مجله مهندسی بهداشت محیط، تابستان ۱۳۹۹، سال ۷، شماره ٤ :٤٧٧-٤٩٤

تثبیت مخمر ساکارومایسس سرویزیه بر روی بستر آلژینات به منظور حذف ایبوپروفن از محلول های آبی

کبری طهماسبی[۱]، روشنک رضایی کلانتری[۲،۳*]، علی اسرافیلی[۲،۳]، سجاد مظلومی[٤]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳] مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[٤] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: ایبوپروفن یکی از پرمصرف ترین داروهای ضد التهابی غیر استروئیدی است که از طریق کارخانجات سازنده و دفع پساب بیمارستانی و حتی فاضلاب خانگی به منابع آبی وارد می‌شود. هدف از این مطالعه، حذف ایبوپروفن در فرآیند تجزیه زیستی به وسیله مخمر ساکارومیسس سرویزیه تثبیت شده بر روی بستر آلژینات از محلول‌های آبی می باشد.

مواد و روش ها: این پژوهش، یک مطالعه تجربی- آزمایشگاهی می باشد. در این مطالعه تاثیر پارامترهای غلظت مخمر (g/100ml) ۰/۳- ۰/۱، غلظت اولیه ایبوپروفن (mg/l) ۳۵۰-۵۰، زمان تماس ۳۰-۱ ساعت وpH اولیه محلول (٤-۷) بر فرآیند تجزیه زیستی ایبوپروفن با مخمرساکارومایسس تثبیت شده بر روی بستر آلژینات مورد بررسی قرار گرفت آزمایشها با استفاده از روش سطح پاسخ در نرم افزار Design Expert 7 با استفاده از روش Box- Behnken طراحی و بهینه سازی گردید.

یافته ها: یافته‌های این مطالعه نشان داد حداکثر حذف ایبوپروفن توسط مخمر تثبیت شده بر روی آلژینات ۵ /۹۳ درصد در pH= ۵/۵ ، غلظت مخمر (g/100ml) ۰/۲، زمان ۳۰ ساعت و غلظت اولیه ۵۰ mg/L ایبوپروفن است.

نتیجه گیری: برمبنای نتایج این مطالعه می توان بیان نمود که مخمر ساکارومایسس سرویزیه تثبت شده توانایی تجزیه بیولوژیکی ایبوپروفن را با کمترین هزینه و راندمان بالا دارا است و می‌توان از این روش مقرون به صرفه جهت تصفیه فاضلاب‌های دارویی استفاده نمود.

کلمات کلیدی: ایبوپروفن، تجزیه بیولوژیکی، مخمر ساکارومایسس سرویزیه، آلژینات، محلول‌های آبی

*** نویسنده مسئول:** گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
ایمیل: rezaei.r@iums.ac.ir - شماره تماس: ۰۹۱۲۳۲۳۴۵۸۶

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

مقدمه

با پیشرفت صنایع و افزایش جمعیت مواد شیمیایی جدیدی کشف و مورد استفاده قرار گرفته اند که مقادیر زیادی از آن‌ها روزانه از طریق جریان‌های فاضلاب وارد محیط زیست و منابع آب‌های طبیعی می‌شوند. امروزه از بین آلاینده های متنوع آبی در سرتاسر دنیا داروها به عنوان آلاینده های بالقوه منابع آبی شناخته می‌شوند و با قرار گرفتن در دسته آلاینده‌های نوظهور(Emerging Contaminants) باعث ایجاد نگرانی های شده اند [1]. دفع داروهای مراقبت پزشکی انسان و حیوان منبع اصلی آلودگی آب وخاک توسط ترکیبات دارویی می باشد. از منابع دیگر؛ نشر از مکان‌های تولید، نشت‌های تصادفی کارخانه‌ها، دفع مستقیم داروهای اضافی در خانه‌ها، نشت‌های زیرزمینی از تاسیسات فاضلاب، درمان دارویی احشام نیز از منابع مهم می باشند [2]. ایبوپروفن به عنوان یک ترکیب آلی پیچیده و ماده آلی سخت تجزیه‌پذیر استفاده می-شود. ایبوپروفن با نام علمی ۲-(۳- (۲- متیل پروپیل) فنیل) پروپیونیک اسید از جمله داروهای مسکن غیره التهابی (Nonsteroidal anti-inflammatory drugs) NSAID)) و یکی از داروهای ضروری فهرست شده به وسیله سازمان جهانی بهداشت است [3,4]. یکی از پرمصرف ترین و پرفروش ترین داروها در جهان ایبوپروفن می باشد. ایبوپروفن، سومین داروی پرمصرف و پر فروش در جهان می باشد. ایبوپروفن، سومین داروی پرمصرف و پر فروش در جهان می باشد و در بررسی‌های انجام شده توسط WHO در سال ۲۰۰۶، میزان انتشار آن در محیط ۲۸ تن در سال می باشد [5]. ایبوبروفن در آب‌های سطحی در نقاط مختلف جهان در غلظت‌های نانوگرم تا میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. نیمه عمر این ماده در محیط ۳۲ روز تخمین زده شده است [4]. ایبوپروفن به سرعت به شکل کونژگیت‌های مختلف مثل هیدروکسی IBP -، کربوکسی IBP -، و کربوکسی-هیدراتروپیک اسید دفع شده که نه تنها سمیت حاد بالایی دارد، بلکه همچنین مشکوک به مختل کننده فعالیت‌های غدد درون ریز درانسان و حیوان می باشد [6]. ایبوپروفن در غلظت‌های موجود در منابع آبی می‌تواند اثرات منفی بر تولید مثل مهره‌داران و بی مهرگان، رشد برخی از سویه‌های باکتریایی و قارچ‌ها و رشد سلول‌های جنین انسانی داشته باشند [5,7]. تاکنون روش‌های مختلفی جهت حذف این آلاینده‌ها به کار برده شده است از قبیل؛ جذب، انعقاد، ترسیب و ... معایب این فرآیندها، این است که نه تنها باعث حذف کامل آلاینده نشده اند، باعث انتقال فازی آن‌ها شده اند. مشکل دیگر مربوط به هزینه‌های بهره برداری بالا با وجود کارایی حذف پایین و به وجود آمدن آلودگی‌های ثانویه در نتیجه ی تولید محصولات واسطه می‌باشد [8-10]. یکی از روش‌های حذف باقی مانده‌های دارویی از محیط‌های آبی، استفاده از مخمرها می باشد. مخمر ساکارومایسس سرویزیه یک قارچ میکروسکوپی است. که تحت نام مخمر نانوایی شناخته شده است یک مخمر ارزان قیمت و کم هزینه می باشد [11]. یکی از مزایای S Cerevisiae انتخابی بودن آن در انتقال فعال و همچنین رقابتی بودن آن در بحث جذب بیولوژیکی می باشد [12,13]. حذف آلاینده‌ها با سلول‌های قارچی بر این اساس است که آلاینده‌های هدف می توانند در سطح قارچ‌ها یا داخل سلول جذب شوند و بعدا توسط آنزیم‌های خارج سلولی و درون سلولی تخریب شوند همچنین جذب بیولوژیکی ترکیبات دارویی آبگریز باعث تجزیه بیولوژیکی آن‌ها می‌شود [14,15]. استفاده از سلول‌های تثبیت شده یک راه حل بالقوه برای کاربرد در مقیاس صنعتی است زیرا امکان استفاده مجدد از سلول‌ها و عملکرد مداوم را فراهم می کند و هزینه‌های عملیاتی را کاهش می دهد. علاوه بر این، تثبیت سلول‌ها باعث افزایش پایداری و سطح تماس سلول‌ها، محفوظ نگه داشتن آن‌ها از تغییرات مستقیم عوامل فیزیکوشیمیایی محیط می‌شود و امکان حذف را افزایش می‌دهد [15]. Mehtap Ers در سال ۲۰۱۶ مطالعه ای در مورد حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین از محیط‌های آبی توسط

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

ساکارومایسس سرویزیه در کنار پلی پروپیلن و پلی استایرن انجام داد نتایج نشان داد که مخمر ساکارومایسس در حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین موثر و صرفه اقتصادی بالایی دارد[16]. Satinder Kaur Brar و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه ای با عنوان حذف ترکیبات دارویی با استفاده از قارچ‌ها از آب و فاضلاب پرداختند نتایج نشان دهنده راندمان بالای ۹۰ درصد حذف ایبوپروفن بود [15]. هدف از این مطالعه تعیین کارایی مخمر ساکارومیسس سرویزیه تثبیت شده بر روی بستر آلژینات کلسیم در شرایط آزمایشگاهی در حذف داروی ایبوپروفن از محلول های آبی است. براساس مطالعات ما این گزارش اولین مطالعه در ارتباط با حذف ایبوپروفن توسط مخمر ساکارومیسس سرویزیه تثبیت شده بر روی بستر آلژینات کلسیم می باشد. شکل مولکولی ایبوپروفن و مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۱ اورده شده است.

