خود اختصاص داده و بعد از آن نیز رفتار جریان آشفته است که عامل مثبتی در بحث نشت سد محسوب نمی‌شود. بررسی روند تغییرات نفوذپذیری نسبت به عمق در گمانه R1 نشان دهنده روند کاهش نفوذپذیری با افزایش عمق است که این روند کاهشی با شیب ملایم‌تری صورت می‌گیرد که دلیل آن افزایش قابل ملاحظه در میزان نفوذپذیری در عمق‌های مشخص می‌باشد که نشان دهنده زون‌های خرد شده در اعماق است که با افزایش فشار آب در پشت مخزن می‌تواند به فرار آب کمک کند. روند تغییرات نفوذپذیری نسبت به عمق در شکل‌های (۶) و (۷) نشان شده است.

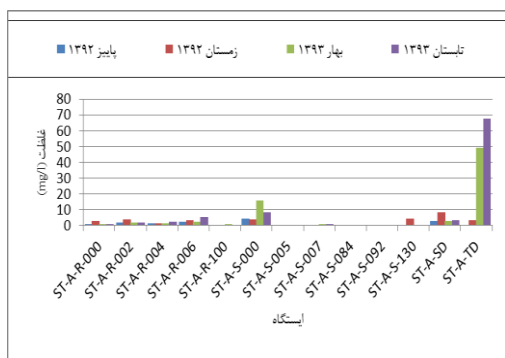


شکل ۶- نمودار تغییر روند نفوذپذیری نسبت به عمق در گمانه R1 واقع در تکیه‌گاه راست



شکل ۷- نمودار تغییر روند نفوذپذیری نسبت به عمق در گمانه R2 واقع در تکیه‌گاه راست

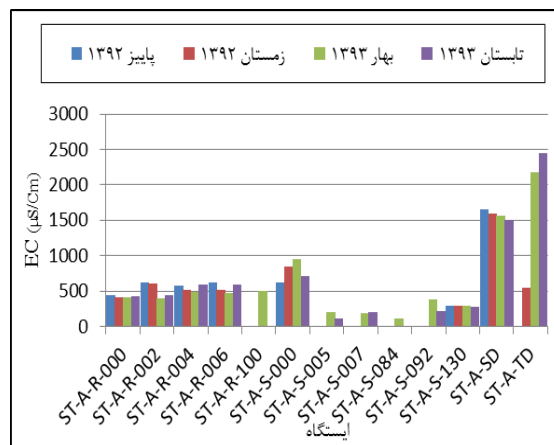
1. Laminar
2. Dilation
3. Turbulant



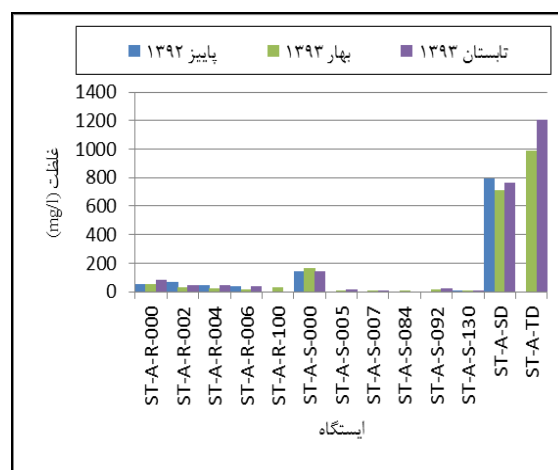
شکل ۱۰- مقدار پتاسیم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۵-۱- فلزات سنگین

