



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال هفتم، شماره‌ی ۲۶
بهار ۱۳۹۵، صفحات ۹-۱

امکان سنجی گوگردزدایی زیستی از تیوفن به عنوان نمونه مدل گوگردی بنزین به وسیله باکتری ردوکوکوس تثبیت شده بر پلی وینیل الکل

علی فتاحی

گروه مهندسی شیمی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

ali_fatahi_50@yahoo.com

سرور صادقی

گروه شیمی کاربردی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

soroorsadeghi@iauksh.ac.ir

چکیده

گوگرد زدایی از سوخت‌های فسیلی مانند بنزین به دلیل انتشار گاز SO_2 به هنگام احتراق به اتمسفر، امری بسیار ضروری و حائز اهمیت در کنترل آلودگی محیط زیست است. تاکنون روش‌های مختلفی در راستای حذف ترکیبات گوگردی آروماتیک در بنزین مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا روش‌های بیولوژیکی جهت حذف ترکیبات آروماتیک گوگردی مورد توجه قرار گرفته اند. باکتری ردوکوکوس اریتروپولیس تثبیت شده روی پایه پلی وینیل الکل قادر به گوگردزدایی از تیوفن به عنوان ترکیب مدل بنزینی در n-هگزان به عنوان حلال برای تعیین ماکزیمم ظرفیت جذب انجام شد. نتایج به دست آمده با روش اسپکتروفتومتری UV در طول موج ۲۴۰nm نشان داد که بیش از ۹۸ درصد از تیوفن در بهترین شرایط با غلظت اولیه ۸۰ppm، pH برابر با ۷، دوز جذب ۰/۵ g در دمای ۳۰°C، پس از ۲۰ ساعت حذف شده است. داده‌های تعادلی و سینتیک جذب مشاهده شده به ترتیب از ایزوترم فروندلیچ و مدل سینتیکی شبه درجه اول تبعیت می‌کند. هم‌چنین قابلیت بازیابی زیست توده ساپورت شده روی پلیمر بررسی شد. خصوصیات باکتری قبل و بعد از تثبیت روی پایه پلیمری با روش‌های طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) شناسایی شد.

کلید واژه: گوگرد زدایی زیستی، ردوکوکوس اریتروپولیس، پلی وینیل الکل، تیوفن، بنزین.

مقدمه

ترکیب‌های گوگردار موجود در نفت و برش‌های آن، مشکلاتی را در صنعت نفت ایجاد کرده‌اند که آلودگی محیط زیست مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌رود. این ترکیب‌ها پس از احتراق به صورت اکسیدهای متفاوت گوگرد (SO_x) و بیش از همه به صورت SO_2 آزاد می‌شوند. SO_2 سبب بروز ناراحتی‌های تنفسی به‌ویژه در کودکان و افراد پیر، تشکیل باران‌های اسیدی و سرعت بخشیدن به تشکیل آبروسل می‌شود. این موارد منجر به وضع قوانین و استانداردهایی برای کنترل میزان SO_2 تولیدی به منظور کاهش آلودگی‌های زیست محیطی شده است. هر ساله این قوانین سخت‌تر شده و تولیدکنندگان سوخت در سراسر جهان برای حفظ موقعیت خود در بازار ملزم به رعایت این قوانین و استانداردها شده‌اند. استاندارد میزان گوگرد مجاز سوخت دیزل مورد استفاده در حمل و نقل، در آمریکا، در سال ۲۰۰۶ به حد ۱۵ppmw که در سال ۲۰۰۳ این استاندارد ۵۰۰ppmw بوده است. در استاندارد حد مجاز گوگرد سوخت دیزل مورد استفاده در سال ۲۰۰۵، ۵۰ppmw بوده و تا اوایل سال ۲۰۰۸ این میزان به ۱۰ppmw رسید. هم‌چنین در ژاپن تا سال ۲۰۰۸ میلادی استفاده از سوخت دیزل با میزان گوگرد بیش از ۱۰ppmw مجاز نبوده است [۱-۲]. پیش‌بینی شده است که در ۵ تا ۱۰ سال آینده رعایت استانداردهای میزان گوگرد صفر، در سراسر جهان الزامی خواهد بود. این در حالی است که استانداردهای میزان گوگرد مجاز سوخت دیزل (و سوخت‌های دیگر) در ایران با استانداردهای جهانی تفاوت‌های زیادی دارد و روند حرکت در رسیدن به سوخت با درصد گوگرد پایین نیز با توجه به استانداردهای آینده جهانی بسیار کند می‌باشد. از طرف دیگر براساس آمار موجود، میزان تقاضا برای سوخت‌ها در آینده روند روبه افزایش دارد، بنابراین گوگردزدایی با سرعت و حجم بیشتر و در عین حال انتخاب روش‌های با کارایی بالاتر و اقتصادی‌تر ضروری خواهد بود [۳]. روش‌های متنوعی مانند گوگردزدایی با