مواد و روش‌ها

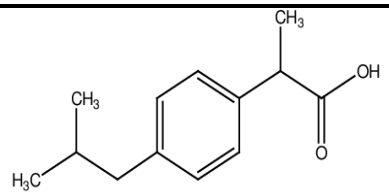
مواد آزمایشگاهی

این مطالعه از نوع تجربی- آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام شد. مخمر S.cerevisiae ازسازمان پژوهشهای علمی صنعتی با کد PTCC:5052 تهیه شد. ایبوپروفن از شرکت زیگما آلدریچ تهیه شد. سایر مواد شیمیایی ازجمله آلژینات سدیم، کلرید کلسیم، اسیدکلریدریک وسدیم هیدروکسید از شرکت مرک آلمان خریداری شد و تمام محلول سازی ها با آب مقطر انجام گرفت. برای انجام آزمایشات از ظروف شیشه ای با حجم مشخص (۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۱۰۰ میلی لیتر مخلوط واکنش) استفاده شد.

تثبیت‌سازی سلول های مخمر بر روی بستر آلژینات

برای تثبیت سلول‌های مخمر در آلژینات ابتدا محلول ٤ درصد (٤ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر) از آلژینات سدیم تهیه شد و در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شد تا استریل گردد و به آن مخمر با مقدار ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد (گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) اضافه و هم زده شد تا یکنواخت شود. در بشر جداگانه ای به حجم ۵۰۰ میلی لیتر، مقدار ۰/۱۵ لیتر محلول کلرید کلسیم ($CaCl_2$) درصد (گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) آماده شد. سپس به کمک سرنگ ۱۰۰ سی سی استریل، همزمان که بشر روی همزن قرار دارد، مخلوط آلژینات و مخمر به صورت قطره چکانی اضافه گردید. قطره‌های حاوی آلژینات سدیم، پس از قرار گرفتن درون بشر حاوی کلرید کلسیم، به گویچه‌های آلژینات کلسیم تبدیل شدند.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ایبوپروفن [17, 18]



فرمول شیمیایی	جرم مولی (g/mol)	نقطه ذوب	نقطه جوش	دانسیته (g/cm^3)	حلالیت در آب (mg/mL)-20ºC	PK_a
$C_{13}H_{18}O_2$	206.29	75-78 ºC	157 °C (315 °F) at 4 mmHg	1.03	0.021	4.91

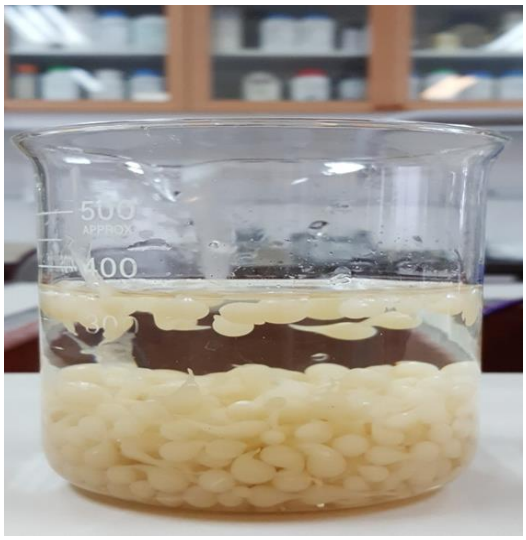
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

یک ساعت زمان ماند داده شد تا قطره‌های آلژینات کلسیم سفت شوند سپس با آب مقطر استریل سه بار گویچه‌ها شستشو داده شدند تا کلسیم آزاد شسته شود. سپس برای ذخیره سازی سلول‌های تثبیت شده را در داخل محلول بافر سیترات فسفات در pH برابر ۵ تا زمان استفاده نگهداری شد [۱۹، ۲۰].

آزمایشات حذف و سنجش ایبوپروفن

ابتدا گویچه‌های حاوی سلول‌های مخمر با غلظت‌های مختلف درون ارلن استریل به حجم۲۵۰ سی سی حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محلول از غلظت‌های مختلف ایبوپروفن ریخته شدند و درون شیکر انکوباتور با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های مختلف قرار داده شد. پس از طی زمان مجاورت در هر آزمایش، گویچه‌ها توسط کاغذ صافی جمع آوری شده و حجم‌های ۱۰ سی سی از محلول آزمایش برداشته و به وسیله فیلتر سرسرنگی با اندازه ۰/۲ میکرون صاف شد. به منظور سنجش میزان حذف ایبوپروفن از طول موج ۲۲۱ نانومتر و دستگاه HPLC مدل (CE4100- CECIL, England)، مجهز به ستون C18 (mm ٤/٦×5 µm ۲۰۰ mm×) با دتکتور UV-visible با طول موج ۲۲۱ نانومتر و فاز متحرک آب مقطر و استونیتریل با نسبت ٦۰:٤۰ استفاده شد. دبی فاز حامل دستگاه، mL/min ۱ و حجم تزریق نمونه ۲۰µL بود. نمونه ها برای تزریق به دستگاه HPLC از فیلترسرسرنگی ۰/۲ میکرون عبور داده شدند [۲۱]. همزمان از یک نمونه شاهد و فعال از نظر متابولیسمی نیز استفاده شد. تمام دستگاههای مورد استفاده قبل از انجام آزمایشات، مطابق کاتالوگ مربوطه، کالیبره گردیدند. برای اطمینان از تکرار پذیری نتایج، هر آزمایش با سه بارتکرار انجام گرفت. آزمایشات بر حسب فاکتورهای تعریف شده در جدول 2 انجام شده است و داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزارEXCEL و Design Expert با استفاده از روش Behnken -Box مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل ۱ سلول‌های تثبیت شده مخمر بر روی بستر آلژینات را نشان می‌دهد.



شکل ۱: سلول‌های تثبیت شده مخمر بر روی بستر آلژینات

جدول۲: فاکتور ها و سطوح مربوط به آزمایشات حذف ایبوپروفن

فاکتورها	اسم متغیر ها	سطح پایین	متوسط	سطح بالا
A	زمان(h)	۱	۱۵/۵	۳۰
B	غلظت اولیه ایبوپروفن (mg/l)	۵۰	۲۰۰	۳۵۰
C	pH	٤	۵/۵	۷
D	غلظت مخمر(w/v)	۰/۱	۰/۲	۰/۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

تعیین سهم جذب و تجزیه بیولوژیکی

به منظور بررسی سهم جذب و تجزیه بیولوژیکی مخمر ابتدا مقدار ۵ گرم از سلول‌های مخمر ساکارومایسس سرویزیه با ۱۰۰میلی لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس در دستگاه اتوکلاو قرار داده شد. سپس از نمونه غیر فعال شده به مقدار ۰/۲ گرم وزن مرطوب براشته شد و با ۱۰۰ میلی لیتر محلول با غلظت ۵۰mg/l ایبوپروفن در pH ۵/۵ و در زمان ماند ۳۰ ساعت در دمای ۲۸درجه سلسیوس درون شیکرانکوباتور با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه مجاور سازی شد .همزمان از یک نمونه شاهد و فعال از نظرمتابولیسمی نیز استفاده شد. پس از گذشت زمان ۳۰ ساعت از آغاز مجاور سازی، نمونه‌ها در همان شرایط سانتریفیوژ شدند و محلول رویی آن‌ها جهت تعیین غلظت ایبوپروفن با دستگاه HPLC مورد سنجش قرار گرفت.

تعیین قابلیت استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده

به منظور بررسی قابلیت استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده آزمایش استفاده مجدد در شرایط بهینه انجام گرفته شد و پس از پایان واکنش در هر بار استفاده از مخمر تثبیت شده، گویچه‌های آلژینات مخمر به وسیله کاغذ صافی جدا سازی شدند و با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. سپس محلول آبی از بشر خارج شد و با محلول جدید ایبوپروفن جایگزین شد. راندمان حذف در هر چرخه کاربرد مجدد از مخمر تثبیت شده اندازه‌گیری شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی سنجش محصولات جانبی توسط GC با اسپکترو فتومترجرمی (GC-MS)

برای تعیین محصولات جانبی و نهایی حاصل از ایبوپروفن در شرایط بهینه، از دستگاه GC-MS استفاده شد. به این صورت که در شرایط بهینه‌ی حذف ایبوپروفن نمونه ای بعد از ۳۰ ساعت برداشته شد. ابتدا نمونه با روش استخراج مایع-مایع ((LLE (Liquid Liuid Extraction برای تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی با اسپکترومترجرمی آماده گردید. به این صورت که ۲ میلی لیتر حلال هگزان به ۵ میلی لیتر نمونه موجود در لوله آزمایش اضافه شد و توسط ورتکس به مدت ۵ دقیقه مخلوط شد. پس از ساکن گذاشتن لوله به مدت ۱۵ دقیقه، ۱۰µL نمونه از فاز حلال برداشته و به دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent Technologies 7890A ساخت کشور آمریکا با دتکتور جرمی مدل C ۵۹۷۵ سنجش گردید.

