فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی و محیط زیست
سال چهارم ، شماره ۱۱ ، تابستان ۱۳۸۹

بررسی کاهش نفوذ پذیری زهکش سازه های فروشویی توده ای در اثر عامل شیمیایی

آرش رزم خواه[۱]، مهران قلی نژاد[۲]، مهدی امینی[۳] ، احمد حکمت روش[٤]

۱و۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه کاشان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده

سازه های فروشویی توده ای برای انباشت مواد معدنی واستحصال فلز موجود در آنها مورد استفاده قرار می گیرند. این سازه ها از قسمت های مختلفی تشکیل شده اند که در این میان ایجادیک لایه زهکش شنی در بستر مواد معدنی از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در طولانی مدت و در اثر عوامل شیمیایی،فیزیکی وبیولوژیکی، میزان نفوذپذیری این لایه کاهش می یابد. در این مقاله با شبیه سازی قسمت های مختلف یک سازه فروشویی و ثابت نگه داشتن عوامل فیزیکی وبیولوژیکی ، سعی شده است که تنها تاثیر عامل شیمیایی بر روی شن زهکش سازه های فروشویی توده ای بررسی شود. در این راستا سلول های مناسبی جهت انباشت مواد معدنی وشن زهکش ساخته شدند. بعد از پر نمودن این سلول ها از مواد مذکور، در بازه زمانی ۶ ماهه، اسید پاشی بر روی سلول های مواد معدنی صورت پذیرفت خروجی این سلول ها به داخل سلول های شن زهکش منتقل گردید. شستشوی مداوم ماده معدنی و فعل و انفعالات انجام گرفته، سبب بسته شدن منافذ شن زهکش در اثر عامل شیمیایی(کلوگینگ شیمیایی) گردید. در زمان تعیین شده برای شبیه سازی، به صورت مداوم میزان نفوذ پذیری سلول شن زهکش اندازه گیری ومیزان کاهش ضریب نفوذ پذیری آن در اثر ایجاد کلوگینگ شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفت. لازمه طراحی مناسب ضخامت لایه زهکش شنی، داشتن اطلاعات کافی از میزان کاهش ضریب نفوذ پذیری شن زهکش می باشد. با استفاده از نتایج بدست آمده از شبیه سازی و بکارگیری آن ها در محاسبات تعیین ضخامت لایه زهکش، می توان از بروز مشکلات آتی در سیستم زهکش جلوگیری نمود.

واژگان کلیدی: سازه های فروشویی توده ای،زهکش شنی، کلوگینگ

مقدمه

سازه فروشویی، واحد نخست فرآیند هیدرومتالورژی در روش فروشویی توده ای می باشد. برای ساخت این سازه ابتدا سطح وسیعی در حد کیلومتر مربع ونزدیک به محل دپوی خاک اکسیدی معدن انتخاب می شود. سپس بخش های دارای شیب تند کمی تسطیح و تمامی سطح برای جلوگیری از نشست غیر مجاز تحکیم می گردد. روی این سطح، لایه هایی از رس و کاشین (cusion) متراکم و مواد پلیمری نفوذ ناپذیر (ژئوممبران) قرار داده می شود.وظیفه این لایه ها عایق کردن بستر سازه می باشد[۱].بعد از ساخت بسترسازه، سیستم زهکش شامل لایه شنی و شبکه لوله های پلی اتیلن مشبک نصب می شود. که وظیفه آنها خارج نمودن حلال از توده معدنی می باشد[۳]. ضخامت زهکش به شیب بستر، ضریب نفوذ پذیری شن ودبی ورودی اسید بستگی دارد. برای جلوگیری از بسته شدن روزنه های سیستم زهکش (clogging) ، فیلتر مناسب مورد استفاده قرار می گیرد. روی فیلتر لایه های خاک معدنی به ضخامت ۱۵-۵ متری قرار گرفته و تحت پاشش حلال (اسید) قرارمی گیرند. اسید فلز موجود در ماده معدنی را در خود حل کرده و از طریق لایه زهکش به خارج از توده انتقال می دهد. محلول باردار تولید شده طی این فرآیند (PLS or Pregnant Liquid Solution) برای استحصال مس به واحد استخراج فلز از حلال فرستاده می شود. در این واحد فلز از محلول جدا می گردد. اسید تصفیه شده و فاقد فلز (Raffinate)