هیدروژن (HDS) [۴]، اکسیداسیونی (ODS) [۵]، جذبی [۶] و زیستی (BDS) [۷-۹] برای گوگردزدایی استفاده می‌شوند. روش گوگردزدایی به‌وسیله هیدروژن متداول‌ترین روش گوگردزدایی در صنعت است اما هزینه‌های بالا ناشی از نیاز به دما و فشارهای بالا و مصرف هیدروژن دارد [۱۰]. گوگردزدایی به روش بیولوژیکی یکی از روش‌هایی است که به عنوان روشی مکمل یا جایگزین برای روش مرسوم HDS در سال‌های اخیر در جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. میکرو اورگانسیم‌های متفاوتی با قابلیت حذف گوگرد از ترکیب‌های گوگردار موجود در سوخت‌ها، بدون تغییر در ساختار و ارزش حرارتی سوخت، شناسایی و جداسازی شده‌اند و مطالعات مفصلی روی برخی از آن‌ها به منظور شناسایی آنزیم‌های مسئول گوگردزدایی و نقش هریک انجام شده است. در این میان کامل‌ترین تحقیقات انجام شده باکتری رودوکوس [۱۱-۱۳] و به‌طور ویژه بر روی *Rhodococcus sp. IGTS8* اختصاص داشته است [۷-۹] هم‌چنین توانایی حذف گوگرد از ترکیب‌های گوگردار پیچیده (مانند دی بنزوتیوفن و مشتقات شاخه دار آن) توسط بسیاری از این میکرو اورگانسیم‌ها گزارش شده است [۱۴-۱۵] باکتری *Rhodococcus P32C1* توانایی مصرف دی بنزوتیوفن، حذف گوگرد از آن و تبدیل آن به ۲-هیدروکسی بی فنیل را دارا است [۱۶]. در این تحقیق باکتری رودوکوس روی پایه پلیمری پلی وینیل الکل تثبیت شده و سپس فعالیت گوگردزدایی آن از تیوفن بررسی شد.

بخش تجربی

تهیه زیست توده

در ابتدا باکتری رودوکوس اریثروپولیس PTCC۱۷۶۷ از مرکز منطقه‌ای کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (PTCC) تهیه گردید. باکتری در محیط کشت تریپتون سویا براث با pH=۷ و دمای $30^{\circ}C$ کشت گردید،

۳۰°C به مدت نیم ساعت انتقال داده و در پایان حداکثر جذب تیوفن در طول موج ۲۴۰nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه گیری شد.

- تعیین مقدار غلظت بهینه

برای تعیین فعالیت گوگردزدایی، مقدار ۰/۱g از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول تیوفن با غلظت‌های ۲۰ppm، ۴۰، ۶۰، ۸۰ اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) در pH=۷ و دمای ۳۰°C به مدت نیم ساعت انتقال داده و در پایان حداکثر جذب تیوفن در طول موج ۲۴۰nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه گیری شد.

- تعیین مقدار دوز جاذب بهینه

برای تعیین مقدار بهینه از زیست توده، مقادیر مختلف از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول تیوفن با غلظت ۸۰ppm اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) در pH=۷ و دمای ۳۰°C به مدت ۱h انتقال داده و در پایان حداکثر جذب تیوفن در طول موج ۲۴۰nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه گیری شد.

- تعیین مقدار زمان مجاورت بهینه

برای تعیین مقدار بهینه زمان تماس، مقدار ۰/۱ گرم از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول تیوفن با غلظت ۸۰ppm اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) در pH=۷ و دمای ۳۰°C و زمان‌های مختلف ۱h، ۲، ۵، ۱۸ و ۲۰ تماس داده و در پایان حداکثر جذب تیوفن در طول موج ۲۴۰nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه گیری شد.

- بازیابی باکتری

به منظور بررسی امکان استفاده مجدد از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر، تکرار مراحل گوگردزدایی توسط یک زیست توده مشخص تثبیت شده روی پلیمر تا ۳ مرتبه بررسی شد. برای این کار، زیست توده تثبیت شده روی پلیمر با ۱۰mL تیوفن با غلظت ۸۰ppm به مدت ۲۰h در

پس از ۴ روز، مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ۳۰g از محیط کشت سویا در ۱۰۰۰mL آب مقطر حل شده و کشت باکتری در آن انجام شد. پس از آن که باکتری به انتهای رشد خود نزدیک شد، زیست توده توسط سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵min) ته نشین شدند و رشد سلولی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Spectro UV scan 60 DV) در طول موج ۶۰۰nm اندازه گیری شد (OD₆₀₀=۱)، سپس برای تثبیت روی پلیمر استفاده گردید. کلیه مواد شیمیایی لازم از شرکت Merck خریداری شده و جهت تایید فرآیند تثبیت باکتری بر روی پلی وینیل الکل از طیف سنجی (FT-IR Bruker) و SEM (۴۰۰cm⁻¹ ALPHA) و عکس (SEM MIRA3) استفاده شده است.

