



زیست پالایی ترکیبات سولفور در پساب سرامیک سازی با استفاده از باکتری های بومی و تیوباسیلوس تیوپاروس

مهتاب طاهریان^۱، فاطمه اردستانی*^۲، مهدی پروینی^۳

^۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران، ^۲ دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران، ^۳ استادیار، گروه مهندسی شیمی، گاز و نفت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

چکیده

سابقه و هدف: ترکیبات سولفیدی فاضلاب سرامیک موجب آلودگی آب ها و از بین رفتن گیاهان و آبزیان می شوند. هدف از این پژوهش، ارزیابی حذف ترکیبات سولفیدی از فاضلاب صنایع سرامیک سازی با استفاده از باکتری بومی جدا شده از پساب و تیوباسیلوس تیوپاروس بود.

مواد و روش ها: غنی سازی باکتری های بومی در اسیدپته ۷، دمای ۲۵ درجه سلیسیوس و سرعت همزن ۲۰۰ دور در دقیقه با هوادهی ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه در بیوراکتور دو لیتری برای ۱۵ سیکل متوالی انجام شد. عملکرد باکتری های بومی و همچنین تیوباسیلوس تیوپاروس در حذف ترکیبات سولفیدی و تاثیر عواملی مانند اسیدپته و غلظت اولیه سولفید ارزیابی گردید.

یافته ها: نرخ حذف تیوسولفات توسط باکتری های غنی شده، ۲۵۰ میلی گرم سولفید در لیتر در ساعت، درصد تبدیل تیوسولفات، ۱۰۰٪ و زمان اکسیداسیون تیوسولفات پس از ۸ سیکل متوالی، ۴۴ دقیقه به دست آمد. نرخ حذف سولفید توسط باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس، ۲۴۶/۵ و توسط باکتری های بومی فاضلاب سرامیک، ۲۷۶/۵ میلی گرم در لیتر در ساعت بود. نرخ حذف سولفید توسط باکتری های غنی شده از ۲۵۰ در اسیدپته ۷ به ۲۳۰ و ۱۸۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدپته های ۸ و ۹ کاهش یافت. این باکتری ها در غلظت سولفید ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز عملکرد قابل قبولی داشتند. قابلیت باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در حذف سولفید در اسیدپته های ۹ و ۱۰ به ترتیب ۲/۵ و ۴ برابر نسبت به اسیدپته ۷ کاهش یافت. این باکتری تحمل غلظت های بالای سولفید را نداشت.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که باکتری های جداسازی شده از فاضلاب کارخانه سرامیک قابلیت بالاتری در حذف ترکیبات سولفیدی نسبت به باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس دارند.

واژگان کلیدی: پساب، ترکیبات سولفیدی، زیست پالایی، تیوباسیلوس تیوپاروس، صنایع سرامیک سازی.

پذیرش برای چاپ: شهریور ماه ۹۷

دریافت مقاله: تیر ماه ۹۷

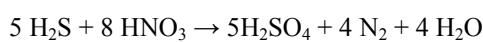
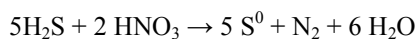
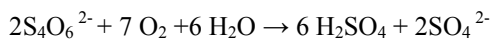
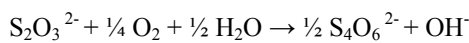
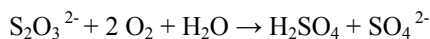
مقدمه

و سولفات سدیم استفاده می شود. ترکیبات سولفیدی به صورت مستقیم پس از انحلال در آب به سولفید تبدیل می شوند. ترکیبات سولفات نیز پس از انحلال در جریان پساب در طی واکنش های بی هوازی به ترکیبات سولفیدی تبدیل می شوند. سولفید موجود در فاضلاب این صنایع پس از انجام مراحل عمومی تصفیه پساب در سیستم تصفیه فاضلاب

صنعت سرامیک یکی از صنایع کارآمد و مهم کشور می باشد که هر ساله بخش بزرگی از صادرات غیرنفتی را به خود اختصاص می دهد. در مراحل فرایند تولید سرامیک از ترکیبات سولفیددار، تیوسولفیت و سولفات مانند سولفید سدیم

(* آدرس برای مکاتبات: گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر. تلفن: ۰۱۱۴۲۱۵۰۲۵ پست الکترونیک: ardestani_fatemeh@yahoo.com

برای رشد باکتری در محدوده ۵/۵ تا ۷ و دمای بهینه رشد آن ۳۰ درجه سلیسیوس است. یکی از دلایل انتخاب این باکتری در این تحقیق نیز مطابقت شرایط محیطی رشد باکتری با شرایط محیطی پساب کارخانه سرامیک سازی بود. اسیدیته پساب کارخانه سرامیک سازی بستگی به غلظت اولیه تیوسولفات در پساب داشته و در محدوده ۵ تا ۷ متغیر می باشد. واکنش هایی که توسط این باکتری انجام می شود به صورت زیر است:



نتایج مطالعه ای که برای حذف هم زمان دی متیل سولفید، متیل مرکاپتان، هیدروژن سولفید و دی متیل دی سولفید با استفاده از بیوفیلترهای تیوباسیلوس تیوپاروس انجام شده نشان داده است که این باکتری دارای ۹۴/۴٪ کارایی حذف ترکیبات سولفیدی بوده است (۶).

اخیرا در فرایندهای فیلتراسیون زیستی که برای حذف ترکیبات سولفیدی از پساب ها اجرا می شود، از تکنیک های مولکولی برای شناسایی انواع باکتری های فعال در توده های میکروبی استفاده شده است (۷). در فرایند حذف سولفید هیدروژن با استفاده از باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس، زمان رسیدن به حالت پایا، ۴۰ ساعت گزارش شده و کل مدت زمان فرایند، ۵ تا ۶ روز می باشد (۸). باکتری های قلیادوست معمولاً توانایی اکسیداسیون کمتری نسبت به باکتری های خنثی یا اسید دوست دارند. البته در برخی از تحقیقات توانسته اند با استفاده از باکتری های قلیادوست میزان ۱۰۰ میلی مول در لیتر در روز سولفید را با بازده نزدیک به ۱۰۰٪ حذف کنند (۹).

بررسی حذف بیولوژیکی سولفید در راکتورهای هوابالابر (ایرلیفت) در شرایط محدودیت اکسیژن (۰/۲ تا ۱ میلی گرم در لیتر) با استفاده از لجن فعال نشان داده که افزایش تدریجی در میزان بارگذاری سولفید نرخ تولید گوگرد را افزایش داده است. در شرایط حداکثر نرخ بارگذاری سولفید برابر با ۴ کیلوگرم بر

کارخانه به صورت کامل جداسازی نمی شود. از آنجایی که پساب های تصفیه شده کارخانه به کانال آب تخلیه می گردد وجود ترکیبات سولفیدی علاوه بر ایجاد بوی نامطبوع، موجب آلودگی محیط زیست نیز می شود به طوری که موجب از بین رفتن گیاهان و آبزبان شده و در صورت نفوذ به سفره های آب زیر زمینی آلودگی آب های زیرزمینی را به دنبال دارند (۱).