سینتیک واکنش

به منظور بررسی سینتیک تجزیه ایبوپروفن در حالت مخمر تثبیت شده با غلظت اولیه ۵۰ mg/L ، راندمان حذف بعد از ۱۵/۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ ساعت محاسبه گردید. سپس مدل‌های سینتیکی درجه صفر، درجه اول، درجه دوم، (فرم‌های خطی ۱ تا۳) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل، مورد مقایسه قرار گرفتند. در این مقایسه R^2 ضریب ملاک قرارداده شد [۲۲].

یافته‌ها

در این مطالعه تاثیر پارامترهایی مانند غلظت داروی ایبوپروفن، غلظت مخمر ساکارومیسس سرویزیه ، pH محلول های آبی و زمان ماندهای مختلف درکارایی حذف ایبوپروفن مورد بررسی قرار گرفت . طبق جدول۳ بیشترین میزان حذف ایبوپروفن ۵ /۹۳ درصد در غلظت ایبوپروفن ۵۰mg/L در pH برابر ۵/۵، غلظت مخمر ۰/۲g/100ml و زمان ۳۰ ساعت به دست آمد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

جدول۳: حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر S. Cerevisiae تثبیت شده در شرایط مختلف

آزمایش	زمان (h)	pH	غلظت ایبوپروفن (mg)	غلظت مخمر% (g/100ml)	کارایی حذف (٪) (با دو بار تکرار)
۱	۱۵/۵	۵/۵	۳۵۰	۰/۱	۳۳/۹۶
۲	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۲	٤۸/۸۹
۳	۱۵/۵	۷	۳۵۰	۰/۲	٤۲/۰۱
٤	۳۰	۵/۵	۲۰۰	۰/۳	۸۳/۱٦
۵	۱۵/۵	٤	۳۵۰	۰/۲	۵۰/٤۵
٦	۱۵/۵	۷	۵۰	۰/۲	٦۲/۹۹
۷	۱	۷	۲۰۰	۰/۲	۵٦/٤٤
۸	۳۰	۵/۵	۳۵۰	۰/۲	٦٤/۵۵
۹	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۲	٤۹/۰۱
۱۰	۱	٤	۲۰۰	۰/۲	۷۱/۷۵
۱۱	۳۰	٤	۲۰۰	۰/۲	۸۵/۲٤
۱۲	۱	۵/۵	۲۰۰	۰/۳	۷۱/٤۲
۱۳	۱	۵/۵	۵۰	۰/۲	۷۸/۲۳
۱٤	۳۰	۷	۲۰۰	۰/۲	۷۱/٤۹
۱۵	۱۵/۵	٤	۲۰۰	۰/۱	٤۹/٦۹
۱٦	۱۵/۵	٤	۲۰۰	۰/۳	۷۵/٦۱
۱۷	۱۵/۵	۵/۵	۵۰	۰/۱	۵۵/۰۵
۱۸	۳۰	۵/۵	۲۰۰	۰/۱	٦۳/۷۹
۱۹	۱	۵/۵	۳۵۰	۰/۲	۵۰/۹۵
۲۰	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۲	٤۸/٦۸
۲۱	۱۵/۵	٤	۵۰	۰/۲	۸۵/۰۷
۲۲	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۲	٤۹/۱۳
۲۳	۳۰	۵/۵	۵۰	۰/۲	۹۳/۵۱
۲٤	۱۵/۵	۷	۲۰۰	۰/۳	۵٦/۵۵
۲۵	۱۵/۵	۵/۵	۳۵۰	۰/۳	٤۸/۸۱
۲٤	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۲	٤۸/٦۲
۲۷	۱۵/۵	۵/۵	۵۰	۰/۳	۸۳/۸۹
۲۸	۱	۵/۵	۲۰۰	۰/۱	٤٦/٦۳
۲۹	۱۵/۵	۵/۵	۲۰۰	۰/۱	۳۹/۱۳

طبق جدول ٤ مقادیر A، B، C و D نشان دهنده اثر اصلی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته (پاسخ) می‌باشد. اثر هر کدام از این متغیرها بر راندمان حذف آن و اثرات مداخله ای به صورت حاصلضرب اثر دو فاکتور مستقل و اثرات مربعی هر فاکتور را نشان می‌دهد.که چهار فاکتور موثر در حذف ایبوپروفن دارای اثر قابل توجه هستند که در این بین بیشترین اثر را غلظت اولیه ایبوپروفن با سهم ۳۲/۷٤ ٪ و (۷۳ /۳۰۳٦٤ =F) در حذف آن توسط مخمر ساکارومایسس دارد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

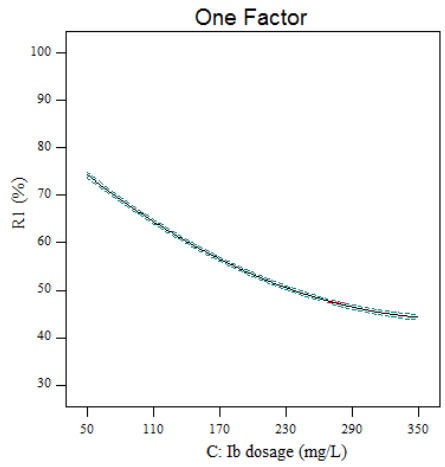
[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

جدول ٤: آنالیز واریانس مدل درجه دو حذف ایبوپروفن در حالت تثبیت شده

فاکتور- برهمکنش	Sum of squares	DF	Mean squares	F value	P value	Contribution
مدل	٧١٨٣/٧٤	١٤	٥١٣/١٢	٦٦٢٣/٧٣	<٠/٠٠٠١	١٠٠
C: lB dosage	٢٣٥٢/٢٨	١	٢٣٥٢/٢٨	٣٠٣٦٤/٧٣	<٠/٠٠٠١	٣٢/٧٤
D: yeast dosage	١٤٣٤/٢٣	١	١٤٣٤/٢٣	١٨٥١٤/٠٢	<٠/٠٠٠١	١٩/٩٦
B: pH	٦٦٣/٠٥	١	٦٦٣/٠٥	٨٥٥٩/١٢	<٠/٠٠٠١	٩/٢٢
A : زمان	٦٢٠/٩٣	١	٦٢٠/٩٣	٨٠١٥/٣٤	<٠/٠٠٠١	٨/٦٤
AB	٠/٦٠٨٤	١	٠/٦٠٨٤	٧/٨٥	٠/٠١٤١	٠
AC	٠/٧٠٥٦	١	٠/٧٠٥٦	٩/١١	٠/٠٠٩٢	٠
AD	٧/٣٤	١	٧/٣٤	٩٤/٨٠	<٠/٠٠٠١	٠/٠٠١
BC	٤٦/٥١	١	٤٦/٥١	٦٠٠/٤١	<٠/٠٠٠١	٠/٠٠٦
BD	١٨/٠٦	١	١٨/٠٦	٢٣٣/١٦	<٠/٠٠٠١	٠/٠٠٢
CD	٤٨/٩٣	١	٤٨/٩٣	٦٣١/٦٢	<٠/٠٠٠١	٠/٠٠٦
A^2	١٨٤٤/٥٦	١	١٨٤٤/٥٦	٢٣٨١٠/٧٢	<٠/٠٠٠١	٢٥/٦٧
B^2	١٩٧/٧٠	١	١٩٧/٧٠	٢٥٥٢/٠٣	<٠/٠٠٠١	٢/٧٥
C^2	٢٢٥/٩٥	١	٢٢٥/٩٥	٢٩١٦/٦٨	<٠/٠٠٠١	٣/١٤
D^2	٢/٩٩	١	٢/٩٩	٣٨/٦٦	<٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠٤
Residuals	١/٠٨	١٤	٠/٠٧٧٥			–
Lack of fit	٠/٨٩٨٤	١٠	٠/٠٨٩٨	١/٩٣	٠/٢٧٥٢	–
Pure Error	٠/١٨٦١	٤	٠/٠٤٦٥	–	–	–
cor total	٧١٨٤/٨٢	٢٨	–	–	–	–
R-Squared	٠/٩٩٩٨	–	–	–	–	–
Adj R-Squared	٠/٩٩٩٧	–	–	–	–	–
Pred R-Squared	٠/٩٩٩٢	–	–	–	–	–
Adeq percision	٢٩٥/ ٩١٢٢	–	–	–	–	–

در ایـــن مطالعـــه از ســـه غلظـــت mg/L ۵۰-۲۰۰-۳۵۰ ایبوپروفن اسـتفاده شـد. شـکل۲ تـاثیر غلظـت ایبـوپروفن در حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر را نشـان مـی‌هـد طبـق ایـن نمودار بـا افـزایش غلظـت از mg/L ۵۰ بـه ۳۵۰mg/l میـزان حذف کاهش پیدا می کند.

