



سال هشتم، شماره‌ی ۲۹
زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۳۷-۲۹

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

امکان سنجی گوگردزدایی زیستی از دی بنزوتیوفن به عنوان مدل گوگردی در گازوییل به وسیله باکتری سودوموناس ائروژینوزا تثبیت شده بر پلی وینیل الکل

حسین خوش روش

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

سرور صادقی

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

soroorsadeghi@iauksh.ac.ir

سارا شریفی

گروه زیست شناسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

چکیده

گوگردزدایی از سوخت‌های فسیلی مانند گازوئیل 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 گازوئیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا روش‌های بیولوژیکی جهت حذف ترکیبات آروماتیک گوگردی مورد توجه قرار گرفته‌اند. باکتری پسودوموناس ائروژینوزا تثبیت شده روی پایه پلیمری پلی وینیل الکل قادر به گوگردزدایی از ترکیب دی بنزوتیوفن می‌باشد. در این راستا باکتری سودوموناس برای گوگردزدایی از دی بنزوتیوفن به عنوان ترکیب مدل گازوئیلی در فاز آلی n-هگزان انجام شد که نتایج به دست آمده با روش اسپکتروفتومتری UV در طول موج ۳۲۵nm نشان داد که در شرایط بهینه بیش از ۹۳/۸ درصد از دی بنزوتیوفن با غلظت اولیه ۲۰ppm در دمای $35^{\circ}C$ و $pH = 7$ و با دوز جاذب ۰/۵ g پس از ۷h حذف شده است. نتایج نشان می‌دهد که حذف گوگرد در این روش از مدل سینتیکی شبه درجه اول و هم‌چنین از ایزوترم فروندلیچ 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 طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) شناسایی شد.

کلیدواژه: گوگردزدایی زیستی، سودوموناس ائروژینوزا، پلی وینیل الکل، دی بنزوتیوفن، گازوئیل.

مقدمه

که در آن گوگردزدایی به روش شیمیایی و با استفاده از هیدروژن صورت می‌گیرد؛ اما این روش هزینه‌های زیادی مثل نیاز به دما و فشارهای بالا و مصرف هیدروژن دارد. گوگردزدایی سوخت‌های فسیلی به روش بیولوژیکی یکی از روش‌هایی است که به‌عنوان روشی مکمل یا جایگزین برای روش مرسوم HDS در سال‌های اخیر در جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۹-۱۰].

از جمله این میکروارگانیسم‌های گوگردزدا که شناسایی و بررسی شده‌اند می‌توان انواع، باکتری‌های سودوموناس [۱۱]، ردوکوکوس [۱۴-۱۲]، باسیلوس [۱۵]، مایکوباکتری و نوکوردیارا نام برد [۸].

گوگردزدایی به‌وسیله این میکروارگانیسم‌ها مزایایی دارد، زیرا اولاً در دما و فشار ملایم انجام می‌شود و این را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند صرفه‌جویی انرژی مورد توجه قرار داد. ثانیاً گزینش پذیری زیادی نسبت به سوبسترا خود دارند. هم‌چنین تثبیت باکتری بر روی سطح پلیمر باعث افزایش راندمان و بهبود خواص سطحی و کارایی سطح جاذب و هم‌چنین افزایش توانایی بازیافت جاذب بیولوژیک خواهد شد [۱۶].

در این تحقیق، باکتری *Pseudomonas aeruginosa* روی پایه پلیمری پلی وینیل الکل تثبیت شده و سپس عملکرد گوگردزدایی باکتری تثبیت شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

- تهیه زیست توده^۱

در ابتدا باکتری *Pseudomonas aeruginosa* از مرکز منطقه‌ای کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (PTCC) تهیه گردید. باکتری در محیط کشت تریپتون سویا براث با pH=۷ و دمای °C ۳۷ کشت گردید، پس از ۴ روز، مورد استفاده قرار گرفت.