فلزات سنگین^۱ به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های غیرآلی محیط زیست منشاء زمین‌شناسی و منشاء انسان زاد مانند؛ معدن کاری، کودهای کشاورزی، فاضلاب‌های صنعتی و انسانی می‌باشد. براساس نتایج آنالیزها، عنصر کادمیوم در سد باطله دارای غلظت بسیار بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها است. کادمیوم به مقدار کمتری در سد نشت‌گیر مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده ارتباط آن با مخزن می‌باشد. به نظر می‌رسد به دلیل اختلاط آب‌های موجود در زهکش‌ها با آب نشتی از سد و تأثیر میرایی طبیعی^۲ غلظت آن به شدت کاهش یافته است. (شکل ۱۱). همان‌طوری که انتظار می‌رفت غلظت مس به دلیل فرآیند فرآوری کانه‌های سولفیدی متنوع بویژه کانه‌های مس، در مخزن سد باطله دارای بیشترین مقدار است اما در سایر ایستگاه‌ها غلظت آن بسیار پایین است. بنابراین مقایسه غلظت این عنصر نشان دهنده عدم ارتباط آب مخزن در تراز فعلی با آب‌های سطحی و زیرزمینی پایین دست می‌باشد (شکل ۱۲). غلظت فلز آهن، در تمامی ایستگاه‌ها پایین بوده و آنومالی‌های مشاهده شده در این ایستگاه‌ها حاکی از زمین‌زاد بودن آنها (سنگ‌های آذرین منطقه) می‌باشد به طوری که غلظت در برخی ایستگاه‌های بالادست سد حتی از غلظت نمونه مخزن نیز بیش‌تر است (شکل ۱۳). عنصر سرب در ایستگاه سد باطله دارای بیشترین مقدار می‌باشد اما به دلیل اختلاط با آب چشمه‌های موجود در بدنه سد که قبل از احداث سد در محل وجود داشتند و نیز توسط زهکش‌هایی به سد نشت‌گیر منتقل می‌شوند، غلظت عناصر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (شکل ۱۴). غلظت منگنز در تمامی دوره‌های نمونه‌برداری در مخزن سد باطله بالا می‌باشد. منگنز نیز همانند سرب می‌تواند به عنوان ردیاب طبیعی به منظور مطالعه نشت در ترازهای بالاتر مد نظر قرار گیرد اما به دلیل پایین بودن ارتفاع آب (پایین بودن فشار هیدرولیکی) در منابع آب پایین دست اثری از آلودگی ناشی از نشت مشاهده نمی‌گردد (شکل ۱۵). در جداول (۲) و (۳) نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مربوط به فلزات سنگین درج شده است:



شکل ۸- مقدار هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۹- مقدار سولفات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه‌های مربوط به مخزن سد باطله و سد نشت‌گیر (ST-A-TD و ST-A-SD) در اکثر دوره‌های نمونه‌برداری دارای غلظت بالای سولفات می‌باشند (شکل ۹) که ناشی از اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی و فعالیت‌های صنعتی مربوط به تغلیظ ماده معدنی است بنابراین این پارامتر نیز نشان دهنده عدم ارتباط بین سد باطله و چشمه‌های پایین دست سد می‌باشد.

با توجه به تفاوت چشم‌گیر غلظت پتاسیم در ایستگاه مخزن سد باطله نسبت به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، این عنصر می‌تواند به عنوان ردیاب طبیعی در ترازهای بالاتر مخزن سد باطله به منظور نشت مد نظر قرار گیرد. لازم به ذکر است افزایش غلظت پتاسیم در این ایستگاه ناشی از فرآیند فولتاسیون و افزودنی‌های مخصوص این فرآیند می‌باشد. بالا بودن مقدار پتاسیم در ایستگاه ST-A-S-000 (شکل ۱۰) مربوط به فاضلاب‌های خانگی روستا می‌باشد و به دلیل عدم ارتباط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی با مخزن، با مقدار بسیار بالای پتاسیم در مخزن سد باطله ارتباطی ندارد.

1. Heavy Metals
2. Natural Attenuation

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی فلزات سنگین (ppb)