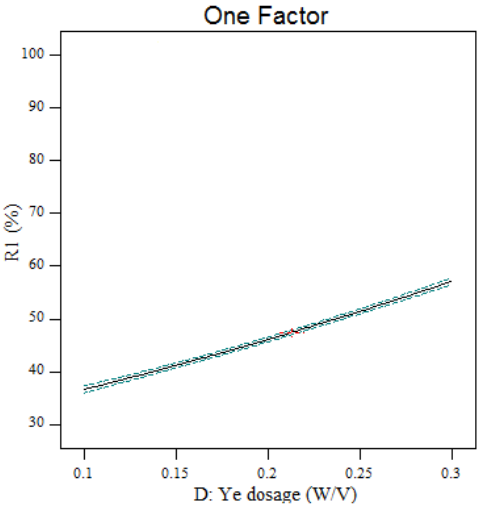
در ایـــن مطالعـــه از ســـه غلظـــت۰/۳-۰/۲-۰/۱ g/100mlاستفاده شد. شکل ۳ تاثیر غلظت مخمـر بـر رانـدمان حذف ایبوپروفن را نشان می‌هد. طبق این نمـودار بـا افـزایش غلظت مخمر از g/100 ml ۰/۱ به ۰/۳ میزان حذف ایبـوپروفن به وسیله مخمر افزایش می‌یابد.



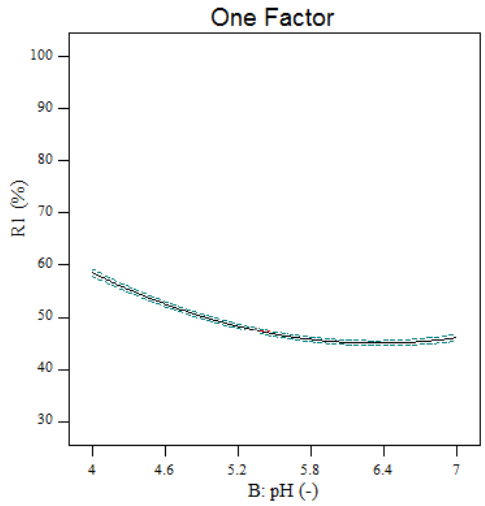
شکل ۲: تاثیر غلظت اولیه ایبوپروفن برراندمان حذف ایبوپروفن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]



شکل۳: تاثیر غلظت مخمر برراندمان حذف ایبوپروفن



شکل٤: تاثیرpH برراندمان حذف ایبوپروفن

در این مطالعه از pH های ٤، ٥/٥ و ٧ استفاده شد. شکل ٣ تاثیر pH بر راندمان حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر را را نشان می دهد طبق این نمودار با افزایش زمان از ٤ به ٧ میزان حذف توسط مخمر کاهش پیدا می‌کند.

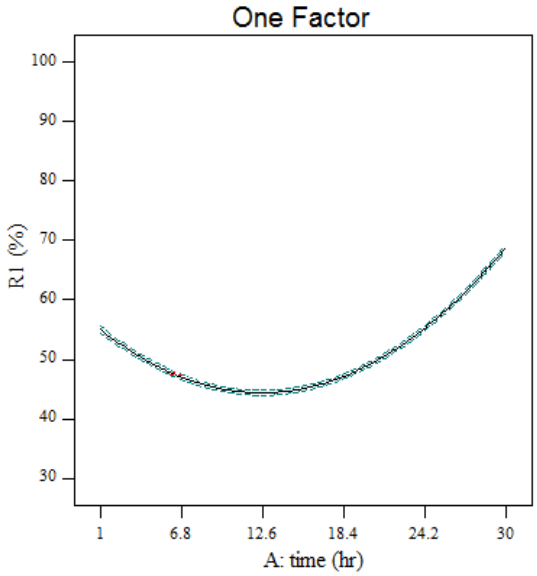
در این مطالعه از زمان های ١، ١٥/٥ و ٣٠ ساعت مورد بررسی قرار گرفت. شکل٥ تاثیر زمان بر کارایی حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر را نشان می‌دهد طبق این نمودار با افزایش زمان ابتدا حذف افزایش سپس کاهش و مجددا رو به افزایش می‌نهد.

تاثیر برهمکنش بین پارامترها بر راندمان حذف ایبوپروفن

جهت مشخص کردن تاثیر برهمکنش بین پارامترها در حذف ایبوپروفن در حالت تثبیت شده تاثیر برهمکنش بین پارامترها دوبه دو بررسی شد.

بررسی میزان جذب و تجزیه بیولوژیکی ایبوپروفن توسط مخمر زنده و مرده

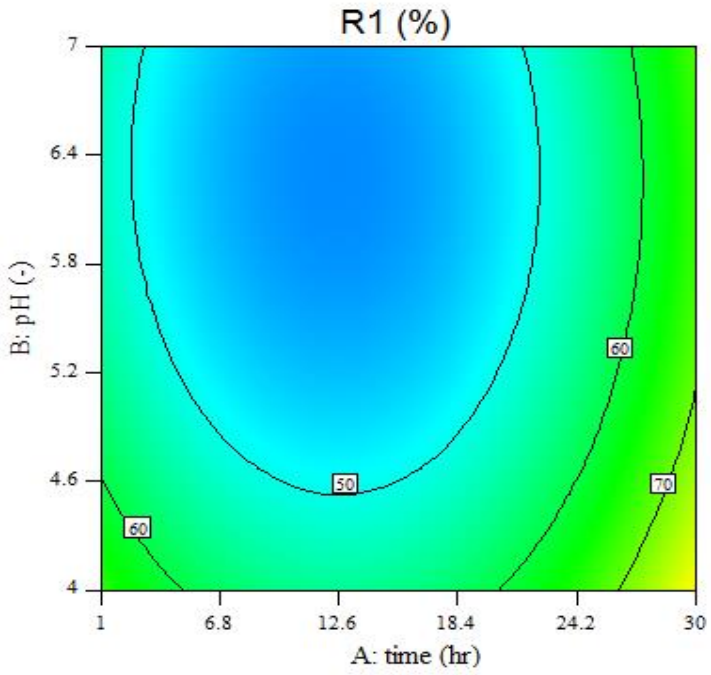
نتایج بررسی راندمان حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر ساکارومایسس در شرایط بهینه نشان می دهد که بیشترین راندمان حذف ایبوپروفن با مخمر فعال و مرده به ترتیب ٩٣/٥ و ٢٦/٥ درصد می باشد از تفاضل این دو مقدار به دست آمده سهم جذب و تجزیه بیولوژیکی حاصل شد که سهم تجزیه برابر با ٦٧ درصد و سهم جذب برابر با ٢٦/٥ درصد می باشد.



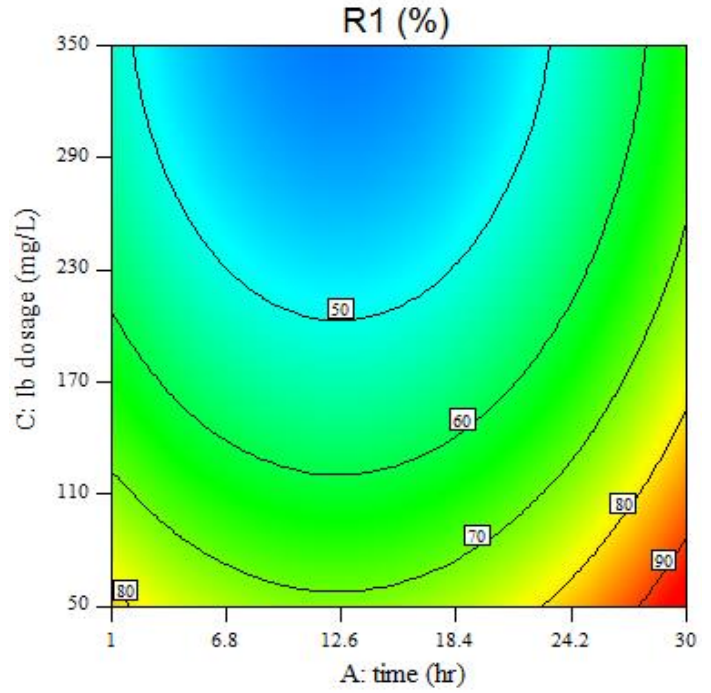
شکل٥: تاثیر زمان بر کارایی حذف ایبوپروفن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]