- روش تثبیت زیست توده روی پلی وینیل الکل

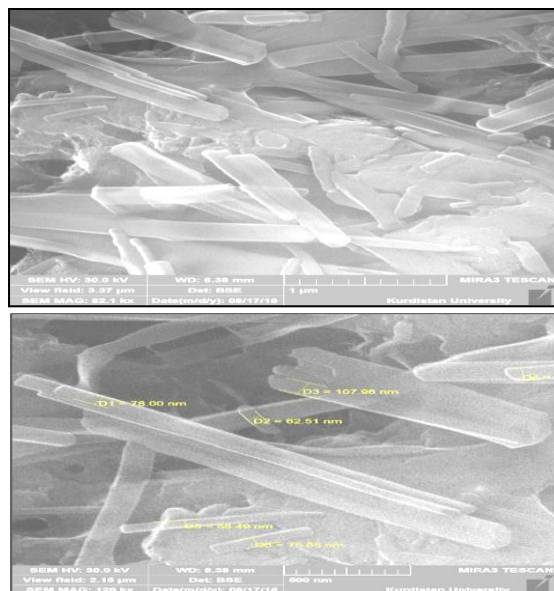
دو برابر مقدار زیست توده جدا شده، پلی وینیل الکل را وزن کرده و در آب مقطر در دمای ۳۰°C حل نموده و سپس زیست توده جدا شده از مرحله قبلی را برای تثبیت روی پلیمر در مجاورت دی سیکلوهاگزیل کربودی ایمید (DCC) به محلول اضافه نموده و به مدت ۲ ساعت با pH=۷ و دمای ۳۰°C هم زده شد تا مخلوط یکنواختی از پلیمر و زیست توده ایجاد شود. سپس DCC اضافی را با قیف بوخنر جدا نموده و مخلوط حاصل سانتریفیوژ شده و باکتری تثبیت شده روی پلیمر را جدا نموده و سپس توزین می‌شود. DCC افزوده شده به محیط باعث می‌شود گروه کربوکسیلات روی سطح باکتری به گروه ترک کننده مناسب تبدیل شده و شرایط برای حمله گروه هیدروکسی روی پلیمر به کربن کربوکسیلات برای اتصال به باکتری فراهم می‌شود.

- بررسی فعالیت گوگردزدایی زیست توده تثبیت شده روی پلی وینیل الکل

مقدار ۰/۱g از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول تیوفن با غلظت‌های ۲۰ppm، ۴۰، ۶۰، ۸۰ اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) در pH=۷ و دمای

پیک 3328cm^{-1} مربوط به OH کششی و NH کششی (تا حدودی) که بیش تر مربوط به گروه N-H آمید نوع دوم است و هم چنین امکان حضور بخشی از گروه‌های OH پلی وینیل الکل به دلیل عدم اتصال به ساختار باکتری وجود دارد. پیک خمشی آمید نوع دوم در ناحیه 1542cm^{-1} و گروه کربونیل (C=O) آمید نوع اول در ناحیه 1655cm^{-1} ظاهر شده، ارتعاش کششی CH_2 و CH_3 در ناحیه 2930cm^{-1} و 2857 و ارتعاشات خمشی آن‌ها در ناحیه 1451cm^{-1} است. 1396cm^{-1} ارتعاش کششی متقارن کربونیلی در COO^- مشاهده آمینواسیدهاست که دلیلی بر اتصال باکتری از طریق گروه کربوکسیل به PVA می‌باشد. ارتعاش کششی اتری C-O-C پلی ساکاریدها در ناحیه 1240cm^{-1} و کششی نامتقارن گروه فسفات (P=O) در 1081cm^{-1} می‌باشد. به نظر می‌رسد اتصال پلیمر به باکتری از طریق گروه‌های COOH و NH_2 آمید نوع اول موجود در سطح باکتری اتفاق افتاده است.

– طیف SEM باکتری رودوکوکوس تثبیت شده روی پلی وینیل الکل



شکل ۲: تصویر SEM باکتری رودوکوکوس تثبیت شده روی پلی

وینیل الکل

pH=7 و دمای 30°C تماس داده شده و فعالیت گوگردزدایی آن بررسی شد سپس برای استفاده مجدد زیست توده جدا شده از محلول تیوفن را با ۱۰ میلی‌لیتر از HCl (۰/۱N) به مدت ۲h تماس و شست‌وشو داده و مجدداً به آن محلول تیوفن افزوده و فعالیت آن بررسی می‌شود و این مراحل یک بار دیگر تکرار می‌شود.