برای شستشوی مجدد به روی سازه باز گردانده می شود[۵]. درشکل۱مقطع شماتیک سازه فروشویی توده ای و ترتیب قرار گیری قسمتهای مختلف نمایش داده می شود.

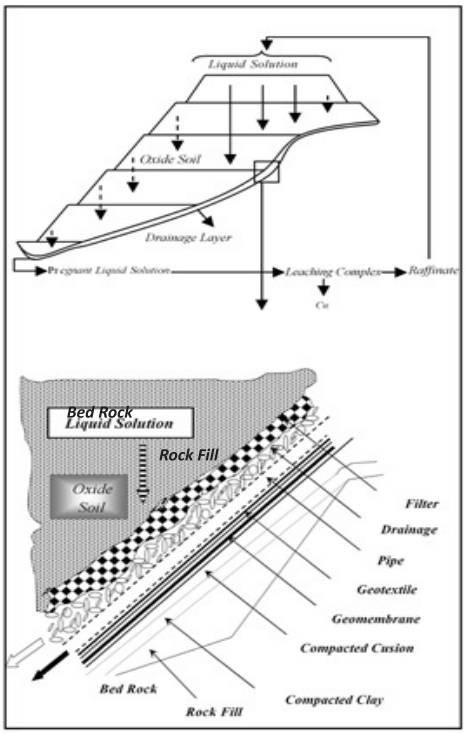
بسته شدن منافذ زهکش شنی سازه های فروشویی توده ای بستگی به سه عامل فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی دارد. بسته شدن منافذ در اثر عامل فیزیکی در ارتباط با حرکت ذرات ریز ماده معدنی و رسوب تدریجی آنها در داخل لایه زهکش است. عامل بیولوژیکی زمانی موثر خواهد بود که در فرآیند فروشویی از باکتری ها استفاده شود[۴].شکل ۲ قسمتی از شن زهکش سازه فروشویی شماره ۲ معدن سرچشمه را نشان می دهد.در این تحقیق، علت تشکیل کلوگینگ شیمیایی و میزان تاثیراین عامل بر نفوذ پذیری شن زهکش سازه های فروشویی مورد بررسی قرار می گیرد. زیرا تاثیر عامل فیزیکی در سازه های فروشویی، همانند سیستم زهکش سدهای خاکی بوده و تحقیقات زیادی روی آنها انجام گرفته است .[۲] همچنین در ایران طرح های هیدرو متالورژی به سازه های فروشویی محدود می شود که در آنها از باکتری استفاده نشده است. بنابراین در فرآیند شبیه سازی انجام شده دراین تحقیق، تاثیر دو عامل فیزیکی وبیولوژیکی در نظر گرفته نشده است. (ذرات ریز ماده معدنی توسط فیلتر جدا شده اند و از موجودات زنده نیز استفاده نشده است) در نتیجه می توان بسته شدن منافذ شن زهکش را در این حالت، فقط به عامل شیمیایی مربوط دانست.