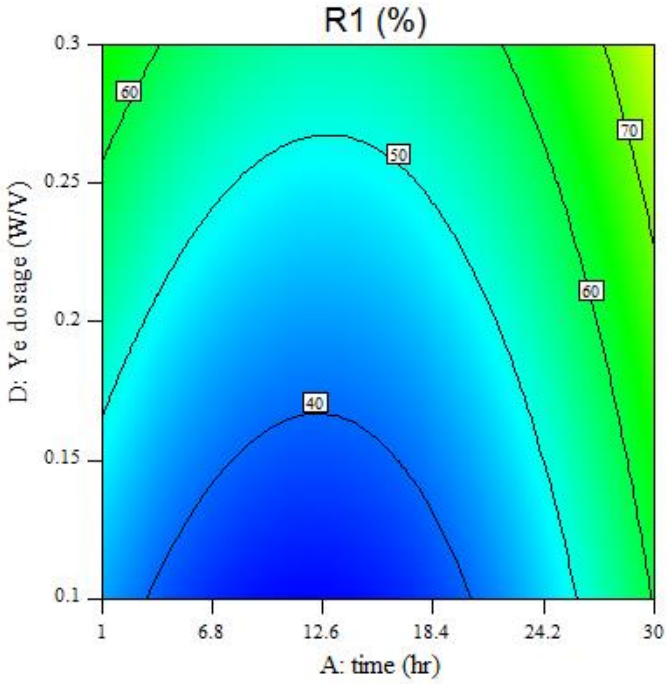
شکل ۶: نمودار کانتور اثرمتقابل زمان، pH در شرایط غلظت ایبوپروفن ۲۰۰ mg/l و غلظت مخمر ۰/۲ g/100ml



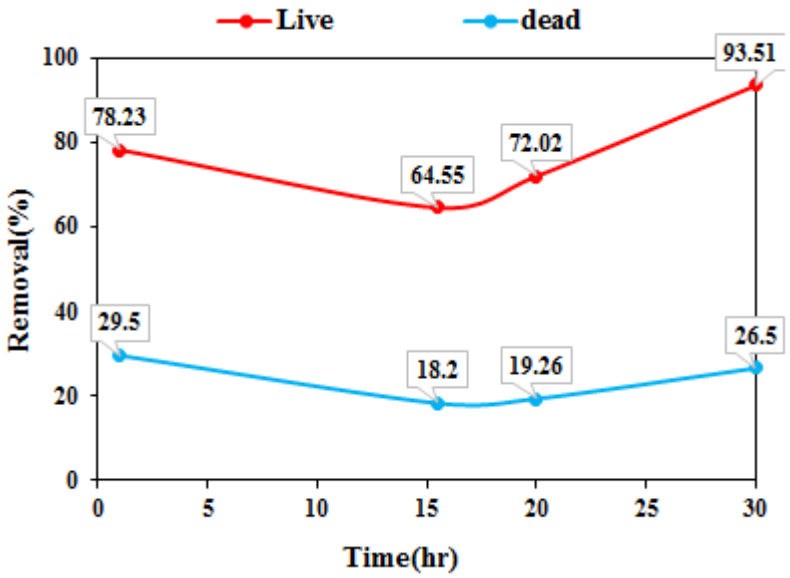
شکل ۷: نمودار کانتور اثرمتقابل زمان، غلظت اولیه ایبوپروفن ۲۰۰ mg/l در شرایط pH ۵/۵، غلظت مخمر ۰/۲ g/100ml

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]



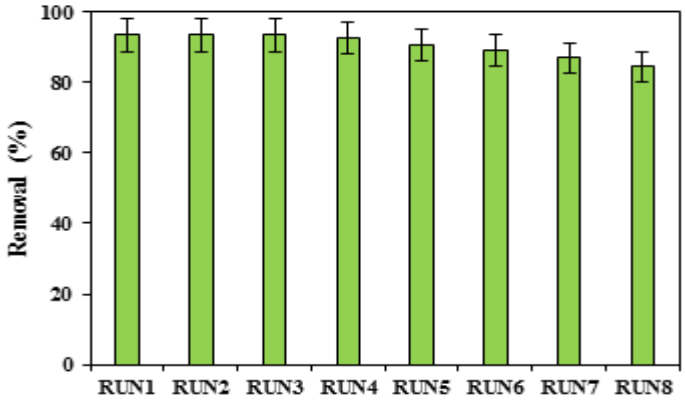
شکل ۸: نمودار کانتور اثرمتقابل pH، غلظت اولیه ایبوپروفن در شرایط زمان ۱۵/۵ ساعت، غلظت مخمر g/100ml ۰/۲



شکل ۹: بررسی راندمان حذف ایبوپروفن در شرایط بهینه مخمر زنده و مرده در حالت تثبیت شـده ((غلظـت mg/L ۵۰، pH۵/۵، غلظـت مخمـر(g/100ml ۰/۲ ، زمان ۳۰ ساعت)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]



شکل ۱۰: تغییرات راندمان مخمر تثبیت شده در آلژینات بعد از استفاده مجدد در شرایط بهینه(غلظت ۵۰mg/L، pH ۵/۵، دوز مخمر g/100ml ۰/۲، زمان ۳۰ ساعت)

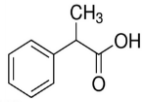
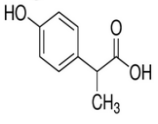
بررسی قابلیت استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده

برای بررسی قابلیت استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده بعد از هر بار انجام آزمایش در شرایط بهینه پس از پایان واکنش میزان حذف آلاینده اندازه گیری شد و سپس گویچه‌های آلژینات مخمر به وسیله کاغذ صافی جداسازی شدند با آب مقطر استریل شستشو داده شد و مجددا از آن استفاده شد که راندمان حذف پس از ۸ بار استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده از ۹۳/۵ به ۸٤/۵ درصد به تدریج کاهش یافت. شکل ۹ تغییرات راندمان حذف ایبوپروفن را در شرایط بهینه پس از ۸ بار استفاده مجدد از مخمر تثبیت شده را نشان می دهد.

محصولات واسطه

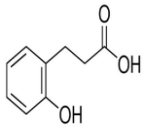
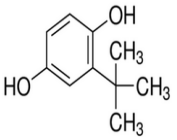
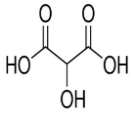
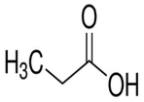
مهم ترین فرآورده های جانبی حاصل از تجزیه ایبوپروفن شامل ۲- فنیل پروپیونیک اسید، ۲- (٤- هیدروکسی فنیل) پروپانیک اسید، ۲- (۲ ،۳ هیدروکسی فنیل) پروپانیک اسید، ایزو بوتیل کتکول، ۲- هیدروکسی مالونیک اسید و پروپیونیک اسید می باشد که در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: مشخصات و نوع محصولات جانبی احتمالی حاصل از حذف ایبوپروفن توسط دستگاه GC/ MS در شرایط بهینه (غلظت ۵۰ mg/l، pH ۵/۵، غلظت g/100 ml ۰/۲ مخمر ، زمان ۳۰ ساعت)

شماره پیک	نام ترکیب	جرم مولکولی (g/mol)	ساختار مولکولی	فرمول شیمیایی
1	۲- فنیل پروپیونیک اسید	150		$C_9H_{10}O_2$
2	۲- (٤- هیدروکسی فنیل) پروپانیک اسید	166		$C_9H_{10}O_3$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

3	۲- (۲، ۳ هیدروکسی فنیل) پروپانیک اسید	182		$C_9H_{10}O_4$
4	ایزو بوتیل کتکول	162.22		$C_{10}H_{14}O_2$
5	۲- هیدروکسی مالونیک اسید	120		$C_3H_4O_5$
6	پروپیونیک اسید	74		$C_3H_6O_2$

جدول ۶: نتایج بررسی سینتیک تجزیه ایبوپروفن در حالت تثبیت شده (غلظت ۵۰mg/L، pH۵/۵ دوز مخمر g/100mL ۰/۲، زمان۳۰- ۱۵/۵ ساعت)

مدل سینتیکی	رابطه مدل	معادله خط	R^2	ثابت سرعت واکنش hr^{-1}
درجه صفر	$C_t= C_0-K_0t$	Y = -۰/۸۹٦۱ X +۳۲/۱٦۷	۰/۸۵۷	-۰/۸۹٦۱
درجه اول	$Ln(C_t/C_0)= K_1t$	Y = ۰/۱۱۲۹ X -۰/۸٤۵	۰/۹٤۵۹	۰/۱۱۲
درجه دوم	$C_t^{-1}= C_0^{-1}+K_2t$	Y = ۰/۰۱۵۹ X -۰/۲۲۳۵	۰/۸۲۵۳	۰/۰۱۵

سینتیک واکنش

منحنی‌های مربوط به مدل‌های سینتیکی درجه صفر، درجه اول، درجه دوم در حالت تثبیت شده بررسی شد که نتیجه حاصل از آن در جدول ٦ ارائه شده است. سینتیک ایبوپروفن از سینتیک درجه یک پیروی کرده است و ثابت سرعت واکنش در حالت تثبیت شده ۰/۱۱۲ hr^{-1}در شرایط بهینه می باشد.