یافته‌ها و بحث

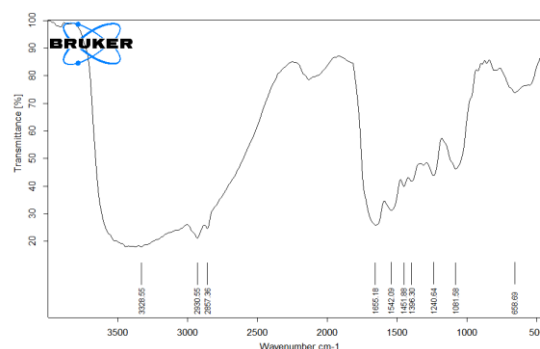
بررسی ساختار باکتری رودوکوکوس و باکتری تثبیت شده روی پلیمر

– طیف FT-IR باکتری رودوکوکوس

گروه‌های عاملی موجود در دیواره سلول باکتری به این صورت می‌باشد که پیک 3398cm^{-1} مربوط به OH کششی و NH کششی آمید نوع دوم است، که پیک خمشی آمید نوع دوم در ناحیه 1553cm^{-1} و گروه کربونیل (C=O) آمیدی موجود در ساختار پروتئین‌ها در ناحیه 1648cm^{-1} ظاهر شده، CH_2 و CH_3 کششی در ناحیه 2926cm^{-1} و ارتعاشات خمشی آن‌ها در 1405cm^{-1} می‌باشد، 1716cm^{-1} مربوط به COO^- کششی گروه کربوکسیلیک اسید است که خمشی آن در ناحیه 1654cm^{-1} است. ارتعاش کششی اتری C-O-C پلی ساکاریدها در ناحیه 1240cm^{-1} و کششی نامتقارن گروه فسفات (P=O) در 1071cm^{-1} می‌باشد.

– طیف FT-IR باکتری رودوکوکوس تثبیت شده روی

پلی وینیل الکل



شکل ۱: آنالیز FT-IR باکتری رودوکوکوس تثبیت شده روی پلی

وینیل الکل

- تاثیر مقدار جاذب بر کارایی حذف گوگرد از تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس
 با توجه به نتایج جدول ۲ و نمودار ۲ مشاهده می شود که با افزایش مقدار جاذب کارایی حذف گوگرد کاهش می یابد، به عبارت دیگر با افزایش مقدار جاذب از ۰/۱g تا ۰/۵g میزان حذف گوگرد به ترتیب از ۹۷/۴۱ به ۶۵/۶۷ درصد می رسد. بنابراین مقدار بهینه جاذب ۰/۱g با راندمان ۹۷/۴۱ درصد در نظر گرفته می شود.

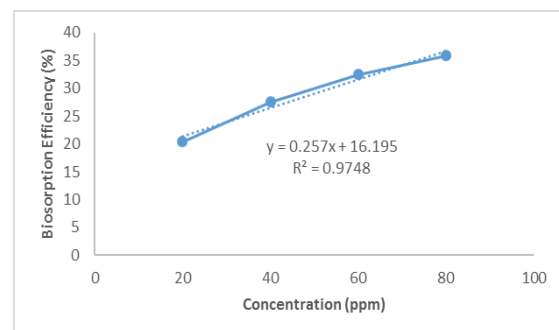
جدول ۲- بررسی تاثیر مقدار جاذب بر جذب بیولوژیکی تیوفن توسط

باکتری رودوکوکوس						
ردیف	غلظت (ppm)	زمان تماس (h)	دوز باکتری (g)	غلظت تعادلی (C _e)	راندمان (E%)	انحراف استاندارد (S)
۱	۸۰	۲۰	۰/۱	۱/۳۰	۹۸/۳۷	
۲	۸۰	۲۰	۰/۱	۲/۰۷	۹۷/۴۱	±۰/۹۶
۳	۸۰	۲۰	۰/۱	۲/۸۴	۹۶/۴۵	
۱	۸۰	۲۰	۰/۲	۱۰/۵۳	۸۶/۸۳	
۲	۸۰	۲۰	۰/۲	۱۱/۳۰	۸۵/۸۷	±۰/۵۸
۳	۸۰	۲۰	۰/۲	۱۱/۳۰	۸۵/۸۷	
۱	۸۰	۲۰	۰/۳	۱۵/۱۵	۸۱/۰۶	
۲	۸۰	۲۰	۰/۳	۱۵/۱۵	۸۱/۰۶	±۰/۵۴
۳	۸۰	۲۰	۰/۳	۱۵/۹۲	۸۰/۱۰	
۱	۸۰	۲۰	۰/۴	۲۱/۳۰	۷۳/۳۷	
۲	۸۰	۲۰	۰/۴	۲۲/۰۷	۷۲/۴۱	±۰/۹۶
۳	۸۰	۲۰	۰/۴	۲۲/۸۴	۷۱/۴۵	
۱	۸۰	۲۰	۰/۵	۲۶/۶۹	۶۶/۶۳	
۲	۸۰	۲۰	۰/۵	۲۷/۴۶	۶۵/۶۷	±۰/۹۶
۳	۸۰	۲۰	۰/۵	۲۸/۲۳	۶۴/۷۱	

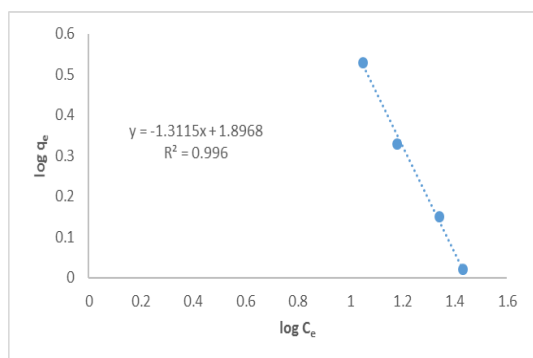
- تاثیر غلظت اولیه تیوفن بر کارایی حذف گوگرد از تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس
 رابطه بین غلظت اولیه تیوفن و توانایی حذف گوگرد توسط باکتری رودوکوکوس در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول و نمودار ۱ می توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت تیوفن تا ۸۰ppm راندمان حذف گوگرد روند صعودی داشته و به حدود ۳۴/۹۱ درصد می رسد.