روش های شیمیایی و فیزیکی مختلفی مانند ته نشین سازی شیمیایی، روش های الکتریکی و استفاده از اکسیدکننده های بسیار قوی مانند پرمنگنات پتانسیم و هیدروژن پراکسید برای حذف این ترکیبات از فاضلاب ها وجود دارد. اما این روش ها نیز می توانند آلودگی های جنبی را داشته باشند و دوباره به فرایندهای تصفیه نیاز دارند. همچنین هزینه های زیادی نیز در پی دارند. برای غلبه بر مشکلات زیست محیطی مربوط به فرایندهای تصفیه فاضلاب صنایع، اخیراً فرایندهای بیولوژیکی مورد توجه زیادی قرار گرفته اند (۲).

در مقایسه با تکنیک های فیزیکی-شیمیایی که مواد آلاینده گاهی به سادگی از یک فاز به فاز دیگر منتقل می شوند و یا اینکه تبدیل به مواد مضر برای محیط زیست می شوند، تصفیه بیولوژیکی را می توان به اکسیداسیون کاتالیستی در دمای پایین تشبیه کرد که نیاز به سوخت و مواد شیمیایی ندارد و مزیت دیگر آن ایمنی این سیستم می باشد. کاتالیست ها (آنزیم های میکروبی) به طور مداوم توسط میکروارگانیسم ها تولید می شوند و هیچ ماده آلوده کننده ثانویه یا ضایعات خطرناک تولید نمی کند. بخش عمده ای از آلودگی سولفید، مربوط به سولفید هیدروژن است. قسمتی از سولفید موجود در داخل فاضلاب به طور مستقیم به گاز هیدروژن سولفید تبدیل می شود. از طرفی نیز سولفات موجود در داخل فاضلاب در طی فرایندهای بی هوازی به سولفید هیدروژن کاهش می یابد (۳ و ۴).

باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس (*Thiobacillus thioparus*) یک باکتری کمولیتوتروف و هوازی است که گوگرد را اکسید می کند. منابع گوگرد و انرژی آن تیوسولفات، سولفید، سولفور، تتراتیونات و ترکیبات آلی سولفور می باشند (۵). اسیدیته بهینه

متر مکعب در روز، راندمان حذف گوگرد، ۹۳٪ بوده است (۱۰).
 ترکیبی از دو فرایند جذب و اکسیداسیون بیولوژیکی نیز برای حذف ترکیبات سولفیدی به کار رفته است. در این روش سولفید جذب شده، توسط باکتری ها اکسید می شود. با استفاده از این روش، راندمان حذف ۹۹٪ در محلول هایی با غلظت ۲۶/۶۳ میلی گرم در لیتر سولفید به دست آمده است (۱۱).

مواد و روش ها

الف) سویه میکروبی: باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس PTCC1668 به صورت کشت فعال از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم های صنعتی در سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران خریداری شد. ترکیب محیط مورد استفاده برای کشت باکتری در جدول ۱ ارائه شده است (۱۸). باکتری های بومی از پساب کارخانه سرامیک سازی روناس در سمنان جداسازی شدند. غنی سازی باکتری های بومی در اسیدپته ۷ در یک محیط کشت حاوی تیوسولفات سدیم ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) به عنوان منبع انرژی و بی کربنات سدیم (Na_2CO_3) به عنوان منبع کربن انجام شد (جدول ۱). کشت اولیه باکتری های بومی و همچنین باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در شیکر انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلیسیوس و سرعت هم زن ۲۰۰ دور در دقیقه با هوادهی مداوم با دبی ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه انجام شد (۸ و ۱۸).

در مورد باکتری های بومی برای افزایش جمعیت توده سلولی، پس از ۲۴ ساعت ۹۰٪ حجمی از محلول رومانند بیوراکتور (بیوراکتور همزن دار دو لیتری INFORS HT ساخت کشور سوئیس) پس از ته نشینی، تخلیه شده و با محیط کشت جدید جایگزین شد. محلول رویی یک محلول شفاف و حاوی تعداد کمی از باکتری ها بود. قسمت اعظم باکتری ها در قسمت ته

دنیتریفیکاسیون سولفید در بسترهای گرانولی لجن نیز قابلیت حذف سولفید با نرخ بارگذاری ۶/۰۹ کیلوگرم در مترمکعب در روز با راندمان بیش از ۹۳٪ را نشان داده است. البته غلظت بالای سولفید باعث اختلال و بازدارندگی در عملکرد باکتری های هتروتروف و اتوتروف و در نتیجه، تجمع نیتريت در سیستم می شود (۱۲).

حذف سولفید از فاضلاب صنایع کاغذسازی با استفاده از فرایند بی هوازی، بازده حذف ۹۵٪ را با نرخ بارگذاری ۶۲۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در زمان ماند ۱۳ دقیقه نشان داده است (۱۳). همچنین در حذف سولفید هیدروژن توسط تیوباسیلوس تیوپاروس در بیوراکتور ایرلیفت، بازده حذف ۱۰۰٪ با نرخ بارگذاری ۴/۸ مول بر مترمکعب در ساعت حاصل شده است (۱۴).

فروشویی میکروبی و زیست پالایی سایر عناصر و فلزات از جمله طلا (۱۵)، جیوه (۱۶ و ۱۷) و کادمیم (۱۷) با استفاده از باکتری های بومی شناسایی و جدا شده از معادن نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده که باکتری ها توانایی جداسازی این فلزات را دارند.

در این تحقیق، فرایند حذف ترکیبات گوگردی (تیوسولفات) از

جدول ۱: ترکیب محیط مورد استفاده برای کشت باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس PTCC1668.

ترکیب اصلی محیط کشت							
ماده	Na_2CO_3	NH_4Cl	KH_2PO_4	K_2HPO_4	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	مخلوط عناصر کم مقدار
غلظت	۰/۴ (گرم در لیتر)	۰/۴ (گرم در لیتر)	۲ (گرم در لیتر)	۲ (گرم در لیتر)	۰/۲ (گرم در لیتر)	۱ (گرم در لیتر)	۱ (میلی لیتر در لیتر)
ترکیب مخلوط عناصر کم مقدار							
ماده	$\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	EDTA-Na2	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
غلظت	۰/۲ (گرم در لیتر)	۵۰ (گرم در لیتر)	۷/۳۴ (گرم در لیتر)	۵ (گرم در لیتر)	۲/۵ (گرم در لیتر)	۲/۲ (گرم در لیتر)	۰/۵ (گرم در لیتر)

بیوراکتور ۳۰۰ میلی گرم در لیتر بود. محلول سولفیدی با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر در ظرف سربسته جداگانه تهیه شده و توسط پمپ پرستالتیک بطور پیوسته به داخل بیوراکتور تزریق شد (شکل ۱). تزریق پیوسته سولفید به داخل راکتور باعث می شود تا همواره بیوراکتور از بارگذاری بالایی برای سولفید برخوردار باشد. مقدار کل سولفید ورودی به داخل بیوراکتور حدود ۸۰۰ میلی گرم در لیتر بود.