بحث

جدول ۳ نشان می دهد بیشترین میزان حذف ایبوپروفن ۹۳/۵۱ درصد در شرایط غلظت ایبوپروفن ۵۰ mg/l غلظت مخمر ۰/۲ g/100ml، pH ۵/۵ و زمان ۳۰ ساعت می باشد. همان طور که در جدول ٤ نشان داده شده، ارتباط آماری معنی داری بین پارامترها به وسیله مقایسه مربع در برابر خطای ازمایش انجام شد. و همچنین فاکتورها داری < P values 0.0001 می باشند که بیانگر ارتباط معنی داری این متغیر ها در سطح اطمینان ۹۵ ٪ می باشد. مقدار F حاصل در جدول ۵ نشان داد که غلظت اولیه ایبوپروفن تاثیر قابل توجهی در حذف ایبوپروفن دارد. و همچنین مقدار بالای R-square (۰/۹۹۹۸)، نزدیک بودن مقادیر Adj R-squared (۰/۹۹۹۷) و Pred R-squared (۰/۹۹۹۲) و همچنین مقدار بالای F-value مدل (٦٦۲۳/۷۳) در حالت تثبیت شده همگی موید این مطلب است که حذف ایبوپروفن توسط مخمر ساکارومایسس توسط مدل درجه دوم به خوبی تائید می‌شود. همچنین برهمکنش فاکتورها در شکل ٦ تا ۸ نشان می دهد که برهمکنش‌های AB، AC، AB دارای F-value کمتری بودند و significant بودند. برهمکنش‌های BC، BD و CD داری F-value بالایی بودند و significant هم بودند. A^2، C^2 و B^2 هم داری F-value بالایی بودند. همانطور که انتظار می رود غلظت اولیه ایبوپروفن (۳۲/۷٤ ٪) به طور عمده در حذف ایبوپروفن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

توسط مخمر موثر بوده و به عنوان یکی از پارامترهای مهم برای تعیین ظرفیت تجزیه ایبوپروفن از محلول های آبی می باشد. همانطور مه در شکل ۲ نیز مشاهده می شود با افزایش غلظت ایبوپروفن از mg/L ۵۰ به ۳۵۰mg/l ، کارایی حذف کاهش یافته است. کاهش بازده حذف با افزایش غلظت ایبوپروفن را می توان اینگونه تفسیر نمود کاهش درصد حذف ایبوپروفن با افزایش غلظت آن می‌تواند ناشی از سمیت ایبوپروفن برای مخمر در غلظت‌های بالا و یا غلظت کمتر مخمر برای تجزیه دارو در غلظت‌های بالا باشد. R.G. Sara tale و همکاران مطالعه ای بر روی تجزیه بیولوژیکی رنگ به وسیله یک نوع قارچ انجام دادند نتایج نشان داد که با افزایش غلظت رنگ از mg/L ۵۰ به ۲۰۰mg/l میزان راندمان کاهش پیدا کرد [۲۳،۲۴]. Sharma Amirnia و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به مطالعه ای بر روی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی توسط مخمر ساکارومایسس سرویزیه بر روی بیوراکتور پیوسته پرداختند نتایج نشان داد با افزایش غلظت فلزات از mg/L ۱۰ به ۱۸۰mg/l میزان راندمان کاهش پیدا کرد [۲۵].

ترتیب فاکتورهای در نظر گرفته در تجزیه ایبوپروفن بر اساس شدت آن ها به ترتیب زیر است :

برهم کنش متغیر ها < زمان< pH <غلظت مخمر< غلظت ایبوپروفن و راندمان حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر ساکارومایسس را به صورت معادله ۱ بیان کرد:

(۱)

راندمان حذف= +48.87+ 7.19A- 7.43B -14.00C +10.93D+ 0.0039AB - 0.4200AC -1.36AC+ 3.41BC- 2.13BD -2.13BD -3.50CD +16.86 A^2 +5.52 B^2 +5.90 C^2 +.6795 D^2

غلظت مخمر از دیگر پارامتر های مهم در حذف ایبوپروفن می باشد همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش غلظت مخمر از g/100 ml ۰/۱ به ۰/۳، راندمان حذف افزایش یافته است و مقدار باقی مانده ایبوپروفن در محلول کاهش یافته است. افزایش راندمان با فزایش مخمر را می توان اینگونه بیان کرد که چون حذف ایبوپروفن به وسیله مخمر بیولوژیکی می باشد و واکنش‌های بیولوژیکی وابسته به زمان و مقدار زیست توده (مخمر) می باشند لذا با افزایش زمان تماس و مقدار مخمر حذف بیشتر و بهتر صورت می‌گیرد. همچنین افزایش غلظت مخمر باعث افزایش سطح تماس می‌شود. صادقی و همکاران در سال ۲۰۱۵ مطالعه‌ای با عنوان توانایی مخمر S. cerevisiae در حذف بیولوژیکی آنتی بیوتیک سیپروفلوکساسین از محلول‌های آبی انجام دادند نتایج نشان داد با افزایش غلظت مخمر از g/100 ml ۰/۱ به ۱راندمان حذف آلاینده افزایش یافت [۲۶]. MyLinhNguyen و همکارانش در سال ۲۰۱۵ پژوهشی به عنوان حذف نیکل از محیط های آبی توسط ساکارومایسس سرویزیه انجام دادند. در این تحقیق پارامتر مقدار جاذب g/l ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایتg/l ۵ مقدار بهینه در این تحقیق بدست آمد [۲۷]. pH محلول از جمله پارامتر های مهم بر راندمان حذف می باشد. همانطور که در نمودار ۳ نشان داده می شود با کاهش pH از ۷ به ٤ کارایی حذف افزایش یافته است. افزایش بازده حذف با کاهش pH را می توان اینگونه تفسیر نمود که pH محلول از پارامترهای مهم تاثیر گذار بر واکنش های شیمیایی و بیولوژیکی محلول های آبی محسوب می شود و در کل فرآیند نقش مهمی دارد. سطح مخمر S. Cerevisiae دارای سه گروه کربوکسیل، فسفانات و آمین می باشد که دو گروه کربوکسیل و فسفانات دارای بار منفی و گروه آمین دارای بار مثبت می باشد. گروه های آمین بطور عمده در پروتیئن ها و توده های زیستی یافت می شوند و در جذب زیستی نسبت به دو گروه دیگر تمایل بیشتری را از خود نشان می دهد. در pH های کم، سایت های فعال موجود در مخمرS. cerevisiae (گروه های آمین) پروتونه شده و دانسیته بارمثبت موجود در سطح مخمر افزایش می یابد [۲۶،۲۸]. مواد آلی بر اساس ضریب تفکیک یونی به دو صورت یونی یا غیر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

یونی در آب حل می شوند زمانی که pH محلول آبی بالاتر از ضریب تفکیک یونی باشد (pH>pKa) ماده آلی به صورت یونی در آب حل می شود و اگر pH محیط کمتر از ضریب تفکیک یونی آن باشد (pH<pKa) ماده آلی به صورت غیر یونی در آب حل می شود.ایبوپروفن داری ضریب تفکیک یونی ۵/۲ می باشد. این دارو در محیط های اسیدی به صورت غیر یونی در آب حل می شود و در شرایط قلیایی به صورت یونی حل می شود فرم یونی ایبوپروفن نسبت به فرم غیر یونی تمایل به واکنش پذیری بالایی با رادیکال های هیدروکسیل دارد [۲۹].با توجه به این موضوع که مکانیسم عمل مخمر جذب سطحی و تجزیه بیولوژیکی است اگر تنها پدیده جذب سطحی دخالت می داشت می بایست در pH قلیایی جذب بیشتری می داشتیم در صورتی که جذب در pH اسیدی بهتر صورت می گیرد لذا مخمر S. cerevisiae در فرآیند حذف به صورت بیولوژیکی عمل می کند [۳۰، ۳۱]. از دیگر دلایل حذف زیستی بیشتر دارو در pH اسیدی می‌تواند پایداری و رشد بالای مخمر به‌کار برده شده در pH های اسیدی نسبت به pH های بازی به دلیل ماهیت اسیدوفیلی آن باشد [۳۲]. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹ توسط MR Samarghandi و همکاران تحت عنوان بررسی کارایی مخمر ساکارومایسس سرویزیه (مخمر نان) در حذف آنتی بیوتیک آموکسی سیلین و سفتریاکسون از محیط‌های آبی انجام شد. نتایج نشان داد که این نوع مخمر در pH اسیدی بیشترین میزان حذف را دارد [۳۳]. M.S. Mahmoud در سال ۲۰۱٤ مطالعه ای بر روی حذف چند رنگ راکتیو از محیط های آبی به وسیله ساکارومایسس سرویزیه انجام داد. نتایج نشان داد با کاهش pH راندمان حذف افزایش پیدا کرد [۳٤]. زمان واکنش نیز یکی از پارامترهای مهم در حذف ایبوپروفن می‌باشد. با توجه به شکل۵، در این مطالعه محدوده ی زمان واکنش بین ۱ تا ۳۰ ساعت در نظر گرفته شد. شکل ۵ اثر مثبت افزایش زمان واکنش بر پاسخ را به خوبی نشان می دهد. با توجه به این شکل‌ها، در زمان یک ساعت درصد حذف ۷۸/۲۳ درصد و پس از آن در زمان ۱۵ ساعت به ٦٤/۵۵ درصد کاهش می‌یابد. پس از زمان ۱۵ ساعت درصد حذف روبه افزایش می نهد. دلیل بالاتر بودن میزان حذف در زمان یک ساعت نسبت به زمان ۱۵ ساعت را می توان این گونه تفسیر نمود که اتصال مخمر با ایبوپروفن یک روند سریع و برگشت پذیر می‌باشد به طوری که اتصال ایبوپروفن با مخمر در محیط مایع، فرآیندی سریع همراه با تشکیل یک کمپلکس برگشت پذیر بین ایبوپروفن و سطح دیواره سلولی مخمر را ایجاد می‌کند [۳٥،۳٦]. پس می‌تواند اینگونه بیان نمود که ابتدا پدیده جذب سطحی در یک ساعت اولیه واکنش و واجذب مجدد آن پس از زمان یک ساعت رخ می‌دهد و سپس در زمان ۱۵ ساعت و پس از آن تجزیه زیستی ماده واجذب شده و مقدار باقی‌مانده دارو در محلول واکنش رخ می‌دهد. لطف آبادی و همکاران مطالعه ای در سال ۲۰۱۷ تحت عنوان تجزیه بیولوژیکی رنگ به وسیله مخمر ساکارومایسس انجام دادند نتایج نشان داد که در ساعات اولیه حذف رنگ بالا بود و سپس دچار کاهش شد و پس از آن رو به افزایش و تجزیه کامل رنگ در ۱۲ ساعت شد [۳۷]. Jadhav و همکاران مطالعه ای با عنوان رنگ زدایی رنگ متیل رد آزو توسط S. Cerevisiae انجام دادند. نتایج نشان داد در ابتدا حذف رنگ بالا بود و سپس دچار کاهش حذف و پس از آن سلول‌های S. Cerevisiae این نوع رنگ را به طور کامل در مدت ۱٦ دقیقه حذف کرد [۳۸].