جدول ۱- بررسی تاثیر غلظت تیوفن بر جذب بیولوژیکی باکتری رودوکوکوس

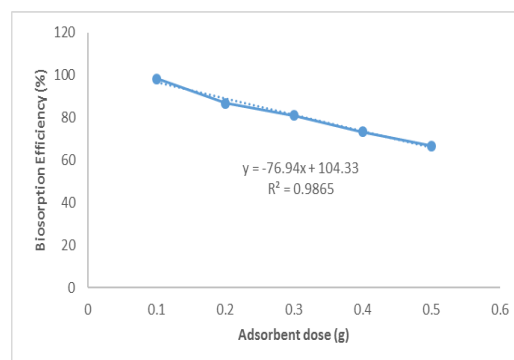
ردیف	غلظت (ppm)	زمان تماس (h)	دوز باکتری (g)	غلظت تعادلی (C _e)	راندمان (E%)	انحراف استاندارد (S)
۱	۲۰	۱	۰/۱	۱۵/۹۲	۲۰/۳۸	
۲	۲۰	۱	۰/۱	۱۶	۲۰	±۰/۳۶
۳	۲۰	۱	۰/۱	۱۶/۰۷	۱۹/۶۵	
۱	۴۰	۱	۰/۱	۲۹	۲۷/۵	
۲	۴۰	۱	۰/۱	۲۹/۰۷	۲۷/۳۲	±۰/۱۸
۳	۴۰	۱	۰/۱	۲۹/۱۵	۲۷/۱۲	
۱	۶۰	۱	۰/۱	۴۰/۵۳	۳۲/۴۳	
۲	۶۰	۱	۰/۱	۴۰/۵۳	۳۲/۴۳	۰
۳	۶۰	۱	۰/۱	۴۰/۵۳	۳۲/۴۳	
۱	۸۰	۱	۰/۱	۵۱/۳۰	۳۵/۸۷	
۲	۸۰	۱	۰/۱	۵۲/۵۷	۳۴/۹۱	±۰/۹۶
۳	۸۰	۱	۰/۱	۵۲/۸۴	۳۳/۹۵	



نمودار ۱: راندمان جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس در غلظت های متفاوت (۱h = زمان، ۰/۱g = دوز و ۷ = pH)



نمودار ۴: ایزوترم جذب فروندلیچ برای گوگردزایی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس



نمودار ۲: راندمان جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس در دوزهای متفاوت باکتری (۲۰h = زمان، pH = ۷)

جدول ۳ پارامترهای مدل ایزوترم جذب بیولوژیکی تیوفن (مدل لانگمویر و فروندلیچ) توسط باکتری رودوکوکوس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل فروندلیچ داده‌ها را به خوبی توصیف می‌کند.

جدول ۳- پارامترهای ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ در جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس

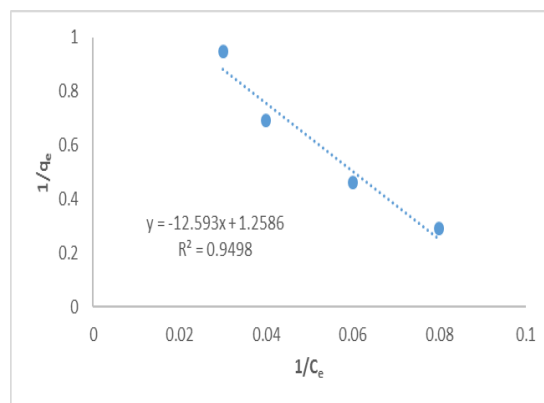
مدل لانگمویر	b (L/mg)	q _m (mg/g)	R ²
	-۰/۱	۰/۷۹	۰/۹۴۹۸

مدل فروندلیچ	K _f (mg/g)(L/g) ^{1/n}	n	R ²
	۷۸/۸۴	-۰/۷۶	۰/۹۹۶

- تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس

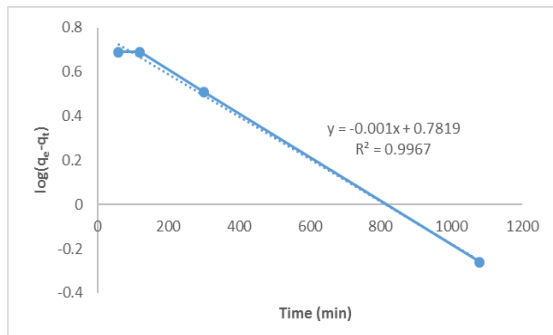
زمان تماس بین باکتری و تیوفن یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی بود. نتایج جدول ۴ و نمودار ۵ نشان دادند که با افزایش زمان تماس، مقدار تیوفن باقی‌مانده در محلول نیز کاهش می‌یابد، به طوری که در زمان ۲۰h به بالاترین مقدار حذف (۹۸/۳۷ درصد) می‌رسد.