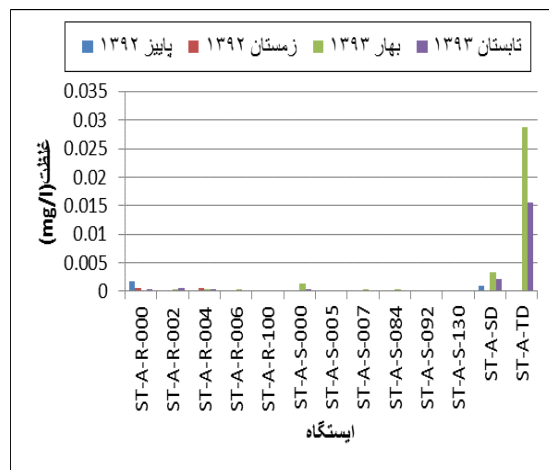
ایستگاه	زمستان ۱۳۹۲					پاییز ۱۳۹۲				
	غلظت فلز (ppb)									
	Cu	Cd	Mn	Pb	Fe	Cu	Cd	Mn	Pb	Fe
ST-A-R-000	۱۷/۱۸	۰/۵۲	۵۵	۱/۳۲	۱۱۲/۰۱	۱۳	۱/۷۲	۳۲۳/۹۲	ND	۱۸۲/۹۵
ST-A-R-002	۲/۸۶	ND	۷	۱/۸۷	۱۳۲/۲۲	۲۷/۹۶	۰/۰۴	۱۵۲/۴	ND	۲۰۲/۷۷
ST-A-R-004	۱۴/۲۸	۰/۴۶	ND	۱/۵۷	۹۹/۴۵	۳۶/۲۶	0	۱۷۲/۱۲	ND	۲۲۱/۳
ST-A-R-006	ND	ND	ND	۱/۵۱	۲۳/۲	۲۹/۶۴	0	۲۳۹/۲۸	ND	۱۸۳/۵۲
ST-A-S-000	ND	ND	ND	ND	۲۲/۳۱	۱۸/۱۶	0	۱۸۲/۷۶	ND	۱۵۹/۵۷
ST-A-S-130	۴/۷۵	ND	ND	۱/۹۴	۷۵/۵۴	۳۵/۴	0	۱۱۱/۴۸	ND	۱۵۴/۰۷
ST-A-SD	۳/۱	ND	ND	۰/۶	ND	۱۳/۵۸	۰/۰۹	۴۶۳/۵۶	0	۷۱/۱۶
ST-A-TD	۷۴/۱۶	ND	۲۳	ND	۸۸/۳۳	-	-	-	-	-

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی فلزات سنگین (ppb)

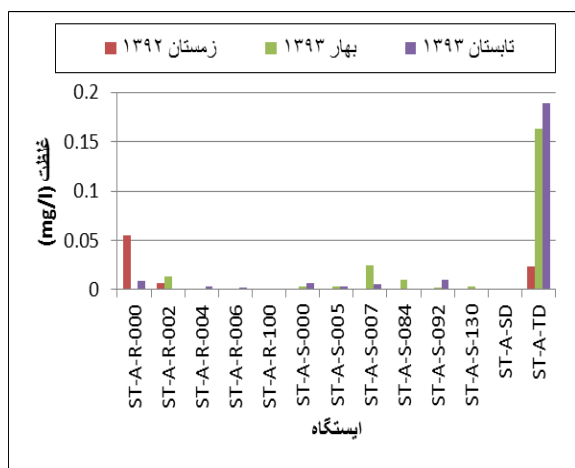
ایستگاه	تابستان ۱۳۹۳					بهار ۱۳۹۳				
	غلظت فلز (ppb)									
	Cu	Cd	Mn	Pb	Fe	Cu	Cd	Mn	Pb	Fe
ST-A-R-000	۳/۵۸	۰/۴۱	۸/۸۵	۱/۶۷	۶۲/۱	۲/۲۱	ND	ND	۱/۱	۳۹/۳۵
ST-A-R-002	۲/۷۶	۰/۴۷	۰/۵۳	۱/۱۹	۵۸/۴۶	۵/۳۵	۰/۳۷	۱۳/۲۲	۳/۵۶	۲۸/۰۱
ST-A-R-004	۱۸/۷۷	۰/۲۹	۳/۱	۲/۷۷	۹۰/۰۵	۵	۰/۳۵	ND	۰/۹۵	۴۰/۶۳
ST-A-R-006	۳/۱	۰/۱	۲/۲۷	۲/۳	۷۸/۶۴	۸/۰۴	۰/۳۴	ND	۱/۷۶	۳۹/۲
ST-A-R-100	-	-	-	-	-	۶/۳۴	۰/۲	ND	۶/۸	۵۶/۵۵
ST-A-S-000	۱۹/۲۲	۰/۳۴	۶/۳	۱/۱۷	۵۲/۲۶	۳۰/۲	۱/۳۳	۳/۳۷	۲	۳۰/۳
ST-A-S-005	۵/۲۲	ND	۳/۵۶	۱/۹	۶۶/۹	۷/۵۷	۰/۱	۳/۱۲	۱/۱۶	۷۹/۷۶
ST-A-S-007	۰/۸۶	۰/۱۶	۵/۴۲	۱/۲۲	۶۰/۲۶	۱۴/۲	۰/۳	۲۴/۶۳	۱/۳۱	۴۴/۱۴
ST-A-S-084	-	-	-	-	-	۱۳/۵	۰/۳۲	۱۰/۵	۱/۶	۱۴/۱۴
ST-A-S-092	۲/۵۲	۰/۱۳	۹/۵۸	۱/۷۸	۱۰۳/۹۸	۳/۸۲	ND	۲	۳/۲۱	۹۰/۷۹
ST-A-S-130	۱/۹۱	۰/۱	۰/۶۲	۱/۶	۸۳/۶۸	ND	۰/۱۹	۲/۹۱	ND	۴۹/۵۲
ST-A-SD	۳/۷۳	۲/۰۳	۰/۳	۰/۹۲	۷۴/۶۶	۲/۸	۳/۳۷	ND	۱/۵۲	۱۰/۰۱
ST-A-TD	۴۵/۴۱	۱۵/۵	۱۸۹/۳۵	۲۶/۲۳	۹/۵۸	۳۵۴/۸۱	۲۸/۶۷	۱۶۳/۶۱	۱۱۵	۲۱/۶۹