سوختن ترکیبات حاوی گوگرد در سوخت‌های فسیلی، اکسید گوگرد را در اتمسفر انتشار می‌دهد که اثرات زیان باری را بر سلامت و محیط‌زیست داشته و هزینه‌های مصرفی را افزایش می‌دهد. در بین ترکیبات گوگردی، SO₂ در اتمسفر نزدیک سطح زمین فراوان است دهد و می‌تواند عامل تشکیل ذرات آئروسول سولفات باشد. ذرات آئروسول قطری حدود ۲/۵ میکرومتر دارند و می‌توانند به شش‌ها نفوذ کرده و باعث ایجاد بیماری‌های تنفسی شوند [۱]. بیش‌تر خوردگی موتور، ناشی از گوگرد بالایی است که در سوخت وجود دارد. جهت تنظیم مقدار باران اسیدی و کنترل آلودگی هوایی که به وسیله اکسید گوگرد ایجاد می‌شود، مقدار گوگرد موجود در نفت خام باید به مقدار خیلی کم‌تری کاهش یابد. در ایران در سال ۸۵ مقدار گوگرد سوخت دیزلی طبق گزارش‌های رسمی به‌طور متوسط ppm ۵۰۰۰ بوده که در منابع غیررسمی تا ppm ۷۰۰۰ اعلام می‌شود و در بهترین سوخت گازویلی مقدار کل گوگرد ppm ۵۰۰ می‌باشد. بر طبق مصوباتی که در ایالات متحده، برای کنترل و کاهش آلودگی گوگرد وضع شده است، حداکثر مقدار گوگرد سوخت دیزلی باید از حدود ۰/۲-۰/۵ درصد وزنی در سال ۱۹۸۰ به ۰/۰۵ درصد وزنی در اول اکتبر ۱۹۹۳ کاهش یافته است.

در حال حاضر قوانین در ایالت متحده، اروپای غربی و ژاپن برای همه سوخت‌های دیزلی میزان گوگرد موجود در سوخت‌های دیزلی را به بسیار کم‌تر از ۰/۰۵ درصد وزنی یا ppm ۵۰۰، یعنی ppm ۵۰ و کم‌تر از آن محدود می‌کند. در استاندارد EURO این میزان ppm ۱۰ می‌باشد [۲].

روش‌های متنوعی مثل گوگردزدایی با هیدروژن (HDS) [۳]، اکسیداسیونی (ODS) [۴-۶]، جذبی [۷] و زیستی (BDS) [۸-۱۵] برای گوگردزدایی استفاده می‌شوند. روش اصلی گوگردزدایی در صنعت در حال حاضر HDS است

- تعیین مقدار زمان مجاورت بهینه

برای تعیین مقدار بهینه زمان تماس، مقدار ۰/۵ گرم از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول دی بنزوتیوفن با غلظت ۲۰ppm اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) در pH=۷ و دمای ۳۰°C در زمان‌های مختلف ۰/۵ تا ۸ ساعت تماس داده و در پایان حداکثر جذب دی بنزوتیوفن در طول موج ۳۲۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه‌گیری 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 دی بنزوتیوفن با غلظت ۲۰ppm 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 دی بنزوتیوفن در طول موج ۳۲۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه‌گیری شد.

- بازیابی باکتری

به منظور بررسی امکان استفاده مجدد از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر، باکتری‌های تثبیت شده با ۱۰mL دی بنزوتیوفن با غلظت ۲۰ppm با pH=۷ و دمای ۳۰°C به مدت ۷h تماس داده شده و فعالیت گوگردزایی آن بررسی شد، سپس برای استفاده مجدد باکتری جدا شده از محلول دی بنزوتیوفن را با ۱۰mL از HCl (۰/۱N) به مدت ۲h تماس و شست‌وشو داده و مجدداً به آن محلول دی بنزوتیوفن افزوده و فعالیت آن بررسی می‌شود و این مراحل یک بار دیگر تکرار می‌شود.

یافته‌ها و بحث

- بررسی ساختار باکتری سودوموناس و باکتری تثبیت شده روی پلیمر

پس از آن‌که باکتری به انتهای رشد خود نزدیک شد، زیست توده توسط سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵ min) ته‌نشین شدند و ۲ مرتبه با بافر فسفات پتاسیم شست‌وشو داده شدند، رشد سلولی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۰۰nm اندازه‌گیری شد (OD₆₀₀=۱).^(۱)

- روش تثبیت زیست توده روی پلیمر

پلیمر پلی وینیل الکل را در آب مقطر با حرارت دادن حل نموده و سپس زیست توده را به آن اضافه نموده و به مدت ۲ ساعت هم زده شده تا مخلوط یکنواختی از پلیمر و زیست توده ایجاد شود. محلول CaCl₂.2H₂O با غلظت ۰/۱M به وسیله یک سرنگ قطره‌قطره به این مخلوط روی شیکر افزوده می‌شود. در پایان تزریق، مخلوط به مدت ۱h دیگر هم زده می‌شود تا دانه‌های یکنواختی تشکیل شوند. رسوب حاصل را با CaCl₂.2H₂O شست‌وشو داده و سپس سانتریفیوژ می‌شوند. اثبات عملکرد فرآیند تثبیت باکتری بر روی پلیمر به کمک طیف سنجی FT-IR و عکس SEM انجام شد.