- ایزوترم‌های جذب
منحنی‌های ایزوترم حاصل از حذف گوگرد در گرم‌های مختلف باکتری رودوکوکوس (۰/۱g، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵) در زمان تماس ۲۰h با غلظت ۸۰ppm تیوفن، در نمودارهای ۳ و ۴ رسم شده است. میزان ضرایب همبستگی (R²)، برای دو مدل لانگمویر و فروندلیچ به ترتیب برابر ۰/۹۴۹۸ و ۰/۹۹۶ بود. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که حذف گوگرد توسط باکتری از ایزوترم فروندلیچ (R² = ۰/۹۹۶) تبعیت می‌کند.

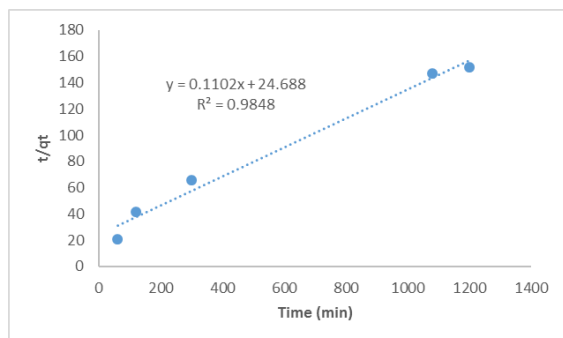


نمودار ۳: ایزوترم جذب لانگمویر برای گوگردزایی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس

سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم حاصل از حذف گوگرد توسط باکتری رودوکوکوس، با محلول ۸۰ ppm تیوفن و ۰/۱g از باکتری در زمان تماس های مختلف (h)، ۲، ۵، ۱۸ و ۲۰ در نمودارهای ۶ و ۷ رسم شده است. میزان ضرایب همبستگی (R^2)، برای دو مدل شبه درجه اول، شبه درجه دوم به ترتیب برابر ۰/۹۹۶۷ و ۰/۹۸۴۸ بود. بر اساس نتایج، بیشترین میزان مطابقت با مدل شبه درجه اول مشاهده شد که در نمودار ۶ ارائه شده است. این مدل به عنوان بهترین نمونه جهت توصیف رفتار سینتیکی باکتری رودوکوکوس در حذف گوگرد از تیوفن انتخاب شد.



نمودار ۶: سینتیک شبه درجه اول جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس



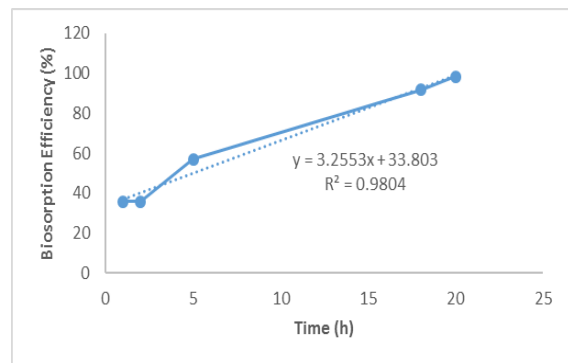
نمودار ۷: سینتیک شبه درجه دوم جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس

جدول ۵ پارامترهای سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم در جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری

جدول ۴- بررسی تاثیر زمان تماس بر جذب بیولوژیکی تیوفن توسط

باکتری رودوکوکوس

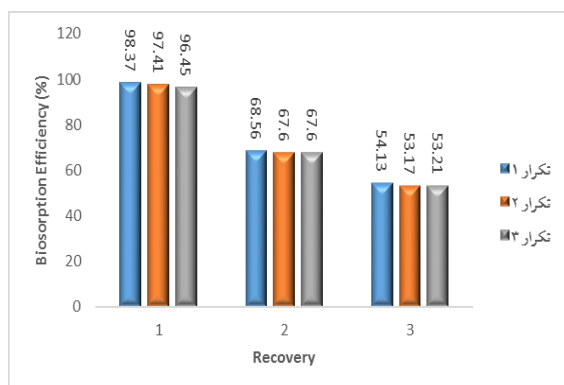
انحراف استاندارد (S)	انحراف از میانگین	راندمان (E%)	غلظت تعادلی (C _e)	دوز باکتری (g)	زمان تماس (h)	غلظت (ppm)	رتبه
۰/۹۶	۳۵/۸۷	۵۱/۳۰	۰/۱	۱	۸۰	۱	
±۰/۹۶	۰	۳۴/۹۱	۵۲/۵۷	۰/۱	۱	۸۰	۲
-۰/۹۶	۳۳/۹۵	۵۲/۸۴	۰/۱	۱	۸۰	۳	
۰/۹۶	۳۵/۸۷	۵۱/۳۰	۰/۱	۲	۸۰	۱	
±۰/۹۶	۰	۳۴/۹۱	۵۲/۵۷	۰/۱	۲	۸۰	۲
-۰/۹۶	۳۳/۹۵	۵۲/۸۴	۰/۱	۲	۸۰	۳	
-۰/۳۲	۵۷/۰۲	۳۴/۳۸	۰/۱	۵	۸۰	۱	
±۰/۵۵	۰/۶۴	۵۷/۹۸	۳۳/۶۱	۰/۱	۵	۸۰	۲
-۰/۳۲	۵۷/۰۲	۳۴/۳۸	۰/۱	۵	۸۰	۳	
۰/۹۶	۹۱/۶۳	۶/۶۹	۰/۱	۱۸	۸۰	۱	
±۰/۹۶	۰	۹۰/۶۷	۷/۴۶	۰/۱	۱۸	۸۰	۲
-۰/۹۶	۸۹/۷۱	۸/۲۳	۰/۱	۱۸	۸۰	۳	
۰/۹۶	۹۸/۳۷	۱/۳۰	۰/۱	۲۰	۸۰	۱	
±۰/۹۶	۰	۹۷/۴۱	۲/۰۷	۰/۱	۲۰	۸۰	۲
-۰/۹۶	۹۶/۴۵	۲/۸۴	۰/۱	۲۰	۸۰	۳	



نمودار ۵: راندمان جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس در زمانهای متفاوت (g) ۰/۱ = دوز و pH = ۷

- سینتیک جذب

سینتیک جذب برای تعیین مکانیسم کنترل فرآیندهای جذب استفاده می شود. جهت تعیین سینتیک واکنش، داده های حاصل از جذب با استفاده از مدل های شبه درجه اول و شبه درجه دوم مورد بررسی قرار گرفت. منحنی های



نمودار ۸: بررسی بازیابی باکتری رودوکوکوس پس از ۳ بار تکرار در جذب بیولوژیکی تیوفن (۲۰ h = زمان، ۰/۱ g = دوز و pH = ۷)

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از ۹۸ درصد از تیوفن در بهترین شرایط با غلظت اولیه ۸۰ ppm، pH برابر با ۷، دوز جاذب ۰/۵ g در دمای ۳۰ °C، پس از ۲۰ ساعت حذف شده است. بررسی داده‌های تعادلی و سینتیک جذب نشان می‌دهد که جذب تیوفن توسط باکتری ردوکوکوس تثبیت شده بر پلی وینیل الکل از مدل سینتیکی شبه درجه اول ($R^2=0/9967$) تبعیت می‌کند. بنابراین جذب سطحی و نفوذ در لایه مرزی کنترل کننده سرعت جذب بوده است و تغییرات در راندمان جذب متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده در سطح جاذب است، هم‌چنین جذب تیوفن از ایزوترم فروندلیچ ($R^2=0/996$) تبعیت می‌کند به این معنی که تغییرات انتالپی جذب تابع خطی از لگاریتم کسر پوششی سطح جاذب است. مقدار ثابت فرندلیچ (K_f) نشان دهنده ظرفیت بالای جاذب بیولوژیک می‌باشد. هم‌چنین جاذب پس از ۳ بار بازیابی و استفاده مجدد همچنان توانایی جذب خود را حفظ نموده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده توانایی بالای باکتری ردوکوکوس تثبیت شده بر پایه پلی وینیل الکل در جذب بیولوژیکی تیوفن است.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان گوگرد زدایی زیستی بنزین با استفاده از سویه باکتریایی

رودوکوکوس را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود مدل شبه درجه اول داده‌ها را به خوبی توصیف می‌کند.

جدول ۵- پارامترهای سینتیک شبه درجه اول و درجه دوم در جذب بیولوژیکی تیوفن توسط باکتری رودوکوکوس

شبه درجه اول	K_1 (1/min)	q_e (mg/g)	R^2
	۰/۰۰۲۳	۶/۰۵	۰/۹۹۶۷
شبه درجه دوم	K_2	q_e	R^2
	۰/۰۰۰۴۸	۹/۰۷	۰/۹۸۴۸

- بازیابی و استفاده مجدد از باکتری ساپورت شده روی پلیمر

به منظور بررسی امکان استفاده مجدد از باکتری‌ها، تعداد مراحل گوگردزدایی توسط باکتری‌های تثبیت شده روی پلی وینیل الکل بررسی شدند. برای این کار، باکتری‌های تثبیت شده با ۱۰ mL تیوفن با غلظت ۸۰ ppm تماس داده شده و فعالیت گوگردزدایی آن بررسی شد. در جدول ۶ و نمودار ۸ تعداد مراحل بازیابی باکتری نشان داده شده است. هر مرحله ۲۰ h طول می‌کشد و هم‌چنین امکان استفاده مجدد از باکتری‌های تثبیت شده روی پلی وینیل الکل با حفظ قابلیت گوگردزدایی تأیید شده است.