روش تحقیق

به منظور بررسی میزان تاثیر عامل شیمیایی در بسته شدن منافذ سیستم زهکش سازه های فروشویی، مواد معدنی، شن و حلال مناسب (مواد طبیعی) از معدن مس میدوک تهیه گردیدند. تجهیزات لازم (مواد مصنوعی) جهت شبیه سازی آزمایشگاهی نیز ساخته شدند.از جمله این تجهیزات می توان به لوله های شفاف (پلگسی گلاس) استفاده شده به منظور انباشت

مواد معدنی وشن زهکش، پمپ ولوله های ارتباطی برای انتقال اسید به قسمت های مختلف و وسایل مورد نیاز جهت اندازه گیری ضریب نفوذ پذیری، اشاره نمود. لازم به ذکر است که تمامی تجهیزات فوق به گونه ای طراحی شده اند که در برابر حضور طولانی مدت اسید سولفوریک مقاوم باشند.[۶]

آماده سازی مواد اولیه، نصب تجهیزات و نحوه



شکل۱- نمای کلی سازه فروشویی توده ای و ترتیب قرار گیری قسمت های مختلف

شکل ۲– قسمتی از شن زهکش سازه فرو شویی شماره ۲ معدن سرچشمه

ارتباط قسمت های مختلف با یکدیگر سنگ معدن مس میدوک را می توان به دو قسمت تقسیم بندی نمود. قسمت اول، بخش سولفیدی معدن است که استحصال مس از آن به روش پیرو متالوژی صورت می گیرد. قسمت دوم حاوی سنگ معدن اکسیدی (کم عیار) است که در حال حاضر در منطقه ای دپو میشوند تا بعد از ساخت سازه فروشویی، طی فرآیند اسید شویی، مس آن استخراج شود. مقداری از این نوع سنگ معدن (اکسیدی کم عیار) جهت شبیه سازی به آزمایشگاه منتقل شد. اندازه مواد معدنی از ابعاد بزرگ (قلوه سنگ) تا ابعاد بسیار ریز متغییر بود. طبق طراحی انجام شده در معدن، ابتدا تمامی مواد معدنی خرد میشوند تا از الکی با منافذ ۲/۵ سانتی متر رد شوند و سپس مخلوط همگن بدست آمده بر روی سازه فروشویی ریخته میشود. در شبیه سازی آزمایشگاهی نیز تمامی این مراحل انجام گرفت. شن واسید مورد استفاده نیز از معدن میدوک تهیه شدند.

سه لوله شفاف با ارتفاع ۲۰۰ و قطر داخلی ۲۰ سانتی متر جهت انباشت مواد معدنی(سلول های مواد معدنی) و سه لوله دیگر با ارتفاع ۶۰ و قطر داخلی ۲۰ سانتی متر به منظور ساخت سلول های شن زهکش تهیه شدند. این سلول ها توسط لوله های ارتباطی به یکدیگر مرتبط می شوند. خروجی اسید سلول های خاک معدنی به داخل مخازن جمع آوری اسید هدایت می شود وسپس از آنجا به سلول های ارتفاع ثابت ودر نهایت به داخل سلول های شن زهکش منتقل می گردد.

بازه زمانی ۶ ماه جهت پاشش اسید بر روی ماده معدنی و بررسی روند کاهش ضریب نفوذ پذیری انتخاب گردید. در طی این مدت، یکی از سلولهای حاوی خاک معدنی تحت پاشش اسید با دبی کم (دبی استفاده شده