- بررسی فعالیت گوگردزایی زیست توده تثبیت شده روی

پلی وینیل الکل

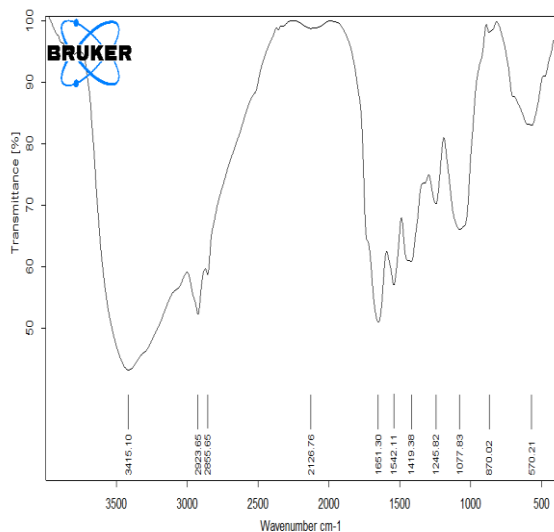
ابتدا برای تعیین معادله منحنی استاندارد، جذب دی بنزوتیوفن با غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ در طول موج ۳۲۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه‌گیری شد.

- تعیین مقدار غلظت بهینه

برای تعیین فعالیت گوگردزایی، مقدار ۰/۱g از زیست توده تثبیت شده روی پلیمر را به ۱۰mL از محلول دی بنزوتیوفن اضافه کرده و بر روی شیکر (۲۰۰rpm) با pH=۷ و دمای ۳۰°C انتقال داده و در پایان حداکثر جذب دی بنزوتیوفن در طول موج ۳۲۵nm توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV اندازه‌گیری شد.

- طیف FT-IR باکتری سودوموناس

- طیف FT-IR باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلیمر
طیف FT-IR باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلی وینیل الکل در شکل ۲ نشان داده شده است.



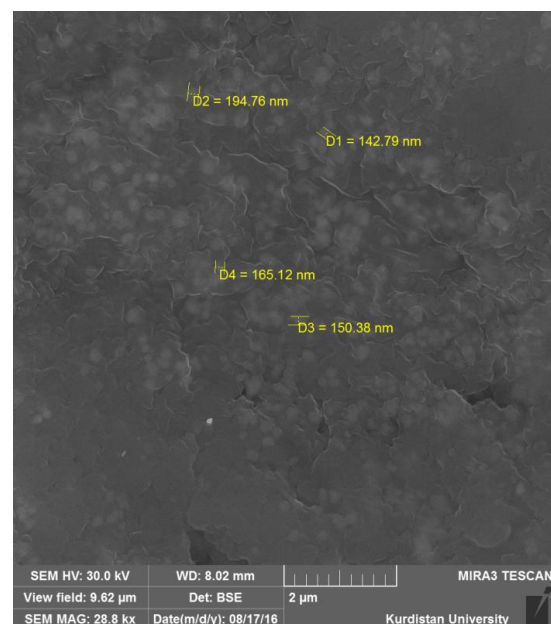
شکل ۲: طیف FT-IR باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلی وینیل الکل

پیک 3415 cm^{-1} مربوط به OH کششی و NH کششی که بیش تر مربوط به گروه N-H آمید نوع دوم است و همچنین امکان حضور بخشی از گروه‌های OH پلی وینیل الکل به دلیل عدم اتصال به ساختار دیواره سلول وجود دارد. پیک خمشی آمید نوع دوم در ناحیه 1542 cm^{-1} و گروه کربونیل ($C=O$) آمید نوع اول در پروتئین‌های سلول در ناحیه 1661 cm^{-1} ظاهر شده، ارتعاش کششی CH_3 و CH_2 در ناحیه 2923 cm^{-1} و 2856 cm^{-1} و ارتعاش CH_2 برشی در ناحیه 1419 cm^{-1} و ارتعاش نوسانی CH_2 در 1077 cm^{-1} است. ارتعاش استری (CO_2C) خمشی در 870 cm^{-1} و کربونیل کششی پلی ساکارید در 1077 cm^{-1} ظاهر شده، ارتعاش کششی اتری C-O-C پلی ساکارید و ارتعاش کششی گروه فسفات (P=O) در 1246 cm^{-1} ظاهر شده است. حذف پیک های 1720 cm^{-1} ، 1590 و 1404 نشان دهنده اتصال از طریق