د) بررسی اثر اسیدیته های بازی بر عملکرد باکتری های بومی و تیوباسیلوس تیوپاروس: در هشت ارلن به صورت جداگانه ۹۰ میلی لیتر محیط کشت و ۱۰ میلی لیتر مایه تلقیح استفاده شد. هوادهی با شدت ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه و همزدن با شدت ۱۵۰ دور در دقیقه انجام گرفت. در هر آزمایش اسیدیته متفاوتی (۷، ۸، ۹ و ۱۰) برای هر دو گروه از باکتری ها در نظر گرفته شد.

ه) روش های اندازه گیری: غلظت گوگرد عنصری به روش سوربو (Sorbo) اندازه گیری شد. ۱ میلی لیتر از محیط کشت به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. رسوب ایجاد شده در لوله توسط محلول نمک ۲ مولار شستشو داده شده و سپس ۱ میلی لیتر استون به آن اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب مایع رویی پس از رقیق سازی با استون و افزودن ۰/۱ میلی لیتر محلول $Fe(NO_3)_3$ توسط اسپکتوفتومتر (JENWAY 6310) در طول موج ۴۶۰ نانومتر خوانده شد (۱۹). برای اندازه گیری یون سولفید از روش متیلن بلو استفاده گردید. این روش بر اساس رسوب دهی سولفید (یا اتم های پلی سولفید) با استات روی و تبدیل به حد واسط دی متیل فنیلن دی آمین سولفات و واکنش با اتم آهن ۳ ظرفیتی و تولید محصول نهایی متیلن بلو در محیط اسیدی، برای شناسایی یون سولفید و پلی سولفید در محیط های کشت باکتریایی استفاده می شود (۲۰). برای اندازه گیری تیوسولفات از کیت ساخت شرکت Chemetrics استفاده شد. این کیت از روش یدومتری برای شناسایی تیوسولفات استفاده می کند که در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری غلظت تیوسولفات تعیین

نشین شده تجمع داشتند که جداسازی شده و به سیکل بعد انتقال داده شد. این عمل برای ۱۵ سیکل متوالی تکرار شد. فقط در سیکل اول از پساب کارخانه سرامیک استفاده شد و در هریک از سیکل های بعدی، تنها ۱۰٪ از محتویات سیکل قبل استفاده شد (۱).

ب) مواد شیمیایی: مواد شیمیایی مورد استفاده در ترکیب محیط کشت و همچنین مواد به کار رفته در اندازه گیری های آزمایشگاهی همگی از مارک های معتبر مرک، اپلیکم و سیگما آلدریچ تهیه شدند.

ج) فرایند سولفورزدایی از فاضلاب: پس از افزایش جمعیت باکتریایی، به منظور تهیه مایه تلقیح، به تدریج از مقدار تیوسولفات سدیم در محیط کشت کاسته و سولفید سدیم به عنوان منبع گوگردی به محیط کشت اضافه گردید تا شرایط محیط کشت شبیه به ترکیب فاضلاب های صنایع سرامیک شود. نتایج کشت و رشد در محیط سولفیدی برای هر دو نوع باکتری مورد ارزیابی قرار گرفت و عملکرد باکتری ها در محیط کشت جدید مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه تاثیر عواملی مانند اسیدیته محیط کشت و غلظت اولیه سولفید بر فرایند سولفورزدایی در آزمون های جداگانه ارزیابی گردید. ابتدا در داخل بیوراکتور مقدار ۸۵۰ میلی لیتر محیط کشت و ۱۵۰ میلی لیتر مایه تلقیح اضافه شد. مقدار سولفید اولیه در داخل

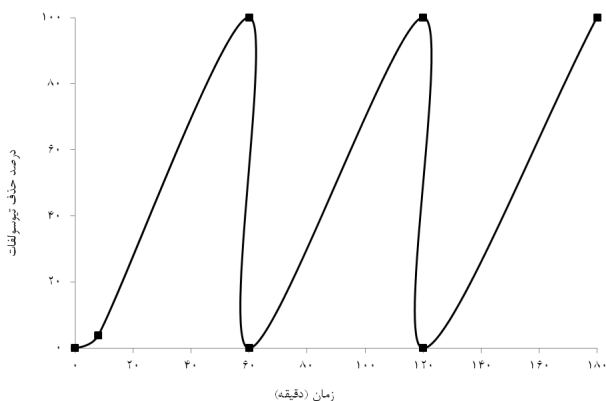


شکل ۱: بیوراکتور مورد استفاده در این تحقیق به منظور سولفورزدایی از فاضلاب.

به محیط کشت اضافه شد. میزان بار سولفید در ارلن ها به ترتیب حدود ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر تنظیم شد. در هر شش ارلن هوادهی یکسانی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه انجام شد. در طی مراحل مختلف از محلول نمونه برداری انجام و مقدار سولفید موجود در محلول برای جلوگیری از خطای احتمالی بلافاصله پس از نمونه برداری اندازه گیری شد.

یافته ها

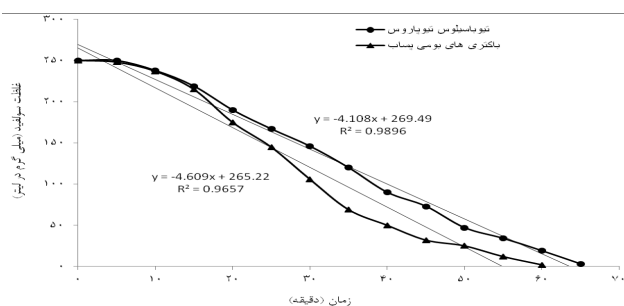
الف) غنی سازی باکتری ها و بررسی روند حذف تیوسولفات: این فرایند در ۱۵ سیکل متوالی با اسیدپته اولیه برابر با ۷ تکرار شد. در زمان های مشخص از محلول، نمونه برداری شده و مقدار تیوسولفات اندازه گیری گردید. نتایج نشان داده که اسیدپته در ابتدای سیکل پانزدهم برابر با ۷/۱۵ بود و در انتهای این سیکل به ۸/۷۶ رسید. غلظت تیوسولفات نیز از ۴۵۰ میلی گرم در لیتر در آغاز سیکل پانزدهم به ۵ میلی گرم در لیتر در پایان این سیکل کاهش یافت. میزان حذف تیوسولفات توسط این باکتری ها در سیکل های متوالی پس از حدود ۱۰ سیکل به دلیل افزایش جمعیت باکتریایی به حالت پایدار رسید. نمودار ۱ فرایند حذف تیوسولفات توسط باکتری های غنی شده در اسیدپته اولیه برابر با ۷ در سیکل های دهم، یازدهم و دوازدهم را نشان می دهد. با توجه به مقدار اولیه تیوسولفات در ابتدای هر سیکل که حدود ۴۵۰ میلی گرم در لیتر بود، نرخ



نمودار ۱: روال صعودی حذف تیوسولفات توسط باکتری های غنی شده در اسیدپته برابر با ۷ در سیکل های دهم، یازدهم و دوازدهم.