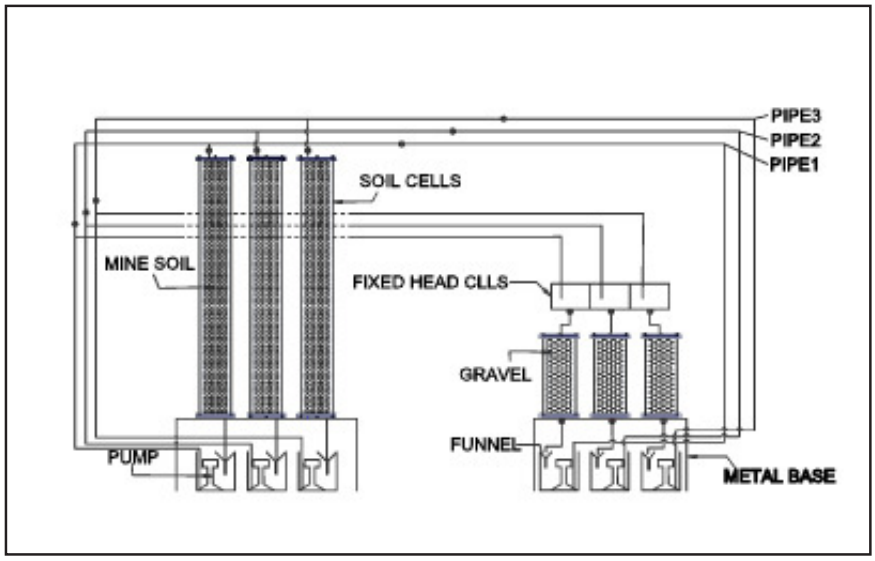
در طراحی سازه فروشویی تودهای میدوک که معادل (m^2 .۱-s m^3) ۶-۱۰×۲ است) دو سلول دیگر به ترتیب با ۱۰ و ۲۰ برابر دبی طراحی شده شروع به کار کردند تا تاثیر افزایش دبی پاشش اسید بر روی ایجاد کلوگینگ بررسی شود. شکل۳و۴ نمای کلی تجهیزات ومواد طبیعی استفاده شده در شبیه سازی را نمایش می دهند.

در شروع آزمایش مقداری اسید در داخل مخازن قرار گرفته شده در زیر سلولهای شن زهکش ریخته شد. بعد از شروع به کار پمپها، اسید در داخل مسیر لوله های ارتباطی حرکت کرده وبه قسمت بالایی سلول های مواد

شکل ۳- تجهیزات ومواد استفاده شده در شبیه سازی

معدنی منتقل می شود. در این جا توسط یک شیر میزان دبی تعیین شده، تنظیم میشود و سلول تحت پاشش اسید قرار می گیرد.

اسید از بین ذرات خاک عبور می کند و در انتهای سلول از آن خارج می شود. محلول باردار (PLS) بر روی کاغذ صافی و قیف ریخته می شود تا اینکه ذرات ریز آن گرفته شود، اسید تصفیه شده در داخل مخزن جمع میشود و از آنجا توسط پمپ به داخل مخازن ارتفاع ثابت منتقل می گردد. در قسمت پایینی این مخازن شیرهای تعبیه شده است که توسط آنها دبی اسید ورودی به سلول شن کنترل می شود. (این دبی همان دبی پاشش اسید بر روی مواد معدنی است) اسید بعد از عبور از میان ذرات شن بر روی یک سری قیف و کاغذ صافی ریخته می شود، تا ذرات ریز شن که طی این فرآیند از سلول خارج شده است، از محلول باردار جدا شود. اسید جمع شده درمخازن، توسط پمپهایی دوباره به قسمت بالایی سلولهای مواد معدنی پمپاژ می شوند و این سیکل دوباره تکرار میشود.



شکل۴- قسمت های مختلف استفاده شده در شبیه سازی و نحوه ارتباط آنها بایکدیگر

بحث

نفوذپذیری سلولهای شن زهکش به صورت مداوم اندازه گیری شد، ولی بعد از گذشت زمان تقریبی ۴ ماه هیچگونه کاهشی در میزان نفوذ پذیری شن زهکش مشاهده نشد. البته یک مقدار جزئی افزایش در میزان نفوذپذیری سلولها مشاهده شد که این موضوع را می توان به خروج ذرات ریزدانه و باز شدن منافذ شن مربوط دانست.