بررسی گروه‌های عاملی موجود در دیواره سلول باکتری به این صورت می‌باشد که پیک 3254 cm^{-1} مربوط به OH کششی و NH کششی آمید نوع دوم است که پیک خمشی آمید نوع دوم در ناحیه 1544 cm^{-1} و گروه کربونیل ($C=O$) آمیدی موجود در ساختار پروتئین‌ها در ناحیه 1662 cm^{-1} و کربونیل کششی پلی ساکارید در 1057 cm^{-1} ظاهر شده، CH_3 و CH_2 کششی در ناحیه 2920 cm^{-1} و ارتعاش برشی CH_2 در ناحیه 1457 cm^{-1} و ارتعاش نوسانی آن در 1078 cm^{-1} می‌باشد، 1590 cm^{-1} مربوط به COO^- کششی نامتقارن و 1404 cm^{-1} کششی متقارن گروه کربوکسیلیک اسید و ارتعاش خمشی کربوکسیلیک اسید در 697 cm^{-1} است. ارتعاش کربونیل کششی پلی ساکارید در 1075 cm^{-1} ظاهر شده، ارتعاش کششی اتری C-O-C پلی ساکاریدها در ناحیه 1238 cm^{-1} می‌باشد.

- طیف SEM باکتری سودوموناس

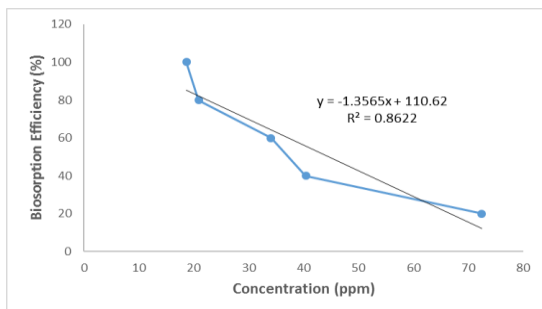
تصویر SEM باکتری سودوموناس در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM باکتری سودوموناس

جدول ۱- بررسی تاثیر غلظت دی بنزوتیوفن بر جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

غلظت (ppm)	زمان تماس (h)	دوز باکتری (g)	غلظت تعادلی (C _e)	راندمان (E%)	انحراف از میانگین	انحراف استاندارد (S)
۲۰	۷	۰/۱	۵/۵	۷۲/۵	۰/۳	۰/۳
۲۰	۷	۰/۱	۵/۵۶	۷۲/۲	۰	±۰/۳
۲۰	۷	۰/۱	۵/۶۲	۷۱/۹	-۰/۳	
۴۰	۷	۰/۱	۲۳/۸۳	۴۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۱۵
۴۰	۷	۰/۱	۲۳/۸۹	۴۰/۲۷	۰	±۰/۱۵
۴۰	۷	۰/۱	۲۳/۹۵	۴۰/۱۲	-۰/۱۵	
۶۰	۷	۰/۱	۳۹/۵۷	۳۴/۰۵	۰/۱	۰/۱
۶۰	۷	۰/۱	۳۹/۶۳	۳۳/۹۴	۰	±۰/۱۱
۶۰	۷	۰/۱	۳۹/۶۹	۳۳/۸۳	-۰/۱	
۸۰	۷	۰/۱	۶۳/۲۷	۲۰/۹۰	۰/۸	۰/۸
۸۰	۷	۰/۱	۶۳/۳۳	۲۰/۸۲	۰	±۰/۰۸
۸۰	۷	۰/۱	۶۳/۴۰	۲۰/۷۴	-۰/۸	
۱۰۰	۷	۰/۱	۸۱/۳۰	۱۸/۷۰	۰/۱۳	۰/۱۳
۱۰۰	۷	۰/۱	۸۱/۴۲	۱۸/۵۷	۰	±۰/۱۳
۱۰۰	۷	۰/۱	۸۱/۵۴	۱۸/۴۵	-۰/۱۳	

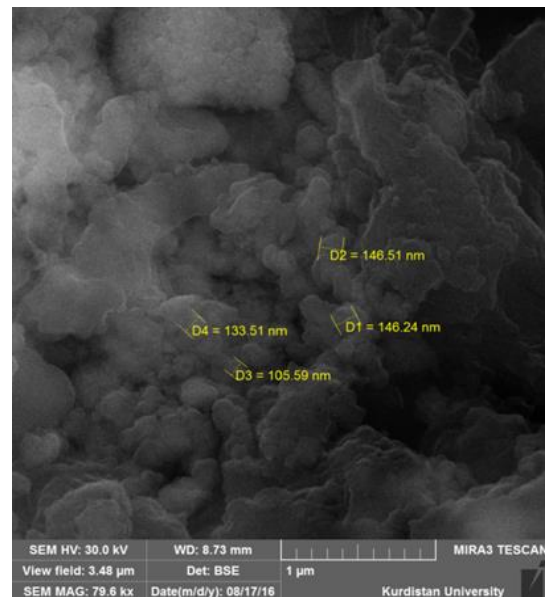


نمودار ۱: راندمان جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس در غلظت‌های متفاوت (۷ h = زمان، ۰/۱ g = دوز و pH = ۷)