می شود. شناسایی یون های سولفات به روش کدورت سنجی انجام شد. یون سولفات با کلرید باریم به صورت سولفات باریم رسوب می دهد. این رسوب با محلول ویسکوز شامل گلیسرول، اتانول و کلرید سدیم، دوباره سوسپانسیون می شود. کدورت سوسپانسیون در ۴۲۰ نانومتر اندازه گیری گردید (۲۱).
(و) *اکسیداسیون شیمیایی برای حذف سولفید:* برای این منظور و اطمینان از نتایج آزمون، ارزیابی در ظروف سترون بدون باکتری انجام شد تا اکسیداسیون شیمیایی به صورت منفرد مورد بررسی قرار گیرد و میزان سولفید در دسترس برای باکتری ها سنجیده شود. سدیم سولفید بر طبق واکنش های زیر در محیط آبی ابتدا به گاز سولفید هیدروژن و با توجه به اسیدپته محلول در اسیدپته های بیش از ۷ به یون های سولفید (S^{2-} و HS^-) تبدیل می شود. حضور نوع ترکیبات سولفیدی در محیط های آبی با توجه به اسیدپته محیط و پتانسیل اکسایش کاهش محلول کشت، متفاوت می باشد. در اسیدپته های حدود ۶ تا ۷ ترکیبات HS^- و H_2S حضور دارند. بنابراین انجام فرایند در این اسیدپته موجب انتشار H_2S از محیط آبی به هوا می شود. در صورتی که اسیدپته محیط به مقادیر بالاتر افزایش یابد یون های S^{2-} به یون های سولفیدی غالب خواهند بود که یون های پایدار و غیرفرار بود و به راحتی در دسترس باکتری ها قرار خواهند گرفت. تنها سولفید هیدروژن است که می تواند از طریق سطح تماس هوا و محیط آبی وارد اتمسفر شود. پس از بررسی میزان اکسیداسیون شیمیایی سولفید در محلول آبی در ادامه عملکرد باکتری ها برای مصرف سولفید به عنوان منبع گوگردی جایگزینی برای تیوسولفات مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کشت و رشد حاصل از محیط سولفیدی برای هر دو نوع باکتری مورد ارزیابی قرار گرفت و عملکرد هر دو نوع باکتری در محیط کشت جدید مورد تحلیل قرار گرفت.

ز) بررسی اثر غلظت اولیه سولفید بر عملکرد باکتری ها: در این آزمایش ها مقدار ۱۰ میلی لیتر بیومس همگن که پس از هم زدن محیط کشت حاوی بیومس برداشته شد با ۹۰ میلی لیتر محیط کشت مخلوط شد. به منظور بررسی اثر میزان سولفید بر عملکرد باکتری ها غلظت های متفاوتی از سولفید تهیه شده و

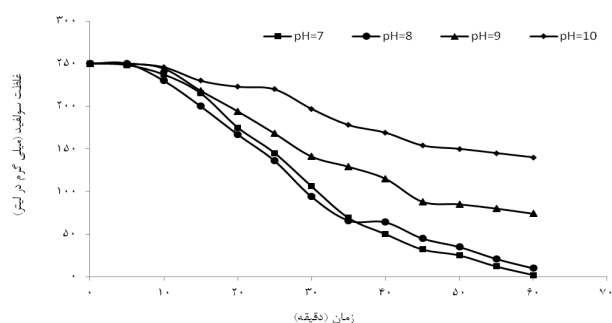


نمودار ۳: حذف سولفید توسط باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس و باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک سازی در اسیدیته برابر با ۷ در یک سیکل.

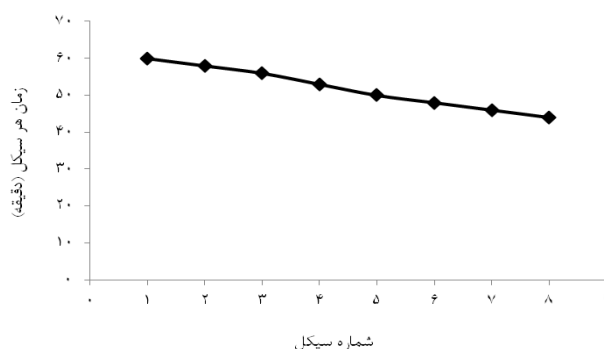
سیکل ها بر اساس افزایش رداکس و تغییر رنگ تعیین گردید. تغییر رنگ محلول در طی مرحله اکسیداسیون در شکل ۲ و نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت سولفید در طی فرایند سولفورزایی بیولوژیکی در نمودار ۳ آورده شده است.

(ج) اثر اسیدیته بر عملکرد باکتری ها: نتایج این بررسی برای باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک و باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در نمودارهای ۴ و ۵ ارایه شده است. باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک در اسیدیته ۸ عملکردی مشابه با اسیدیته ۷ داشتند. اما با افزایش بیشتر اسیدیته عملکرد باکتری ها در حذف سولفید کاهش یافت.

(د) اثر غلظت اولیه سولفید بر عملکرد باکتری ها: نرخ حذف سولفید در غلظت های اولیه متفاوت از سولفید برای این باکتری ها و باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان می دهد که باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک حدود ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفید را با نرخ ۲۳۵ میلی گرم در لیتر در ساعت حذف نمودند. اما در



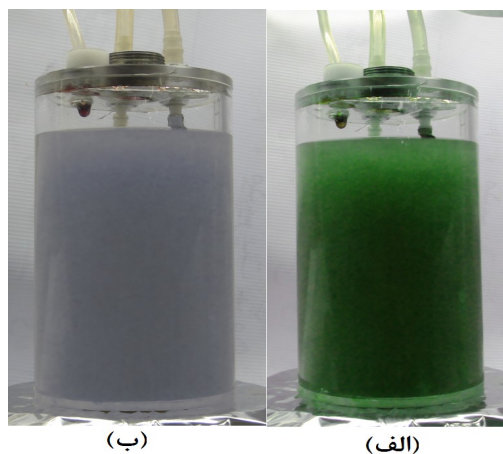
نمودار ۴: فرایند حذف سولفید در اسیدیته های مختلف توسط باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک.