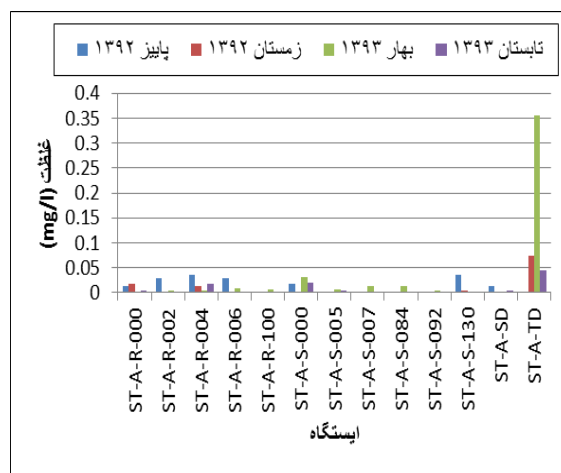
شکل ۱۴- مقدار سرب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۱۱- مقدار کادمیوم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



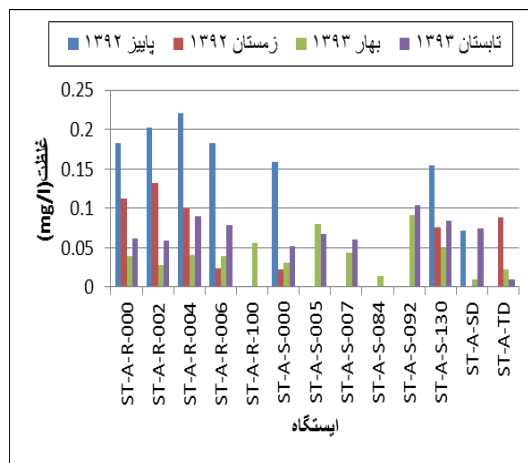
شکل ۱۵- مقدار منگنز در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۱۲- مقدار مس در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۹- نتیجه‌گیری