- تاثیر دوز جاذب بر کارایی حذف گوگرد از دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس
با توجه به نتایج جدول ۲ و نمودار ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار جاذب از ۰/۱ g تا ۰/۵ g میزان حذف گوگرد به ترتیب از ۷۲/۵ به ۹۴/۴ درصد می‌رسد؛ بنابراین مقدار

گروه کربوکسیلیک سلول باکتری به پلیمر می‌باشد و پیک جدید 1700 cm^{-1} نشان دهنده اتصال گروه COO^- به کربن زنجیر پلیمری را نشان می‌دهد که در پیک‌های باکتری سودوموناس مشاهده نشده است.

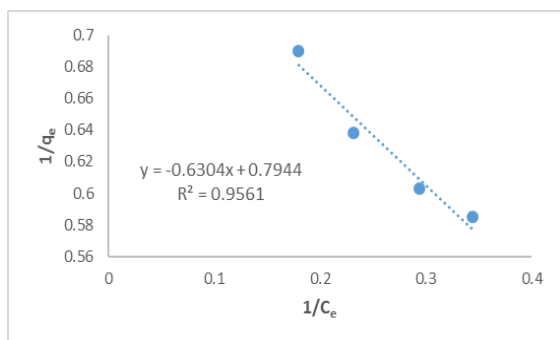
- طیف SEM باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلیمر
تصویر SEM باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلی وینیل الکل در شکل ۳ نشان داده شده است.



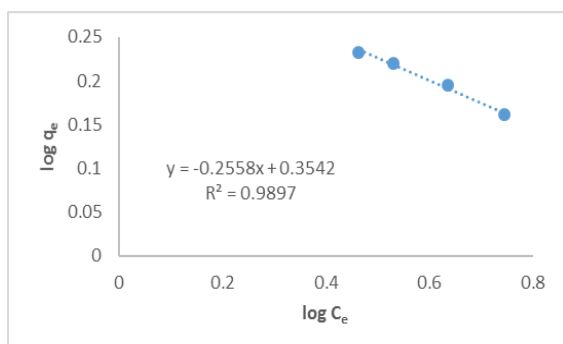
شکل ۳: تصویر SEM باکتری سودوموناس تثبیت شده روی پلی وینیل الکل

- تاثیر غلظت اولیه دی بنزوتیوفن بر کارایی حذف دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس
رابطه بین غلظت اولیه دی بنزوتیوفن و توانایی حذف گوگرد توسط باکتری سودوموناس در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول و نمودار ۱ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت دی بنزوتیوفن راندمان حذف گوگرد کاهش می‌یابد.

در زمان تماس ۷h با غلظت ۲۰ppm دی بنزوتیوفن، در نمودارهای ۳ و ۴ رسم شده است. میزان ضرایب همبستگی (R^2)، برای دو مدل لانگمیر و فروندلیچ به ترتیب برابر ۰/۹۵۶۱ و ۰/۹۸۹۷ بود. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که حذف گوگرد توسط باکتری از ایزوترم فروندلیچ ($R^2 = ۰/۹۸۹۷$) تبعیت می‌کند.



نمودار ۳: ایزوترم جذب لانگمیر در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس



نمودار ۴: ایزوترم جذب فروندلیچ در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

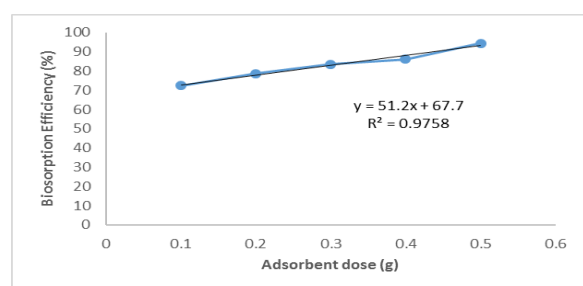
جدول ۳- پارامترهای ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ در جذب بیولوژیکی باکتری سودوموناس

مدل لانگمیر	R^2	q_m (mg/g)	b (L/mg)
	۰/۹۵۶۱	۱/۲۵	-۱/۲۶
مدل فروندلیچ	R^2	n	K_f (mg/g)(L/g) ^{1/n}
	۰/۹۸۹۷	-۳/۹	۲/۲۶

بهینه جذب ۰/۵ g با راندمان ۹۴/۴ درصد در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲- بررسی تاثیر دوز جذب بر جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