بررسی میزان جذب و تجزیه بیولوژیکی ایبوپروفن

در این تحقیق راندمان حذف ایبوپروفن توسط سلول‌های اتوکلاو شده S. Cerevisiae مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از روش اتوکلاو کردن (غیر فعال کردن سلول مخمر) برای بررسی بیشتر بر روی حذف ایبوپروفن توسط مخمر استفاده شد و مشخص گردید که مخمر غیرفعال شده اگر چه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

قادر به حذف ایبوپروفن می باشد ولی راندمان حذف آن در مقایسه با مخمر زنده کاهش می یابد. شکل ۹ نشان می‌دهد که بیشترین راندمان حذف ایبوپروفن با مخمر فعال و مرده به ترتیب ۹۳/۵ و ۲۶/۵ درصد می باشد از تفاضل این دو مقدار به دست آمده سهم جذب و تجزیه بیولوژیکی حاصل شد که سهم تجزیه برابر با ٦٧ درصد و سهم جذب برابر با ۲٦/۵ درصد می باشد. در مطالعه S. Yang و همکاران در سال ۲۰۱۳ حذف ترکیبات دارویی توسط گونه‌های قارچی انجام شد. نتایج نشان داد حذف آلاینده‌ها با سلول‌های قارچی بر این اساس است که آلاینده‌های هدف می توانند در سطح قارچ‌ها یا داخل سلول جذب شوند و بعدا توسط آنزیم‌های خارج سلولی و درون سلولی تخریب شوند. همچنین جذب بیولوژیکی ترکیبات دارویی آبگریز باعث تجزیه بیولوژیکی آن‌ها می‌شود. ضریب Log Kow یک پارامتر کلیدی جهت بررسی سهم جذب و تجزیه بیولوژیکی در ترکیبات دارویی آبگریز می باشد به طوری که اگر (log Kow> 4) باشد حذف ترکیب دارویی تحت تاثیر هردو مکانیسم جذب و تجزیه قرار می گیرد و اگر (log Kow <3) سهم جذب بیولوژیکی در حذف ترکیب بسیار محدود می باشد. ایبوپروفن یک داروی آبگریز می باشد که داری log Kow برابر ۳/۹۷ می باشد در نتیجه سهم تجزیه بیولوژیکی آن نسبت به سهم جذب آن بیشتر می باشد [۱۴،۱۵]. Ahmet ÇABUK و همکاران در سال ۲۰۰۵ مطالعه تحت حذف سرب به وسیله گونه‌های قارچی انجام شد نتایج نشان داد کاهش جذب زیستی توسط زیست توده‌های اسپرژیلوس ورسیکولور پیش تیمار شده با اتوکلاو و حرارت نسبت به زیست توده فعال از نظر متابولیسمی به دلیل فقدان جذب داخل سلولی بود [۳۹]. احرام پوش و همکاران در سال ۱۳۹٦، مطالعه‌ای با عنوان توانایی مخمر ساکارومیس سرویزیه در حذف بیولوژیکی دیازینون از محلول‌های آبی انجام دادند. نتایج نشان داد بیشترین راندمان حذف دیازینون با مخمر فعال و مرده به ترتیب ۹٦ و ۲٤ درصد بود [۴۰].

بررسی سینتیک واکنش حذف ایبوپروفن از محیط‌های آبی توسط مخمر ساکارومایسس

نتایج بررسی سینتیک تجزیه ایبوپروفن نشان داد که ضرایب سینتیکی تجزیه ایبوپروفن در شرایط بهینه بر اساس ضریب رگرسیون خطی (R^2) با معادله درجه اول مطابقت دارد. معیار انتخاب مناسب ترین مدل، ضریب رگرسیون خطی (R^2) در نظر گرفته شده است که طبق جدول ٦ تجزیه ایبوپروفن از مدل سینتیکی درجه اول پیروی می کند. در مطالعه I. Rodriguez-Roda و همکاران که به حذف بیولوژیکی ایبوپروفن پرداخته شده است، مشخص شد که واکنش تجزیه ایبوپروفن از واکنش درجه اول پیروی می کند [۴۱].

نتیجه‌گیری

راندمان حذف ایبوپروفن با زمان تماس و مقدار مخمر رابطه مستقیم دارد به طوری که با افزایش زمان تماس و غلظت مخمر راندمان بالا رفته و حذف بیشتری صورت می گیرد. با افزایش غلظت اولیه ایبوپروفن توانایی مخمر در حذف، کاهش می یابد. همچنین میزان حذف ایبوپروفن توسط مخمر با کاهش pH افزایش یافت. در pH اسیدی بیشترین میزان حذف مشاهده شده است. سنتیک واکنش حذف آلاینده با مدل سینتیکی درجه یک مطابقت دارد.مخمر ساکارومایسس تثبیت شده توانایی ۸ بار استفاده مجدد را دارد. در نهایت می توان نتیجه گرفت که مخمر S. Cerevisiae (مخمر نان) توانایی حذف ایبوپروفن را با کمترین هزینه با راندمان بالا داراست و نیز با توجه به اینکه این نوع مخمر در صورت استفاده در محیط زیست ماده شیمیایی جانبی اضافه نمی کند لذا از نظر اکوسیستم بسیار مناسب است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان نامه و طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران در سال ۱۳۹۷با عنوان ارزیابی کارایی مخمر ساکارومایسس سرویزیه تثبیت شده در آلژینات کلسیم در حذف ایبوپروفن در محلول‌های آبی و به کد ۹۷-۰۱-۲۷-۳۳۱۹۷ می باشد که نویسندگان نهایت تقدیر و تشکر را از حمایت‌های دانشگاه دارند. همچنین محققین این پژوهش نهایت تقدیر و تشکر خود را از آقای دکتر ناصر عباسی رئیس مرکز تحقیقات گیاهان داروئی و سایر همکاران ایشان که شرایط تکمیل طرح مذکور را فراهم آوردند را به عمل می آورند.