غلظت تمامی فلزات سنگین در نمونه‌ها در ایستگاه‌های پایین دست بسیار کم بوده و یا غیرقابل تشخیص است که گواه بر عدم ارتباط یا به عبارت دیگر عدم نشت آلاینده در تراز فعلی می‌باشد. به طور کلی ارتباط منطقی از نظر داده‌های هیدروژئوشیمیایی بین آب مخزن سد باطله در تراز فعلی آن و ایستگاه‌های پایین دست مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی نشان از وجود چندین زون خرد شده در اعماق ۱۰ تا ۲۵ متری، ۳۰ تا ۴۰ متری، ۴۵ تا ۵۰ متری و ۷۵ تا ۸۵ متری در تکیه‌گاه راست در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. که نشان دهنده احتمال نشت آلاینده در اثر افزایش فشار هیدرولیکی می‌باشد. غالب بودن جریان‌های بازشدگی (Dilation) و آشفته (Turbulent) نشان از وجود درزه‌ها با بازشدگی قابل توجه و ارتباط دسته درزه‌های اصلی می‌باشد با توجه به این که با افزایش عمق توده سنگ اصولاً نفوذپذیری و رفتارهای هیدرومکانیکی شرایط مناسب‌تری به



شکل ۱۳- مقدار آهن در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

بنابراین مقایسه غلظت عناصر سنگین در پساب پشت سد باطله و چشمه‌های پایین دست احتمال هرگونه نشت آلودگی را در شرایط فعلی منتفی می‌کند.

خود می‌گیرند یا به عبارت دیگر نفوذپذیری کاهش می‌یابد و نگرانی از جهت نشت کم می‌شود، بررسی‌هایی در این مورد انجام شد و در برخی از موارد نفوذپذیری در عمق‌های ۵۰ تا ۷۰ متری تکیه چپ افزایش قابل توجهی نشان داد که اشاره به یک زون خرد شده در این عمق و خطر نشت آلاینده به پایین دست را محتمل می‌نماید.

به طور کلی و با توجه به داده‌های موجود، در حال حاضر نشت از سد باطله معدن مس سونگون در تراز فعلی آن صورت نمی‌گیرد ولی با افزایش فشار هیدرولیکی (Head) امکان نشت وجود دارد، بنابراین برنامه‌ریزی برای اجرای طرح‌هایی جهت علاج بخشی و جلوگیری از هرگونه نشت ضروری می‌باشد بدین منظور پیشنهاد می‌شود علاوه بر شبیه‌سازی جریان و انتقال آلاینده در تکیه‌گاه‌های سد، تعداد بیشتری گمانه برای بررسی خصوصیات زمین شناسی و نفوذپذیری تکیه‌گاه‌ها و نیز استفاده از آنها برای پایش تراز سطح ایستابی و نشت احتمالی آلاینده‌ها حفر گردد.

۱۰- مراجع

- Jantzer I, Bjelkevik A, Pousette K, "Material properties of tailings from Swedish mine", 2005.
- Al-Busaidi TS, "A case study of groundwater pollution due to copper mines in the sultanate of oman", doctoral dissertation, University of Bradford, 1998.
- Sharma RS, Al-busaidi TS, "Groundwater pollution due to a tailings dam", Engineering Geology, 2001.
- Nonveiller E, "Grouting theory and practice, development of geotechnical engineering", Elsevier, 1989.
- Ewert FK, "Rock Grouting with emphasis on dam sites", Springer, Germany, 1985.
- ملاپیری ح، "بررسی آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به فلزات سنگین در محدوده معدن مس- مولیبدن سونگون"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۲.
- جودت ی، "بررسی احتمال نشت آلاینده از جناحین و مخزن سد باطله معدن مس سونگون"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۳.
- جودت سعدآباد ی، واعظی هیر ع، جوانی ح، "ارزیابی نفوذپذیری و رفتار هیدرومکانیکی تکیه‌گاه‌های سد باطله معدن مس سونگون"، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، دی ماه ۱۳۹۳.