غلظت (ppm)	زمان تماس (h)	دوز باکتری (g)	غلظت تعادلی (C_e)	راندمان (E%)	انحراف از میانگین	انحراف استاندارد (S)	ردیف
۲۰	۷	۰/۱	۵/۵	۷۲/۵	۰/۳		۱
±۰/۳				۷۲/۲	۰		۲
۲۰	۷	۰/۱	۵/۵۶	۷۱/۹	-۰/۳		۳
۲۰	۷	۰/۲	۴/۲۶	۷۸/۷	۰/۳		۱
±۰/۳				۷۸/۴	۰		۲
۲۰	۷	۰/۲	۴/۳۸	۷۸/۱	-۰/۳		۳
۲۰	۷	۰/۳	۳/۲۸	۸۳/۶	۰/۶		۱
±۰/۶				۸۳	۰		۲
۲۰	۷	۰/۳	۳/۵۲	۸۲/۴	-۰/۶		۳
۲۰	۷	۰/۴	۲/۷۸	۸۶/۱	۰/۶		۱
±۰/۶				۸۵/۵	۰		۲
۲۰	۷	۰/۴	۳/۰۳	۸۴/۸۵	-۰/۶		۳
۲۰	۷	۰/۵	۱/۱۲	۹۴/۴	۰/۶		۱
±۰/۶				۹۳/۸	۰		۲
۲۰	۷	۰/۵	۱/۳۶	۹۳/۲	-۰/۶		۳

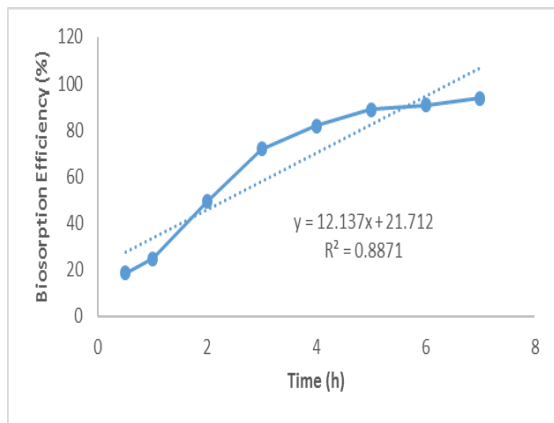


نمودار ۲: راندمان جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس در دوزهای متفاوت باکتری (زمان = ۷ h و pH = ۷)

- ایزوترم‌های جذب

منحنی‌های ایزوترم حاصل از حذف گوگرد در دوزهای مختلف باکتری سودوموناس (۰/۱ g، ۰/۲ g، ۰/۳ g، ۰/۴ g و ۰/۵ g)

زمان تماس بین باکتری و دی بنزوتیوفن یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی بود. نتایج جدول ۴ و نمودار ۵ نشان دادند که با افزایش زمان تماس، مقدار دی بنزوتیوفن باقیمانده در محلول نیز کاهش می‌یابد، به طوری که در زمان ۷h به بالاترین مقدار حذف (۹۳/۸ درصد) می‌رسد.



نمودار ۵: راندمان جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس در زمان های مجاورت متفاوت (g = ۰/۵ دوز و pH = ۷)

- سینتیک جذب

سینتیک جذب برای تعیین مکانیسم کنترل فرایندهای جذب استفاده می‌شود. جهت تعیین سینتیک واکنش، داده‌های حاصل از جذب با استفاده از مدل‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم مورد بررسی قرار گرفت. منحنی‌های سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم حاصل از حذف گوگرد توسط باکتری سودوموناس، با محلول ۲۰ ppm دی بنزوتیوفن و ۰/۵ g از باکتری در زمان تماس‌های مختلف (h) ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ 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 ۰/۹۸۴۸ و ۰/۹۳۶۷ بود. بر اساس نتایج، بیش‌ترین میزان مطابقت با مدل شبه درجه اول مشاهده شد که در نمودار ۶ ارائه شده است. این مدل به‌عنوان بهترین نمونه جهت توصیف رفتار

جدول ۳ پارامترهای مدل ایزوترم جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن (مدل لانگمویر و فروندلیچ) توسط باکتری سودوموناس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل فروندلیچ داده‌ها را به‌خوبی توصیف می‌کند.