نمودار ۲: کاهش زمان حذف ترکیبات سولفیدی توسط باکتری های غنی شده در اسیدیته برابر با ۷ در سیکل های متوالی.

اکسیداسیون توسط باکتری های غنی شده در انتهای سیکل پانزدهم حدود ۲۵۰ میلی گرم سولفید در لیتر در ساعت به دست آمد. زمان اکسیداسیون تیوسولفات طی سیکل های متوالی به تدریج کاهش نشان داد و پس از ۸ سیکل متوالی به ۴۴ دقیقه رسید و پس از آن به مقدار ثابتی رسید (نمودار ۲).

(ب) ارزیابی مصرف سولفید توسط باکتری ها: فرایند حذف سولفید در محیط کشت از طریق افزایش رداکس و نیز به صورت کیفی از روی تغییر رنگ به راحتی قابل تشخیص بود. رنگ اولیه محلول داخل راکتور در اسیدیته برابر با ۷، سبز ملایم بود و پس از حذف کامل سولفید، به دلیل واکنش های شیمیایی و تولید سولفور عنصری مقداری کدر بود که پس از ته نشینی به حالت سفید درآمد. در سیکل های بعدی، زمان پایان



شکل ۲: تغییر رنگ محلول سولفید طی مرحله اکسیداسیون بیولوژیکی در اسیدیته برابر با ۷، (الف) محلول اولیه، (ب) پایان واکنش.

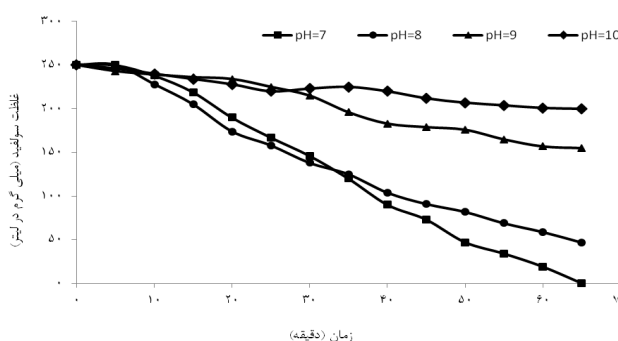
جدول ۲: نرخ حذف سولفید توسط باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک و تیوباسیلوس تیوپاروس در غلظت های متفاوت سولفید

غلظت اولیه سولفید (میلی گرم در لیتر)	نرخ حذف سولفید توسط باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک (میلی گرم در لیتر در ساعت)	نرخ حذف سولفید توسط تیوباسیلوس تیوپاروس (میلی گرم در لیتر در ساعت)
۲۵۰	۲۵۰	۲۴۰
۵۰۰	۲۴۷	۲۴۱
۱۰۰۰	۲۳۸	۲۱۲
۲۰۰۰	۲۳۵	۴۷
۳۰۰۰	۱۹۸	۱۰
۴۰۰۰	۷۳	۴

زمان اکسیداسیون تیوسولفات پس از ۸ سیکل متوالی، ۴۴ دقیقه به دست آمد. نرخ حذف سولفید توسط باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس، ۲۴۶/۵ و توسط باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک سازی، ۲۷۶/۵ میلی گرم در لیتر در ساعت بود. نرخ حذف سولفید توسط باکتری های غنی شده از ۲۵۰ در اسیدیته ۷ به ۲۳۰ و ۱۸۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدیته های ۸ و ۹ کاهش یافت. این باکتری ها در غلظت سولفید ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز عملکرد قابل قبولی داشتند. قابلیت باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در حذف سولفید در اسیدیته های ۹ و ۱۰ به ترتیب ۲/۵ و ۴ برابر نسبت به اسیدیته ۷ کاهش یافت. این باکتری تحمل غلظت های بالای سولفید را نداشت. در آزمون های مربوط به غنی سازی باکتری های بومی پساب کارخانه سرامیک، کاهش اسیدیته از ۷/۱۵ در ابتدای سیکل پانزدهم به ۸/۷۶ در انتهای این سیکل و همچنین کاهش غلظت تیوسولفات از ۴۵۰ به ۵ میلی گرم در لیتر در این فاصله زمانی نشان دهنده حضور باکتری های اکسید کننده ترکیبات گوگردی در پساب کارخانه سرامیک وجود بود.

با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار ۱ مشخص شد که در سیکل های متوالی، زمان حذف ترکیبات گوگردی توسط باکتری ها به تدریج کاهش یافت. زمان حذف در سیکل های ابتدایی بیش از ۱ ساعت بود که از سیکل های ۱۰ به بعد هم زمان با پایا شدن فرایند به حدود ۱ ساعت کاهش یافت. میزان حذف تیوسولفات در سیکل دهم به بیش از ۹۴٪ افزایش یافت. در سیکل های بعدی با افزایش جمعیت باکتریایی، این باکتری ها قادر به حذف کامل سولفید شدند به عبارت دیگر درصد تبدیل تیوسولفات به ۱۰۰٪ رسید. با افزایش جمعیت باکتریایی نرخ حذف تیوسولفات نیز افزایش

غلظت های بالاتر از ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، نرخ حذف سولفید کاهش قابل توجهی داشت. باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس توانایی تحمل مقادیر بالای سولفید را نداشت و در غلظت سولفید بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نتوانست عملکرد مناسبی داشته باشد.



نمودار ۵: روند حذف سولفید در اسیدیته های مختلف توسط باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس.

بحث

در این تحقیق، فرایند حذف ترکیبات گوگردی از فاضلاب کارخانه سرامیک سازی با استفاده از باکتری های بومی و همچنین با استفاده از سویه خالص باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس مورد ارزیابی قرار گرفت. غنی سازی باکتری های بومی در اسیدیته ۷، دمای ۲۵ درجه سلیسیوس و سرعت همزن ۲۰۰ دور در دقیقه با هوادهی ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه در بیوراکتور دو لیتری برای ۱۵ سیکل متوالی انجام شد.