References

1. Kaur A, Umar A, Kansal SK. Heterogeneous photocatalytic studies of analgesic and non-steroidal anti-inflammatory drugs. APPL CATAL A-GEN 2016;510: 134-55.
2. NARVAEZ V JF, JIMENEZ C C. Pharmaceutical products in the environment: sources, effects and risks. Vitae 2012;19(1): 93-108.
3. Mestre A, Pires J, Nogueira J, Carvalho A. Activated carbons for the adsorption of ibuprofen. Carbon 2007;45(10): 1979-88.
4. Heckmann L-H, Callaghan A, Hooper HL, et al. Chronic toxicity of ibuprofen to Daphnia magna: effects on life history traits and population dynamics. J Toxicol Lett 2007;172(3): 137-45.
5. Subramanya NT. Biodegradation of bisphenol a and ibuprofen by ammonia oxidizing bacteria: Texas A&M University; 2007.
6. Boynton CS, Dick CF, Mayor GH. NSAIDs: an overview. J. Clin. Pharmacol. 1988;28(6): 512-17.
7. Renner R. Drug mixtures prove harmful. ACS Publications; 2002.
8. Xia D, Lo IM. Synthesis of magnetically separable Bi2O4/Fe3O4 hybrid nanocomposites with enhanced photocatalytic removal of ibuprofen under visible light irradiation. J Water Res 2016;100: 393-404.
9. Ferreira AM, Coutinho JA, Fernandes AM, Freire MG. Complete removal of textile dyes from aqueous media using ionic-liquid-based aqueous two-phase systems. Sep.J Purif. Technol. 2014;128: 58-66.
10. Mittal H, Maity A, Ray SS. Synthesis of co-polymer-grafted gum karaya and silica hybrid organic–inorganic hydrogel nanocomposite for the highly effective removal of methylene blue. Chem Eng J 2015;279: 166-79.
11. RAHAEI S, Razavi S, EMAM JZ. The ability of Saccharomyces cerevisiae strain in aflatoxin reduction in pistachio nuts. 2010.
12. YARKE SN, Ghaemi N, Nouhi A. Optimizing conditions of lead removal by saccharomyces cerevisiae in laboratory condition. 2011.
13. Teixeira MC, Duque P, Sá-Correia I. Environmental genomics: mechanistic insights into toxicity of and resistance to the herbicide 2, 4-D. Trends Biotechnol. 2007;25(8): 363-70.
14. Yang S, Hai FI, Nghiem LD, et al. Removal of bisphenol A and diclofenac by a novel fungal membrane bioreactor operated under non-sterile conditions. Int. Biodeterior. Biodegradation 2013;85: 483-90.
15. Naghdi M, Taheran M, Brar SK, et al. Removal of pharmaceutical compounds in water and wastewater using fungal oxidoreductase enzymes. Environ Pollut 2018;234: 190-213.
16. Erşan M. Removal of tetracycline using new biocomposites from aqueous solutions. Desalination Water Treat. 2016;57(21): 9982-92.
17. Chang E-E, Wan J-C, Kim H, et al. Adsorption of selected pharmaceutical compounds onto activated carbon in dilute aqueous solutions exemplified by acetaminophen, diclofenac, and sulfamethoxazole. Sci. World J. 2015;2015.
18. Hattrem MN, Dille MJ, Seternes T, et al. The relative bioavailability of ibuprofen after administration with a novel soft chewable drug formulation. CLIN PHARM DRUG DEV 2018;7(2): 168-76.
19. Xing Z, Zhang Q, Shi X, Lin Y. Saccharomyces cerevisiae immobilized in alginate for continuous fermentation. J Clean Energy Technol 2016;4.
20. Inal M, Yiğitoğlu M. Production of bioethanol by immobilized Saccharomyces cerevisiae onto modified sodium alginate gel. J CHEM TECHNOL BIOT. 2011;86(12): 1548-54.
21. Denney R, Vogel AI, Mendham J. Vogel's textbook of quantitative chemical analysis/revised by J Mendham...[et al.]. Harlow, Essex, England: Longman Scientific & Technical; New York: Prentice Hall; 2000.
22. Behnamfard A, Salarirad MM. Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon. J. Hazard. Mater. 2009;170(1): 127-33.
23. Saratale R, Saratale G, Chang J-S, Govindwar SP.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

Decolorization and biodegradation of textile dye Navy blue HER by Trichosporon beigelii NCIM-3326. J Hazard Mater 2009;166(2-3): 1421-28.

24. Kalme S, Parshetti G, Jadhav S, Govindwar SP. Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue-6 by Pseudomonas desmolyticum NCIM 2112. Bioresour Technol 2007;98(7): 1405-10.
25. Amirnia S, Ray MB, Margaritis A. Heavy metals removal from aqueous solutions using Saccharomyces cerevisiae in a novel continuous bioreactor–biosorption system. Chem. Eng. Trans. 2015;264: 863-72.
26. Sadeghi A, Dolatabadi M, Asadzadeh S, JAMALI BF. Ability of the yeast saccharomyces cerevisiae for biological removal of ciprofloxacin antibiotic in aqueous solution. 2015.
27. Nguyen ML, Juang R-S. Modification of crosslinked chitosan beads with histidine and Saccharomyces cerevisiae for enhanced Ni (II) biosorption. J TAIWAN INST CHEM E 2015;56: 96-102.
28. Sadeghi A, Dehghan A, Asadzadeh S, Dolatabadi M. Removal of nitrate from aqueous solutions using Saccharomyces cerevisiae biosorbent: adsorption isotherms and kinetics. J North Khorasan Univ Med Sci 2014;6(2): 441-49.
29. Nourmoradi H, Moghadam KF, Jafari A, Kamarehie B. Removal of acetaminophen and ibuprofen from aqueous solutions by activated carbon derived from Quercus Brantii (Oak) acorn as a low-cost biosorbent. J. Environ. Chem. Eng. 2018;6(6): 6807-15.
30. Plakas KV, Karabelas AJ. Removal of pesticides from water by NF and RO membranes—A review. Desalination 2012;287: 255-65.
31. Sadeghi A, Bazardehi MAK, Raffe S, Zarif B. Biotransformation of carmoisine and reactive black 5 dyes using saccharomyces cerevisiae. Health 2014;6(10): 859.
32. Narendranath NV, Power R. Relationship between pH and medium dissolved solids in terms of growth and metabolism of Lactobacilli and Saccharomyces cerevisiae during ethanol production. Appl. Environ. Microbiol. 2005;71(5): 2239-43.
33. Samarghandi M, Asgari G, Shokoohi R, et al. Efficiency of Saccharomyces Cerevisiae in Ceftriaxone Removal from Aquatic Environments: Kinetic, Isotherm of Absorption and Thermodynamics Study. J Health 2019;10(3): 270-86.
34. Mahmoud M. Decolorization of certain reactive dye from aqueous solution using Baker's yeast (Saccharomyces cerevisiae) strain. HBRC J 2014.
35. Afshar P, Motamedzadegan A, Ahmady M, et al. Review on aflatoxins biodegradation strategies based on fungi. Clinical Excellence 2017;7(1): 36-48.36.
36. Oliveira CAF, Bovo F, Corassin CH, et al. Recent trends in microbiological decontamination of aflatoxins in foodstuffs. Aflatoxins-recent advances and future prospects 2013.
37. Vatandoostarani S, Lotfabad TB, Heidarinasab A, Yaghmaei S. Degradation of azo dye methyl red by Saccharomyces cerevisiae ATCC 9763. Int Biodeterior Biodegrad 2017;125: 62-72.
38. Jadhav J, Parshetti G, Kalme S, Govindwar SP. Decolourization of azo dye methyl red by Saccharomyces cerevisiae MTCC 463. Chemosphere 2007;68(2): 394-400.
39. Çabuk A, Ilhan S, Filik C, ÇALIŞKAN F. Pb^{2+} Biosorption by Pretreated Fungal Biomass. TURK J BIOL 2005;29(1): 23-28.
40. Ehrampoush MH, Sadeghi A, Ghaneian MT, Bonyadi Z. Optimization of diazinon biodegradation from aqueous solutions by Saccharomyces cerevisiae using response surface methodology. AMB Express 2017;7(1): 68.
41. Collado N, Buttiglieri G, Ferrando-Climent L, et al. Removal of ibuprofen and its transformation products: experimental and simulation studies. Sci Total Environ 2012;433: 296-301.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]

Journal of Environmental Health Engineering, August 2020; Vol. 7, No. 4: 477-494

Immobilization of Saccharomyces Cerevisiae on Alginate Substrate to Biodegradation of Ibuprofen from Aqueous Solutions

Kobra Tahmasebi[1], Roshanak Rezaei Kalantary[2,3*], Ali Esrafili[2,3], Sajad Mazloomi[4]

1. M.Sc student of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran

E-mail: rezaei.r@iums.ac.ir

Received: 1 Feb 2020 ; Accepted: 16 Aug 2020

ABSTRACT

Background: Ibuprofen is one of the most widely used non-steroidal anti-inflammatory drugs that enter the water resources through manufacturing plants and disposal of hospital effluents and even domestic wastewater. The aim of this study was to removal of ibuprofen using biodegradation process by Saccharomyces Cerevisiae yeast fixed on alginate substrate from aqueous solutions.
Method: This research was an experimental-laboratory study. The effect of parameters including yeast concentration (0.1-0.3 g/100ml), Initial concentration of ibuprofen (50-350 mg/l), contact time (1-30 hours), initial pH (4-7) on the biodegradation of ibuprofen with stabilized yeast on alginate substrate was investigated. Experiments were designed and optimized using response surface methodology in Design Expert 7 software.
Results: The findings of this study showed that the maximum removal of ibuprofen by fixed yeast on alginate at pH = 5.5, yeast concentration 0.2 (g /100ml), time 30 hours, and initial concentration of ibuprofen=50 mg/L was 93.5%.
Conclusion: Based on the results of this study, it can be concluded that the fixed Saccharomyces cerevisiae is capable to biodegradation of ibuprofen at low cost and high efficiency and this cost-effective method can be used for the treatment of pharmaceutical wastewater.

Keyword: Alginate; Aqueous solutions; Biodegradation; Ibuprofen, Yeast Saccharomyces cerevisiae

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.477]