میزان بسیار کمی شورابه در سلول شن زهکش بوجود آمد جالب توجه است که این میزان کم شورابه نیز بعد از مدتی در اثر عبور جریان اسید از بین می رفت. بعد از نمونه گیری از این شورابه ها و انجام یک سری آزمایشهای ساده مشخص گردید که این کلوگینگها علاوه بر اسید، در داخل آب نیز قابل حل هستند. مشاهدات عینی نشان میداد که در زمان اشباع سلولهای شن از اسید جهت انجام تست نفوذپذیری، تمام شورابه های تشکیل شده از بین می رود. مقداری از این شورابه ها جهت آنالیز XRD به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مشاهدات عینی از سازه فروشویی شماره ۲ معدن سرچشمه نیز نشان دهنده تشکیل شورابه های مشابه می باشد. مقداری از این شورابه ها که در اطراف شیر های کنترل کننده دبی پاشش اسید بر روی سازه فروشویی، تشکیل شده اند به همراه شورابه های ایجاد شده در سلول شن زهکش در شکل ۵ نمایش داده می شود.

نتایج کسب شده تا این مرحله، نشان دهنده این است که در شرایط ذکر شده برای شبیه سازی، هیچگونه کلوگینگ شیمیایی ایجاد نمیشود. در ادامه، نمونه اخذ شده ازشن زهکش هیپ شماره ۲ سرچشمه مورد بررسی دقیق قرار گرفت. شن مذکور توسط آب شستشو شد تا

شکل ۵- الف) شورابه های تشکیل شده در سلول شن زهکش ب)نمونه شورابه های ایجاد شده در سازه فروشویی شماره ۲ معدن سرچشمه

اینکه تمام کلوگینگ های فیزیکی از شن جدا گردند بعد از خشک شدن ذرات شن مشخص شد که در اطراف ذرات شن، کلوگینگ های سفید رنگی تشکیل شده است. ازاین کلوگینگ های شیمیایی نمونه گیری وبرای آنالیز XRD به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج این آنالیز در جدول ۲ ارائه می شود.

جدول۱- آنالیز XRD شورابه های تشکیل شده در سلول شن زهکش

ردیف	نام کانی	فرمول شیمیایی
۱	پیکرنژیت (Pickeringite)	$MgAl_2(SO_4)_4,22H_2O$
۲	هالوتریکیت (Halotrichite)	$FeAl_2(SO_4)_4,22H_2O$
۳	آلونژن (Alunogen)	$Al_2(SO_4)_3.17H_2O$

جدول۲- آنالیز XRD کلوگینگ های شیمیایی ایجاد شده

ردیف	نام کانی	فرمول شیمیایی
۱	ژیپس (Gypsum)	CaSO4,2H2O
۲	کوارتز (Quartz)	SiO2
۳	آلبیت (Albite)	NaAlSi3O8

در زهکش سازه فروشویی شماره ۲ معدن سرچشمه نتایج بدست آمده از آنالیز کلوگینگ های شیمیایی ایجاد شده بر روی شن زهکش سازه فروشویی شماره ۲

معدن سرچشمه نشان دهنده این مطلب است که جزء اصلی این ماده، کانی ژیپس (سولفات کلسیم) است. بررسی آنالیزهای سنگ معدنی، شن و کاشین این سازه، نشان دارد که در هیچ یک از آنها کانی ژیپس وجود ندارد که در اثر شستشوی آنها، شاهد تجمع ژیپس در شن زهکش و ایجاد این نوع از کلوگینگ باشد. ادامه بررسی ها علت اصلی ایجاد ژیپس را مشخص نمود. در واقع واکنش اسید سولفوریک با کربنات کلسیم موجود در لایه های ریخته شده بر روی سازه فروشویی باعث ایجاد این کانی می شود.