عملکرد باکتری ها در حذف ترکیبات سولفیدی و تاثیر عواملی مانند اسیدیته و غلظت اولیه سولفید ارزیابی گردید. نرخ حذف تیوسولفات توسط باکتری های غنی شده، ۲۵۰ میلی گرم سولفید در لیتر در ساعت، درصد حذف تیوسولفات، ۱۰۰٪ و

برای تعیین زمان اتمام سیکل ها بوده است (۱). نتایج نشان داد که باکتری تیوباسیلیوس تیوپاروس و باکتری های حاصل از پساب کارخانه سرامیک در مدت ۱ ساعت، ۲۵۰ میلی گرم سولفید را مصرف نمودند. به عبارت دیگر نرخ مصرف سولفید توسط این باکتری ها مشابه با مصرف تیوسولفات بود. روابط خطی با تقریب مناسب برای عملکرد این باکتری ها در حذف سولفید در نمودار ۳ ارائه شده است. این روابط نشان می دهند که نرخ حذف سولفید توسط باکتری تیوباسیلیوس تیوپاروس برابر با ۲۴۶/۵ میلی گرم در لیتر در ساعت و توسط باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک برابر با ۲۷۶/۵ میلی گرم در لیتر در ساعت است. به عبارتی کارایی این باکتری ها نسبت به تیوباسیلیوس تیوپاروس، ۱۲٪ بیشتر بود. هر دو گروه از باکتری های مورد بررسی تقریباً پس از ۵ دقیقه فاز تاخیر را پشت سر گذاشته و وارد فاز رشد لگاریتمی شدند. حذف عمده سولفید نیز در این قسمت از نتایج تحقیق انجام شده توسط رامیرز (Ramirez) و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان داد که در شرایط بهینه بیشترین نرخ حذف سولفید از هوا توسط باکتری تیوباسیلیوس تیوپاروس برابر با ۵۵ گرم سولفید بر متر مکعب در ساعت (معادل با ۵۵ میلی گرم سولفید در لیتر در ساعت) و به عبارتی ۵ برابر کمتر از یافته های تحقیق حاضر بود (۸). همچنین تحقیقات مجرد مقالو (Mojarrad Moghanloo) و همکاران در سال ۲۰۱۰ در رابطه با حذف سولفید در یک بیوراکتور غوطه ور ایرلیفت با استفاده از باکتری تیوباسیلیوس تیوپاروس در دمای ۳۰ درجه سلیسیوس و اسیدیته ۷، میزان حذف سولفید معادل با ۴/۸ مول در مترمکعب در ساعت (برابر با ۶۱۴ میلی گرم در لیتر در ساعت) و کارایی حذف برابر با ۱۰۰٪ را گزارش نمود. نرخ به دست آمده برای حذف سولفید تقریباً نزدیک به ۲/۵ برابر یافته های تحقیق حاضر می باشد (۱۴).

این بررسی ها نشان می دهد که تغییرات شرایط عملیاتی فرایند و نوع و نحوه عملکرد بیوراکتور تاثیرات قابل ملاحظه ای بر نرخ حذف سولفید دارد. باید توجه داشت که سولفید سدیم با

پیدا کرد. نتایج بیانگر توانایی بالای این باکتری ها در اکسیداسیون ترکیبات گوگردی می باشند که در مقایسه با سایر گونه های باکتریایی شناخته شده دارای قابلیت اکسید کنندگی ترکیبات سولفیدی مانند خانواده های ترمی تیوباسیلیوس (*Thermithiobacillus*)، رودوسپیریوم (*Rhodospirillum*)، کروماتیوم (*Chromatium*) و تیمیکروسپیا (*Thiomicrospira*) از توانایی بالاتری برخوردارند (۱۰ و ۱۳).

نرخ حذف سولفید توسط باکتری های یاد شده تا مقدار ۲۵۰ میلی گرم در لیتر در ساعت افزایش یافت که این مقدار با افزایش جمعیت باکتریایی قابل افزایش می باشد. کارایی حذف تیوسولفات نیز تقریباً نزدیک به ۱۰۰٪ بود. نوع بیوراکتور و شرایط عملیاتی فرایند نیز تاثیر قابل توجهی بر نرخ حذف سولفید دارد. نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که با استفاده از باکتری های بومی پساب در یک بیوراکتور ایرلیفت با محدودیت حضور اکسیژن در حد ۰/۲ تا ۱ میلی گرم در لیتر، با نرخ بارگذاری ۲/۲ کیلوگرم سولفید در مترمکعب در روز، ۵۰٪ سولفید به گوگرد عنصری تبدیل شد. این در حالی است که با افزایش نرخ بارگذاری سولفید به ۴ کیلوگرم در مترمکعب در روز، ۹۳٪ سولفید به گوگرد عنصری تبدیل شد (۱۰).

همچنین یک گروه از محققین در سال ۱۹۹۰ به نرخ حذف سولفید معادل با ۶۲۰ میلی گرم در لیتر در ساعت (در حدود ۲/۵ برابر یافته های تحقیق حاضر) با کارایی حذف ۹۵٪ در یک بیوراکتور چرخان ۶ لیتری برای پساب صنایع کاغذ در شرایط بی هوازی دست یافتند (۱۳).

نتایج ارائه شده در نمودار ۲ نشان می دهد که زمان اکسیداسیون تیوسولفات در سیکل های متوالی به تدریج کاهش یافت و پس از ۸ سیکل متوالی به ۴۴ دقیقه رسید و پس از آن به مقدار ثابتی رسید. دلیل این امر افزایش مقدار توده سلولی بود. با افزایش تعداد باکتری های اکسیدکننده ترکیبات گوگردی، اکسیداسیون تیوسولفات افزایش یافت. رنگ اولیه محلول داخل راکتور در اسیدیته ۷، سبز ملایم و پس از حذف کامل سولفید، سفید بود. دلیل این تغییر رنگ، تولید سولفور عنصری بوده که پس از ته نشینی به حالت بی رنگ درآمد. تغییرات رنگ، معیار مناسبی

آنها به عنوان منبع سولفیدی می باشند. در صورتی که با کاهش اسیدیته، مقدار H_2S در پساب بیشتر از سایر ترکیبات گوگردی می باشد که به راحتی می تواند از محیط آبی خارج گردد. نتایج تحقیقات قبلی در رابطه با حذف سولفید از پساب با استفاده از میکروارگانیسم های قلیادوست در اسیدیته برابر با ۱۰ در یک بیوراکتور تثبیت شده، بیانگر دست یابی به نرخ ۱۰۰ میلی مول در لیتر در روز (معادل با ۵۲۵ میلی گرم در لیتر در ساعت) برای حذف سولفید بود. این مقدار تقریباً ۵ برابر توانایی باکتری های بومی پساب کارخانه سرامیک در حذف سولفید در اسیدیته برابر با ۱۰ و همچنین ۱۰ برابر توانایی باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در حذف سولفید در اسیدیته ۱۰ بود (۹).

شوک پذیری باکتری یکی از مهم ترین عوامل موثر در انتخاب باکتری برای کاربردهای صنعتی می باشد. در کارخانجات صنعتی با توجه به عملکرد واحدهای مختلف، مقدار سولفید موجود در پساب خروجی همواره با تغییرات زیادی مواجه است. این تغییرات می تواند آسیب هایی را به باکتری ها وارد نموده و باعث مرگ یا غیرفعال شدن آنها شود. نتایج ارایه شده در جدول ۲ نشان داد که باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک حدود ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفید را با نرخ ۲۳۵ میلی گرم در لیتر در ساعت حذف نمودند اما در غلظت های بالاتر، عملکرد ضعیف تری داشتند. باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس توانایی تحمل مقادیر بالای سولفید را نداشت. این باکتری در غلظت سولفید بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نتوانست عملکرد مناسبی داشته باشد.