جدول ۴- بررسی تاثیر زمان تماس بر جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

انحراف استاندارد	انحراف از میانگین	راندمان (E%)	غلظت تعادلی (Ce)	دوز باکتری (g)	زمان تماس (h)	غلظت (Ppm)	ردیف
	۰/۳۱	۱۸/۷۹	۱۶/۲۴	۰/۵	۰/۵	۲۰	۱
±۰/۳۱	۰	۱۸/۴۸	۱۶/۳۰	۰/۵	۰/۵	۲۰	۲
	-۰/۳۱	۱۸/۱۷	۱۶/۳۶	۰/۵	۰/۵	۲۰	۳
	۰/۳	۲۵	۱۵	۰/۵	۱	۲۰	۱
±۰/۳۰	۰	۲۴/۷۰	۱۵/۰۶	۰/۵	۱	۲۰	۲
	-۰/۳	۲۴/۴۰	۱۵/۱۲	۰/۵	۱	۲۰	۳
	۰/۴۴	۴۹/۷۰	۱۰/۰۶	۰/۵	۲	۲۰	۱
±۰/۳۷	-۰/۲۱	۴۹/۰۵	۱۰/۱۹	۰/۵	۲	۲۰	۲
	-۰/۲۱	۴۹/۰۵	۵/۶۵	۰/۵	۲	۲۰	۳
	۰/۳	۷۲/۲۰	۵/۶۵	۰/۵	۳	۲۰	۱
±۰/۳۰	۰	۷۲/۹۰	۵/۶۲	۰/۵	۳	۲۰	۲
	-۰/۳	۷۲/۶۰	۵/۶۸	۰/۵	۳	۲۰	۳
	۰/۶	۸۲/۴۰	۳/۵۲	۰/۵	۴	۲۰	۱
±۰/۶۰	۰	۸۱/۸۰	۳/۶۴	۰/۵	۴	۲۰	۲
	-۰/۶	۸۱/۱۵	۳/۷۷	۰/۵	۴	۲۰	۳
	۰/۶	۸۹/۵۰	۲/۱۰	۰/۵	۵	۲۰	۱
±۰/۶۵	۰	۸۸/۹۰	۲/۲۲	۰/۵	۵	۲۰	۲
	-۰/۷	۸۸/۲۰	۲/۳۵	۰/۵	۵	۲۰	۳
	۰/۳	۹۱/۰۵	۱/۷۹	۰/۵	۶	۲۰	۱
±۰/۳۰	۰	۹۰/۷۵	۱/۸۵	۰/۵	۶	۲۰	۲
	-۰/۳	۹۰/۴۵	۱/۹۱	۰/۵	۶	۲۰	۳
	۰/۶	۹۴/۴۰	۱/۱۲	۰/۵	۷	۲۰	۱
±۰/۶۰	۰	۹۳/۸	۱/۲۴	۰/۵	۷	۲۰	۲
	-۰/۶	۹۳/۲	۱/۳۶	۰/۵	۷	۲۰	۳

- تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف گوگرد از دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از ۹۳/۸ درصد از دی بنزوتیوفن با غلظت اولیه ۲۰ ppm در دمای 35°C / pH=۷ و با دوز جذب ۰/۵ g پس از ۷ h حذف شده است. حذف گوگرد در این روش از مدل سینتیکی شبه درجه اول $(R^2 = 0/9848)$ تبعیت می کند بنابراین جذب سطحی و نفوذ در لایه مرزی کنترل کننده سرعت جذب بوده است و تغییرات در راندمان جذب متناسب با تعداد سایت های اشغال نشده در سطح جذب است، هم چنین جذب دی بنزوتیوفن از ایزوترم فروندلیچ $(R^2 = 0/9897)$ تبعیت می کند به این معنی که تغییرات انتالپی جذب تابع خطی از لگاریتم کسر پوششی سطح جذب است. مقدار ثابت فروندلیچ (K_f) نشان دهنده ظرفیت بالای جذب بیولوژیکی می باشد. هم چنین جذب 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 سودوموناس تثبیت شده بر پایه پلی وینیل الکل در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن است.

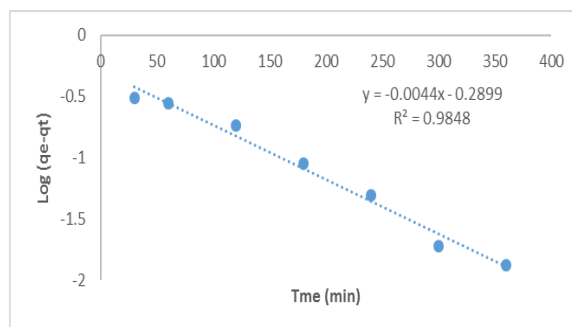
تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان به کارگیری باکتری اصلاح شده پسودوموناس تثبیت شده بر روی پایه پلیمری به منظور گوگردزدایی زیستی گازوئیل، 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.