EXTENDED ABSTRACT

Probably Contamination Seepage Through Abutment of the Tailing Dam of Sungun Cu-Mo Mine Using of Geotechnical Characteristics and Groundwater Hydrogeochemical Evidences

Abdorreza Vaezihir^{*}, Younes Jowdat Saidabad

Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 19 June 2016; Accepted: 28 January 2017

Keywords:

Sungun Mine, Tailings dam, Seepage, Abutment, Groundwater, Hydrochemistry, Geotechnical

1. Introduction

Pollution of groundwater from the sources such as waste disposal sites, is a worldwide problem. Mining of mineral ores and disposal of resulting waste pose a significant risk to ground water. Sungun copper mine tailings dams in East Azarbaijan province is located in basin Zarnekab (a brunch of Ahar chay main basin). This tailing dam supply storage of 270 million cubic meters for semi-solid waste. With a final height of 186 meters. This dam is a kind of upward tailings dam with clay core and current height of 115 meters. Any leak from tailing dams can be an environmental hazard specially if there is a main river like Aras is in the downstream. This is an investigation on the probable leak from abutments of Sungun tailing dam using geotechniques and hydrochemical evidences, which the latter rarely used for such investigations.

2. Geological properties

The site is situated in a region of mid to late Tertiary (Oligocene) volcanic activity and tectonics. Calc Alkaline volcanic rocks, mainly of Andesite, Trachyandesite (Latite) and Dacite compositions with isolated basaltic lava flows are known in the general site area. Trachyandesite is the fine grained equivalent of Monzonite which forms the main body of the Sungun Porphyry deposit. In places the rock is highly altered and appears as a pale yellow and off-white highly weathered clayey material with an amorphous texture. These highly altered zones have a rather random distribution and can be seen in many of the recent road cuttings throughout the mine site as a whole. Much of the ridge/bluff at the western end of the northern abutment appears to be highly altered, although the depth or continuity of the alteration is difficult to ascertain. On the northern valley side, several north easterly trending dykes are present, which comprise a slightly more andesitic material, typically moderately weathered and of high strength. At the dam site, the northern side of the valley (left abutment) is steeply sloping and poorly vegetated with surface rock outcrops over much of the exposed surface. The southern side of the valley (Right abutment) has a more subdued relief with virtually no rock outcrops and is used for pasture and arable farming.

3. Methodology

The most usual method to predicting permeability of rock formations is Lugeon test. In this study, 76 Lugeon test were selected to determine the hydromechanical behavior of abutments of the dam. Some of the boreholes were drilled during the previous study phases but three of them (L₂, R₂, and V₁) were drilled to

* Corresponding Author

E-mail addresses: r.vaezi@tabrizu.ac.ir (Abdorreza Vaezihir), younes.jodat@yahoo.com (Younes Jowdat Saeidabad).

accurate the permeability of the abutments (Fig. 1). In some of distinctive depths (50 upto 70 meter in left abutment) Lugeon number increased abnormally that can cause serious seepage problem.

In the other hand sampling of groundwater and surface water done to compare wastewaters hydrochemical combination with other sampling stations as a tracer. Sampling stations divided into 3 parts: Upstream, downstream pollution sources stations. Pollution sources stations are ST-A-TD (tailings dam station) and ST-A-SD (seepage dam station). Upstream stations (ST-A-S-005, ST-A-S-007, ST-A-S-084, ST-A-S-092) located at upgradient of dam storage and so cannot be impacted by waste water. Downstream stations (ST-A-R-002, ST-A-R-004, ST-A-R-006, ST-A-R-100, ST-A-S-000, ST-A-S-130) are located downgradient related to the dam axes and are used to detect relationship between the wastewater and downstream springs and seepage faces.

4. Results and discussion

To study in more details. Lueon test were done in every borholes and noted (Table 1). By increasing depth of drilling Lueon number and the rock quality should be better and issue of seepage could be forgeted but in depths 50 upto 70 meter in left abutment and from depth 55 upto 70 in right abutment, Lueon numbers have increased substantially (more than 60 Lu) and possible to allow water to escape and distinguish a crushed zone. After much study results indicate that we have large amount of crush area that made the rock like soil (specially in 50 upto 65 meter) and issue of water escape is serious so more and more detailed studies feel.