بررسی ها نشان داد که باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک به راحتی سولفید را مصرف نموده و مقدار آن را به تدریج کاهش دادند. این باکتری ها حدود ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر سولفید را با نرخ حذف تقریبی ۲۳۵ میلی گرم در لیتر در ساعت بدون ایجاد خللی حذف نمودند. با توجه به عملکرد مناسب این باکتری ها در غلظت ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، برای تعیین آستانه سمیت این باکتری ها، غلظت های بالاتری مورد ارزیابی قرار گرفتند. در غلظت های بالاتر سولفید، به تدریج در

آب واکنش داده و بخشی از سولفید به دلیل اکسیداسیون شیمیایی از دسترس باکتری ها خارج می شود. به منظور تعیین این مقدار از سولفید از نمونه های کنترل بدون حضور باکتری استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که فقط در حدود ۲۰ میلی گرم از سولفید موجود در محلول اولیه از طریق اکسیداسیون شیمیایی از دسترس باکتری ها خارج شد.

در بررسی اثر اسیدیته بر فرایند حذف ترکیبات سولفیدی مشخص شد که عملکرد باکتری های بومی جدا شده از فاضلاب کارخانه سرامیک در اسیدیته ۸ مشابه با اسیدیته ۷ بود. اما با افزایش بیشتر اسیدیته عملکرد این باکتری ها در حذف سولفید کاهش یافت. نتایج نشان داد که باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در اسیدیته های ۹ و ۱۰ توانایی قابل قبولی برای حذف سولفید نداشت. گرچه در اسیدیته ۹ عملکرد باکتری های بومی فاضلاب کارخانه سرامیک نسبت به اسیدیته ۷، کمتر بود، اما در هر صورت باز هم می توان ادعا نمود که این باکتری ها در این اسیدیته نیز توانایی بالایی در حذف سولفید دارند. با افزایش اسیدیته به ۱۰، عملکرد باکتری ها کاهش یافت و دچار اختلال شد. نرخ حذف سولفید از ۲۵۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدیته ۷ به ۲۳۰ و ۱۸۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدیته های ۸ و ۹ کاهش یافت.

به طور کلی می توان گفت که عملکرد این باکتری ها در اسیدیته های بازی نیز مطلوب بود و می توان در مقیاس های وسیع تر از این نوع باکتری ها استفاده نمود. قابلیت باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس در حذف سولفید در اسیدیته ۹ به میزان ۲/۵ برابر و در اسیدیته ۱۰ به میزان ۴ برابر نسبت به اسیدیته ۷ کاهش یافت. حتی نرخ حذف سولفید از میزان ۲۴۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدیته ۷ به ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در ساعت در اسیدیته ۸ کاهش یافت. بنابراین این باکتری در مقایسه با باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک عملکرد ضعیف تری از خود نشان داده و برای استفاده در مصارف صنعتی توصیه نمی شود. در اسیدیته های بین ۷ تا ۱۰ یون های سولفیدی حاضر در پساب کارخانه سرامیک سازی بیشتر شامل HS^- و S^{2-} می باشند که باکتری ها به راحتی قادر به استفاده از

ترکیبات گوگردی، اکسیداسیون تیوسولفات افزایش می یابد. بدیهی است متناسب با افزایش نرخ اکسیداسیون، حجم بیوراکتور مورد استفاده در مقیاس صنعتی نیز کاهش خواهد یافت و کاربرد این سیستم را از لحاظ اقتصادی توجیه پذیرتر می کند. دست یابی به چنین ظرفیت تبدیل یکی از موفقیت های بزرگ در این تحقیق می باشد.

نتایج نشان داد که باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس و باکتری های حاصل از فاضلاب کارخانه سرامیک سازی، قابلیت بسیار خوبی برای حذف سولفید از پساب ها دارند. البته باکتری های بومی پساب کارخانه سرامیک سازی حتی عملکرد بهتری در مقایسه با باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس از خود نشان دادند. در مقادیر بالاتر سولفید نیز باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک، عملکرد بهتری را از خود نشان داده و گزینه خوبی برای انجام عملیات در مقیاس های بزرگ می باشند. باکتری های موجود در فاضلاب کارخانه سرامیک را می توان پس از جداسازی و خالص سازی به راحتی در مصارف صنعتی مورد استفاده قرار داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را از معاونت های محترم پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی در واحدهای قائم شهر و شاهرود به دلیل فراهم نمودن امکانات علمی و آزمایشگاهی در راستای اجرای این پروژه اعلام می نمایند.

اثر وجود مقادیر بالای سولفید در محیط، این باکتری ها عملکرد ضعیف تری داشتند.

این باکتری ها در غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز عملکرد قابل قبولی داشته است. اما در غلظت ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر فعالیت مناسبی نداشتند. به طوری که باکتری ها مدت زمان زیادی را بدون فعالیت حضور داشته و پس از آن حذف سولفید با نرخ بسیار پایینی آغاز شد. باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس تحمل غلظت های بالای سولفید را نداشته و افزایش غلظت اولیه سولفید، عملکرد آن را به شدت کاهش داد. ضمن اینکه حتی در مقادیر کمتر سولفید نیز، تیوباسیلوس تیوپاروس نرخ حذف کمتری نسبت به باکتری های فاضلاب کارخانه سرامیک دارد.

نتایج تحقیق اویارزون (Oyarzun) و همکاران در سال ۲۰۰۳ تایید می کند که با افزایش غلظت سولفید (به صورت سولفید هیدروژن) کارایی حذف سولفید توسط باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس کاهش پیدا کرده است (۱۸).

نتیجه گیری

با استفاده از رقیق سازی متوالی و کشت توده سلولی و ته نشینی متوالی به جمعیت بالایی از باکتری های اکسیدکننده تیوسولفات دست یافته شد که با توانایی قابل توجهی قادر بودند تیوسولفات را اکسید کنند. افزایش جمعیت باکتری ها از طریق استفاده از سیکل های متوالی با زمان ته نشینی مناسب امکان پذیر است. با افزایش تعداد باکتری های اکسیدکننده

References

1. Silva J, Morales M, Caceres M, Morales P, Aroca G. Modelling of the biofiltration of reduced sulphur compounds through biotrickling filters connected in series: Effect of H₂S. Electron J Biotechnol. 2012; 15(3): 1-15.
2. Tang K, Baskaran V, Nemati M. Bacteria of the sulphur cycle: An overview of microbiology, biokinetics and their role in petroleum and mining industries. Biochem Eng J. 2009; 44(1): 73-94.
3. Mahmood Q, Zheng P, Cai J, Hayat Y, Hassan MJ, Wu DL, Hu BL. Sources of sulfide in waste streams and current biotechnologies for its removal. J Zhejiang Univ-Sc A. 2007; 8: 1126-1140.