جدول ۶- بررسی بازیابی باکتری در جذب بیولوژیکی تیوفن توسط

باکتری رودوکوکوس						
ردیف	غلظت (ppm)	زمان تماس (h)	دوز باکتری (g)	غلظت تعادلی (C _e)	راندمان (E%)	انحراف از میانگین
۱	۸۰	۲۰	۰/۱	۱/۳۰	۹۸/۳۷	۰/۹۶
۲	۸۰	۲۰	۰/۱	۲/۰۷	۹۷/۴۱	±۰/۹۶
۳	۸۰	۲۰	۰/۱	۲/۸۴	۹۶/۴۵	-۰/۹۶
۱	۸۰	۲۰	۰/۱	۲۵/۱۵	۶۸/۵۶	۰/۶۴
۲	۸۰	۲۰	۰/۱	۲۵/۹۲	۶۷/۶۰	±۰/۵۴
۳	۸۰	۲۰	۰/۱	۲۵/۹۲	۶۷/۶۰	-۰/۳۲
۱	۸۰	۲۰	۰/۱	۳۶/۶۹	۵۴/۱۳	۰/۹۶
۲	۸۰	۲۰	۰/۱	۳۷/۴۶	۵۳/۱۷	±۰/۹۶
۳	۸۰	۲۰	۰/۱	۳۸/۲۳	۵۳/۲۱	-۰/۹۶

- [7] Denome, S. A., Olson, E. S. and Young, K. D., 1993, Identification and cloning of genes involved in specific desulfurization of dibenzothiophene by *Rhodococcus* sp. strain IGTS8, *App Environ Microbiol*, 59(9), 2837.
- [8] Gray, A. K., Progrebinsky, O. S., Mrachko, G.T., Xi, L., Monticello, D. J., Squires, C.H., 1996, Molecular mechanisms of biocatalytic desulfurization of fossil fuels, *Nature Biotechnol*, 14, 1705.
- [9] Gray, K. A., Mrackko, G. T., Squires, C. H., 2003, *Curr. Opin. Microbiol.* 6: 229.
- [10] Lee, C.K., McGoven, S., 2001, *Petr Technol Quarterly*, 6 (4): 35.
- [11] Zakharyants, A. A., Murygina, P., Kalyuzhnyi, S., 2004, Screening of *Rhodococcus* Species Revealing Desulfurization Activity with regards to Dibenzothiophene, *Biocatal, Technol. Nanotech.*, 51.
- [12] Guo-Qiang, L., et.al., 2008, Improved biodesulfurization of hydrodesulfurized diesel oil using *Rhodococcus erythropolis* and *Gordonia* sp., *Biotechnol Lett*, 30: 1759.
- [13] Akbarzadeh, S., et.al., 2004, Cloning and sequencing of desulfurization operon from a isolated bacterium *Rhodococcus* FMF, *Iranian J. Biotech.*, 2(1).
- [14] Okada, H., Nomura, N., Nakahara, T., Saitoh, K., Ushiyama, H., Maruhashi, K., 2003, *Biotechnol Bioeng.* 83(4):399.
- [15] Kobayashi, M., Horiuchi, K., Yoshikawa, O., Hirasawa, K., Ishii, Y., Fujino, K., Sugiyama, H. and Maruhashi, K., 2001, *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65(2): 298.
- [16] Bickerstaff, G. F., 1997, *Immobilization of Enzymes & Cells*, Humana Press Inc., Totawa, NJ, 61.

تثیت شده بر روی پایه پلیمری می باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه به انجام رسیده است که بدین وسیله از حمایت های این واحد دانشگاهی تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [1] Song, C., Ma, X., 2003, New design approaches to ultra-clean diesel fuels by deep desulfurization and deep dearomatization, *Appl Catal B: environ*, 41: 207.
- [2] Chang, T., 2003, *Pet Technol Quarterly Catal*, 8(2):21.
- [3] Ross, J., Lepage, J.P. and Confuorto, N., 2003, Clean fuels programs: Asia-Pacific and western Europe styles: Refining developments, *Hydrocarbon Processg*, 47.
- [4] Houalla M., D. H. B., A. V. Sapre, N. K. Nag, V. H. J. de Beer I, B. C. Gates and H. Kwart, 1980, Hydrodesulfurization of methyl-substituted dibenzothiophenes catalyzed by sulfided $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, *J. Catal.*, 61(2): 523.
- [5] Zhang, G., Yu, F., Wang, R., 2009, Research advances in oxidative desulfurization technologies for the production of low sulphur fuel oils, *Petrol. Coal.*, 51:196.
- [6] Shiraishi Y, Hirai T, Komasaawa I, 2001, A deep desulfurization process for light oil by photochemical reaction in an organic two-phase liquid-liquid extraction system, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37: 203.