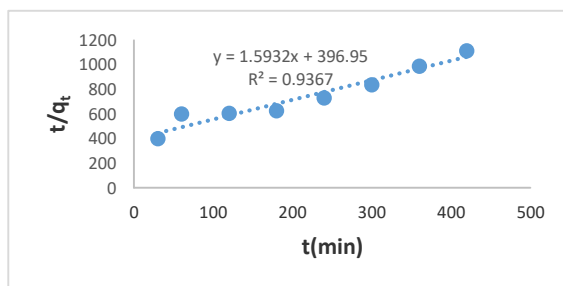
منابع

- [1] Atlas, R. M., Boron, D. J., Deever, W. R., Johnson, A. R., McFarland, B. L., Meyer, J. A., 2001, Method for removing organic sulfur from heterocyclic sulfur containing organic compounds, US patent number H1, :986.
 [2] Chunshan Song., X. M., 2003, New design approaches to ultra-clean diesel fuels by deep desulfurization and deep dearomatization, Appl. Catal. B: Environ.,41: 207.
 [3] Houalla M., D. H. B., A. V. Sapre, N. K. Nag, V. H. J. de Beer1, B. C. Gates and H. Kwart, 1980, Hydrodesulfurization of

سینتیکی باکتری سودوموناس در حذف گوگرد از دی بنزوتیوفن انتخاب شد.



نمودار ۶: سینتیکی شبه درجه اول در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس



نمودار ۷: سینتیکی شبه درجه دوم در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس

جدول ۵ پارامترهای سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم در جذب بیولوژیکی دی بنزوتیوفن توسط باکتری سودوموناس را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود مدل شبه درجه اول داده ها را به خوبی توصیف می کند.

جدول ۵- پارامترهای سینتیکی شبه درجه اول و درجه دوم در جذب بیولوژیکی باکتری سودوموناس

شبه درجه اول	K_1 (1/min)	q_e (mg/g)	R^2
	۰/۰۱۰۱	۰/۵۱	۰/۹۸۴۸
شبه درجه دوم	K_2	q_e	R^2
	۰/۰۰۰۸۹۳	۱/۶۸	۰/۹۳۶۷

- methyl-substituted dibenzothiophenes catalyzed by sulfided CoMo/ γ -Al₂O₃, *J. Catal.*, 61 (2): 523.
- [4] Trost, B. M., Fleming, I., Ley, S.V., 1991, *Comprehensive organic synthesis, selectivity, Strat. Eff. Mod. Org. Chem.*, 7: 758.
- [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] Sun, M. Z., Zhao, D. Z., Sun, W. W., 2008, Study on the oxidative desulfurization of diesel fuel with power ultrasound, *Chem. Adh.*, 30: 65.
- [7] Shiraiishi, Y., Hirai, T., Komasa, 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.
- [8] Grossman, M. J., Prince, V., Minak-berner, G. N., George, I. J., 2001, Deep Desulfurization of Extensively Hydrodesulfurized Middle Distillate Oil by *Rhodococcus* sp. Strain ECRD-1, *Appl. Environ. Microb.*, 67(4).
- [9] Gupta, N., Roychoudhury, P. K., Deb, J. K., 2005, Biotechnology of desulfurization of diesel: prospects and challenges, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 66: 356.
- [10] Calzada, J., Alcon, A., Santos, V. E., Garcia-Ochoa, F., 2011, Mixtures of *Pseudomonas putida* CECT 5279 cells of different ages: Optimization as biodesulfurization catalyst, *Process Biochem.*, 46: 1323.
- [11] Naghdi, S. h., Yakhchali, B., Aghaei Moghadam, E., 2004, cloning desulfurization operon 4S pathway in *Pseudomonas*, *J. Tehran Uni. Sci.*, 3: 381.
- [12] Zakharyants, A. A., Murygina, P., Kalyuzhnyi, S., 2004, Screening of *Rhodococcus* Species Revealing Desulfurization Activity with regards to Dibenzothiophene, *Biocatal. Technol. Nanotech.*, 51.
- [13] Guo-Qiang, L., 2008, et.al., Improved biodesulfurization of hydrodesulfurized diesel oil using *Rhodococcus erythropolis* and *Gordonia* sp., *Biotechnol Lett*, 30: 1759.
- [14] Akbarzadeh, S., 2004, et.al., Cloning and sequencing of desulfurization operon from a isolated bacterium *Rhodococcus* FMF, *Iranian J. Biotech.*, 2(1).
- [15] Kirimura, K., Furuya, T., Nishii, Y., Ishii, Y., Kino, K., Usami, S., 2001, Biodegradation of dibenzothiophene and its derivative through the selective cleavage of carbon-sulfur bonds by a moderately thermophilic bacterium *Bacillus subtilis* WU-S2B, *J. Biosci. Bioeng.*, 91: 262.
- [16] Mao, J., Kwak, I-S., Sathishkumar, M., Sneha, K., Yun, Y.S., 2011, Preparation of PEI-coated bacterial biosorbent in water solution: Optimization of manufacturing conditions using response surface methodology, *Bioresource. Technol.*, 102: 1462.