4. Zytoon MAM, Alzahrani AA, Noweir MH, EL-Marakby FA. Bioconversion of high concentrations of hydrogen sulfide to elemental sulfur in airlift bioreactor. *Sci World J.* 2014; 2014: 675673.
5. Zain WSMd, Salleh NIH, Abdullah A. Natural biocides for mitigation of sulphate reducing bacteria. *Int J Corrosion.* 2018; 2: 1-7.
6. Ramirez M, Fernandez M, Granada C, Le Borgne S, Gomez JM, Cantero D. Biofiltration of reduced sulphur compounds and community analysis of sulphur- oxidizing bacteria. *Bioresource Technol.* 2011; 102: 4047-4053.
7. Chung YC, Cheng CY, Chen TY, Hsu JS, Kui CC. Structure of the bacterial community in a biofilter during dimethyl sulfide (DMS) removal processes. *Bioresource Technol.* 2010; 101: 7165-7168.
8. Ramirez M, Gomez JM, Aroca G, Cantero D. Removal of hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus thioparus* in a biotrickling filter packed with polyurethane foam. *Bioresource Technol.* 2009; 100: 4989-4995.
9. Gonzalez-Sanchez A, Revah S. Biological sulfide removal under alkaline and aerobic conditions in a packed recycling reactor. *Water Sci Technol.* 2009; 59(7): 1415-1421.
10. Lohwacharin J, Annachhatre AP. Biological sulfide oxidation in an airlift bioreactor. *Bioresource Technol.* 2010; 101(7): 2114-2120.
11. Xiao Hua G, Wei Sheng G. Study on treatment of sulfide wastewater using adsorption-biological contact oxidation process. *Int Symposium Water Resour Environ Protect (ISWREP), Xian.* 2011.
12. Chen C, Wang A, Ren N, Kan H, Lee DJ. Biological breakdown of denitrifying sulfide removal process in high-rate expanded granular bed reactor. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008; 81(4): 765-770.
13. Hubbe MA, Metts JR, Hermosilla D, Blanco MA, Yerushalmi L, Haghghat F, Lindholm-Lehto P, Khodaparast Z, Kamali M, Elliott A. Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities. *Bio Res.* 2016; 11(3): 7953-8091.
14. Mojarrad Moghanloo GM, Fatehifar E, Saedy S, Aghaeifar Z, Abbasnezhad H. Biological oxidation of hydrogen sulfide in mineral media using a biofilm airlift suspension reactor. *Bioresource Technol.* 2010; 101(21): 8330-8335.
15. Zabihi M, Taran M. Optimization of environmental factors affecting gold microbial bioleaching by indigenous bacteria in Zarshuran mineral ore. *J Microb World.* 2017; 10(3): 202-209. [In Persian]
16. Baghi Sefidan H, Tarinejad A. Bioremediation of both mineral and organic mercury via construction of recombinant vector pET28a (+)-merA-merB. *J Microb World.* 2018; In Press. [In Persian]
17. Mohammadzadeh Karkaragh R, Chorom M, Motamedi H, Mohabat A. Biosorption and bioaccumulation of Cd and Ni in competitive solution by three bacteria isolated from polluted

- soils to sewage sludge. J Microb World. 2014; 7(3): 241-251. [In Persian]
18. Oyarzun P, Arancibia F, Canales Ch, E. Aroca G. Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thioparus*. Process Biochem. 2003; 39(2): 165-170.
 19. Swamy N, Prashanth KN, Basavaiah K. Titrimetric and spectrophotometric assay of diethylcarbamide citrate in formulations using iodate and iodide mixture as reagents. Braz J Pharm Sci. 2015; 51(1): 43-52.
 20. Beard S, Paradela A, Albar JP, Jerez CA. Growth of *Acidithiobacillus ferrooxidans* ATCC 23270 in thiosulfate under oxygen-limiting conditions generates extracellular sulfur globules by means of a secreted tetrathionate hydrolase. Front Microbiol. 2011; 2: 79.
 21. Kolmert A, Wikstrom P, Hallberg KB. A fast and simple turbidimetric method for the determination of sulfate in sulfate-reducing bacterial cultures. J Microbiol Methods. 2000; 41(3): 179-184.



Bio-remediation of sulfuric compounds from the ceramic wastewater using indigenous bacteria and *Thiobacillus thioparus*

Mahtab Taherian¹, Fatemeh Ardestani², Mehdi Parvini³

¹M. Sc., Department of Chemical Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

²Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

³Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Gas and Petroleum, Semnan University, Semnan, Iran.

Abstract

Background & Objectives: Sulfide compounds of ceramic industries wastewater cause water pollution as well as plants and aquatic destruction. This study was aimed to evaluate sulfide compounds removal from ceramic industries wastewater by *Thiobacillus thioparus* and indigenous wastewater bacterial isolates.

Materials & Methods: Indigenous bacterial strains were proliferated at pH of 7, the temperature of 25°C, agitation speed of 200 rpm and an aeration rate of 100 mL min⁻¹ in a 2 L bioreactor for 15 consecutive cycles. Sulfide compounds removal function of *T. thioparus* and indigenous bacterial strains along with the effect of pH and initial sulfide concentrations were investigated.

Results: The results showed a thiosulfate removal rate of 250 mg sulfide L⁻¹ h⁻¹, a thiosulfate conversion percentage of 100% and a thiosulfate oxidation time of 44 min following 8 consecutive cycles. The sulfide removal rate of *T. thioparus* and ceramic wastewater indigenous bacteria was obtained as 246.5 and 276.5 mg sulfide L⁻¹ h⁻¹, respectively. Sulfide removal rate by proliferated bacteria decreased from 250 at pH of 7 to 230 and 180 mg sulfide L⁻¹ h⁻¹ at pH of 8 and 9, respectively. Bacterial isolates had an acceptable function in sulfide concentration of 3000 mg L⁻¹, as well. Sulfide removal ability of *T. thioparus* isolates was decreased by 2.5 and 4 folds, when pH changed from 7 to 8 and 9, respectively. This bacterial strain was not able to tolerate high sulfide concentrations.

Conclusion: The results showed that bacteria isolated from ceramic industries wastewater have a higher capability of sulfide compounds removal as compared to *T. thioparus* isolates.

Keywords: Wastewater, Sulfide compounds, Bioremediation, *Thiobacillus thioparus*, Ceramic industries.

Correspondence to: Fatemeh Ardestani

Tel: +98 11 42155025

E-mail: ardestani_fatemeh@yahoo.com

Journal of Microbial World 2019, 11(4): 367-379.