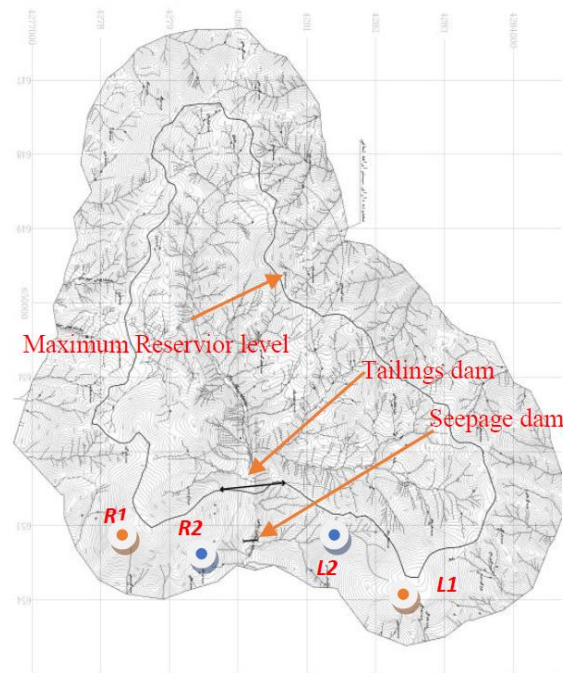


Fig. 1. Study area and boreholes

Table 1. Lueon number around borholes of tailings dam

Lueon number	Right abutment	Left abutment
$Lu \leq 2$	%3.03	%12.82
$2 < Lu \leq 10$	%72.7	%53.84
$10 < Lu \leq 30$	%21.2	%23.07
$30 < Lu \leq 60$	%3.03	%0
$60 < Lu$	%0	%7.6

4.2. Left Abutment

In this Abutment, 39 Lueon test were done in boreholes L1 and L2 which showed permeability about 2-10 Lu and 10-30 Lu respectivel which shows a low up to median permeability. However, it can be dangerous in future by increasing of head enhancing of wastewater level behind of the dam. In the most of tests which done in the site, turbulent and dilation hydromechanical behavior of joints were dominant which can be a negative characteristic in dam building.

4.3. Right Abutment

In right abutment, 33 Lueon test carried out in R1 and R2 boreholes which drilled in 115 and 75-meter depth, respectively. According to Table 1, Lugeon numbers are in the range of 2-30. Which demonstrates median permeability for this abutment. Turbulent and dilation hydromechanical behavior is more than laminar behavior so, seepage threat will be serious regarding that heavy metal pollution and other harmful parameters are accumulated behind dam.

4.3. Hydrochemical investigation

In order to find any clues of seepage from the abutments and also to find relationship between groundwater of the area, samples were collected four times (fall, winter 92 and spring, summer 93) and analyzed for hydrochemical parameters and ions. The parameters that have high concentration in the pollution sources, such as electric conductivity, sulphate, potassium and heavy metals are used as tracers for seepage from the abutments.

According to the analysis results there is no anomaly in the downstream stations related to the above mentioned parameters regarding upstream stations. So, there is no evidences about seepage problem. High concentration of some parameters in samples ST-A-S-000 is not related to seepage from tailing dam, it is because of influence of rural sewage and animal waste leachates near the springs.

4. Conclusions

Permeability test in the both abutments showed a low to median permeability and hydromechanical behavior of joints in most of tests was turbulent and dilation. A crushed zone in depth 50 to 70 meter was obvious in drilling cores. Also, the results of hydrochemical investigation showed that there is no relationship between the tailing dam stations (ST-A-TD), seepage dam station (ST-A-SD) as source of contamination and other sampling stations.

So at the moment there is no seepage problem from the abutments of Sungun tailing and seepage dam, but geotechnical investigations showed in the future by enhancing water level of dam storage, seepage can be probable which will be dangerous for downstream environment and ecosystems. Designing and implementation of a monitoring network (borehole) in the abutments and regularly monitoring of boreholes and springs is recommended.

5. References

- Al-Busaidi, TS, "A case study of groundwater pollution due to copper mines in the sultanate of Oman doctoral dissertation", MSc thesis, University of Bradford, 1998.
- Australian Tailings Consultants, 2004, "Geotechnical investigation Ayatkandi dam site", Sungun copper mine.
- Ewert FK, Rock Grouting with emphasis on dam sites. Springer, Germany, 1985, 413 pp.
- Nonveiller E, Grouting theory and practice, development of geotechnical engineering. Elsevier, 1989, pp 250.