$$H_2O + CO_2 + CaSO_4 \longrightarrow CaCO_3 + H_2SO_4 \quad (1)$$

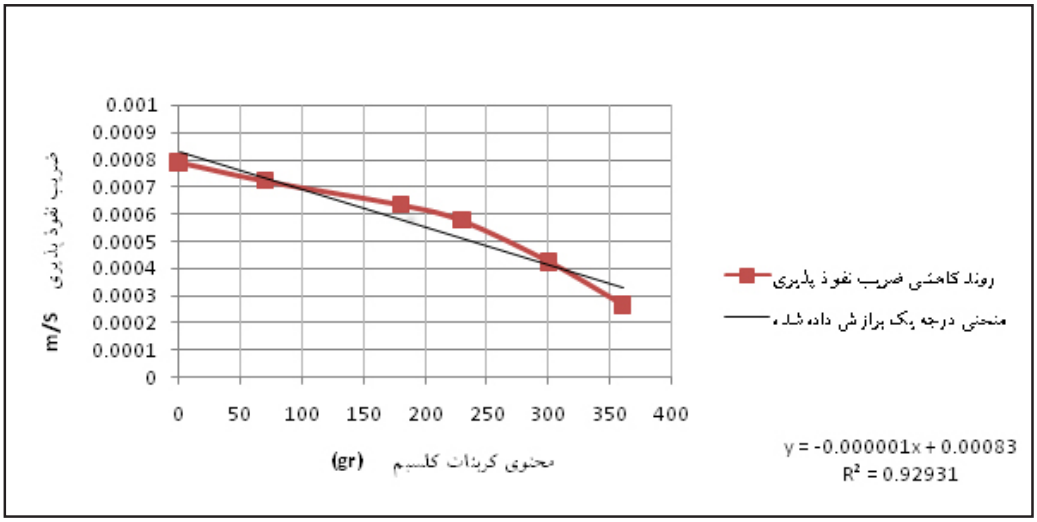
درسیستم طراحی شده برای شبیه سازی، خاک معدنی میدوک دارای درصد ناچیزی از کربنات کلسیم است و اگر اسید نیز با این درصد ناچیز واکنش دهد، ژیپس ایجاد شده بر روی کاغذ صافی از PLS جدا می شود در نتیجه نمی تواند در ایجاد کیلوگنیگ نیز موثر باشد. بنابراین طبیعی خواهد بود که هیچ گونه کلوگینگ شیمیایی در این مدت در سلول شن زهکش ایجاد نشده باشد.

حال بعد از مشخص شدن علت ایجاد کلوگینگ شیمیایی تصمیم گرفته شد که میزانی کربنات کلسیم به صورت مصنوعی به بالای سلول شن زهکش اضافه شود تا در مجاورت اسید سولفوریک و واکنش با آن، ژیپس ایجاد شود. به هر حال برای ادامه کار شبیه سازی، تصمیم گرفته شد که روزانه ۱۰گرم پودر کربنات کلسیم به سیستم اضافه گردد و سر انجام میزان کاهش نفوذپذیری سلولهای شن زهکش در مقابل میزان معینی از کربنات کلسیم ارائه شود.

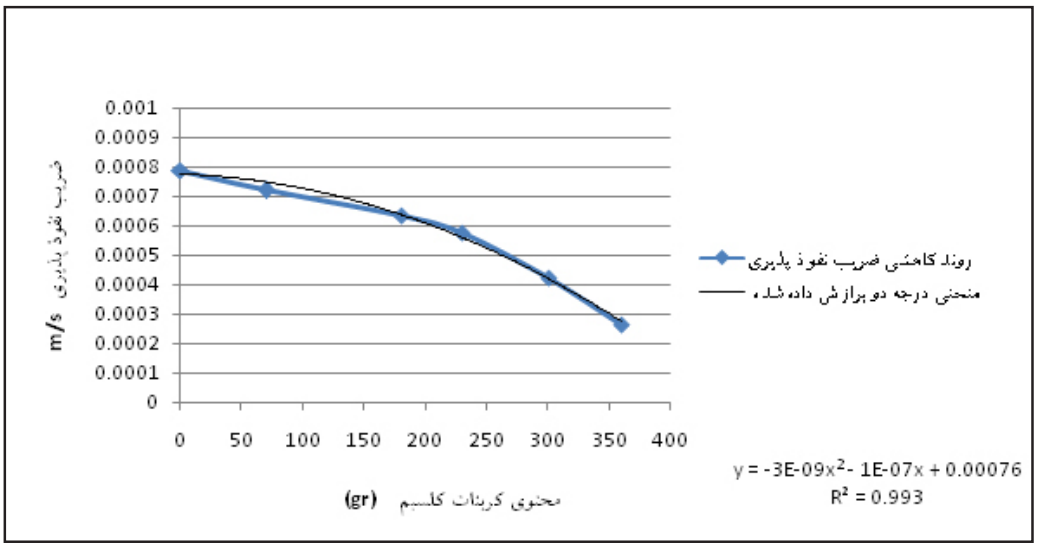
بعد از مشخص شدن علت ایجاد کلوگینگ شیمیایی وشبیه سازی آن، میزان ضریب نفوذپذیری سلول شن زهکش به طور مداوم اندازه گیری شد. این اندازه گیری ها نشان دهنده کاهش میزان ضریب نفوذپذیری می باشد. واکنش بین اسید سولفوریک وکربنات کلسیم باعث ایجاد کانی ژیپس می شود که این کانی دیگر در اسید سولفوریک قابل حل نمی باشد ودر داخل سلول شن زهکش رسوب می دهد. رسوب تدریجی این کانی باعث بسته شدن منافذ شن و به تبع آن کاهش ضریب نفوذ پذیری می شود.

بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت که میزان کلی کلوگینگ شیمیایی بیشتر از آنکه وابسته زمان باشد، به محتوی کانی های مزاحم (محتوی کربنات کلسیم) بستگی دارد. از این رو منحنی تغییرات میزان ضریب نفوذ پذیری به ازای محتوی کربنات کلسیم ، ترسیم می شود. شکل۶ کاهش ضریب نفوذ پذیری شن زهکش ومنحنی درجه یک برازش داده شده را نمایش می دهد. از منحنی درجه یک برازش داده شده ،در شکل۶مشخص می گرددکه رابطه میان ضریب نفوذ پذیری شن زهکش و محتوی کربنات کلسیم نمی تواند به صورت خطی باشد در نتیجه برای رسیدن به برازش بهتر، از منحنی درجه دو استفاده می شود.

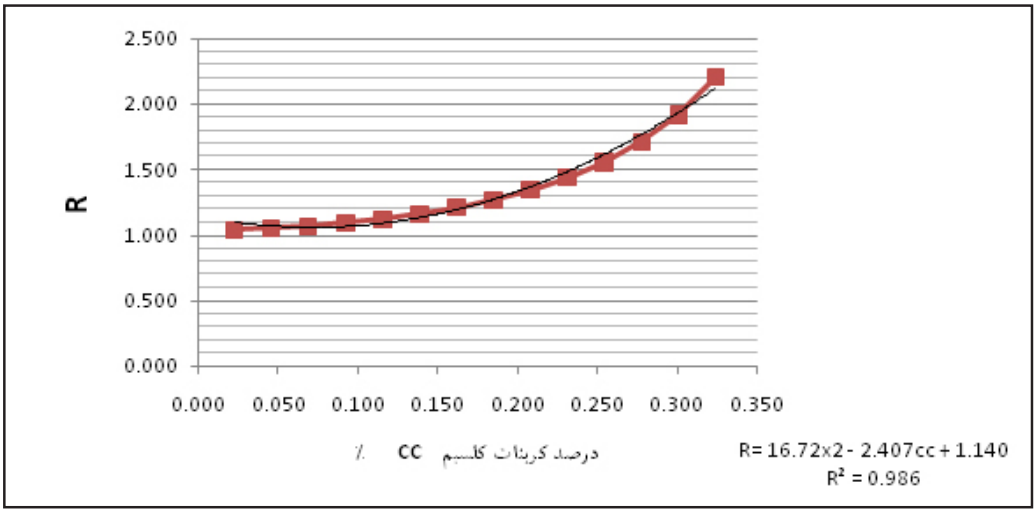
شکل۷ نشان دهنده این است که همبستگی خوبی میان نتایج کسب شده از آزمایش ومنحنی درجه دو برازشی وجود دارد . از این رو با استفاده از معادله درجه دو، رابطه میان درصد کربنات کلسیم (content Carbonate CC or) موجود و نسبت کاهش ضریب نفوذ پذیری به نفوذ پذیری اولیه(R) به صورت شکل ۸ ارائه می گردد.



شکل ۶- روند کاهش ضریب نفوذ پذیری ومنحنی درجه یک برازش داده شده



شکل ۷- روند کاهش ضریب نفوذ پذیری و منحنی درجه دو برازش داده شده



شکل ۸- رابطه میان درصد کربنات کلسیم موجود و پارامتر R

نتیجه گیری

۱- در نقاطی از شن زهکش که در مسیر دائمی جریان نیستند و یا مکان هایی که شدت تبخیر در آنها زیاد است (سطوح خارجی شن زهکش) در اثر تبخیر تدریجی اسید زهکشی نشده ، شورابه هایی در اطراف دانه های شن تشکیل می شود که از لحاظ تشکیل کلوگینگ شیمیایی، قابل اعتنا نمی باشند . زیرا که با توجه به نمونه گیری های انجام شده و آنالیز این شورابه ها، مشخص شد که این مواد در اسید و حتی حلال های آبی نیز قابل حل می باشند. بنابراین اگر این قسمت ها دوباره تحت جریان اسید قرارگیرند، شورابه های تشکیل شده از بین خواهند رفت.

۲- بر اساس نتایج کسب شده از آزمایشات، مشخص شده که ایجاد کلوگینگ شیمیایی به واکنش اسید سولفوریک و کربنات کلسیم موجود در لایه های ریخته شده بر روی بستر سازه های فرو شویی توده ای، مرتبط می باشد، سولفات کلسیم (ژیپس) ایجاد شده طی این واکنش، به مرور زمان برروی سطح شن زهکش رسوب می کند و افزایش حجم این رسوبات باعث بسته شدن تدریجی منافذ شن زهکش می شود. در نتیجه میزان کلوگینگ شیمیایی در این شرایط بیشتر از این که به زمان وابسته باشد، به میزان کربنات کلسیم موجود در لایه های ریخته شده بر روی بستر سازه های فرو شویی توده ای وابسته است.

۳- بر اساس مدل سازی های آزمایشگاهی رابطه بین درصد کربنات کلسیم(CC) موجود در ماده معدنی و نسبت ضریب نفوذ پذیری به نفوذ پذیری اولیه(R) به صورت یک تابع درجه دو قابل برازش می باشد .

این معادله را می توان به صورت رابطه (۲) نمایش داد.

$$R = ۱۶٫۷۲ - X۲ ۲۰۴۰۷ + CC ۱٫۱۴۰ \quad (۲)$$

منابع

۱- امینی، م، (۱۳۸۵) ، تحلیل پایداری سازه های فروشویی توده ای با روش جزء به جزء، نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران، شماره ۴۰، ص ۲۵-۳۴

2-Giroud.J.P ,Zorenberg.J.G , Zhao.A; (2000). Hydraulic design of geosynthetic and granular liquid collection layers , Geosynth . Vol,7 pp.285-380 .

3-Karimi Nasab.S,Hojat.A ,Mollaei Fard.M.R, ; (2007)Technical Factors For Selecting Optimum Heap Leach Pad Sites ,Engineering and Mining Journal ,pp.54-59.

4 -Majdi.A , Amini.M , Amini.A ; (2009) , An investigation on mechanism of acid drain in heap leaching structures , Journal of Hazardous materials ,165 , pp.1098-1108 .

5 -Majdi.A , Amini.M , Karimi Nasab.S(2007) , ;Adequate drainage system design for heap leaching structures ,Journal of Hazardous materials ,147 ,pp.288-296 .

6 -Smith.M.E , Zhao.A ; (2004) , Drainage net for improved service and cost reduction in heap leaching , GFR Engineering Solutions Magazine ,98 ,pp144-153.