Volume 6, Issue 2, Summer 2020

Original article

Modeling and Optimization of Cefixime Removal from Aqueous Solutions by Potato Starch Using Response Surface Methodology (RSM)

Fatemeh Sadat Tabatabaei[1]
Mahdi Asadi-Ghalhari[2*]
Rahim Aali[2]
Roqiyeh Mostafaloo[1]
Zahra Safari[1]
Faezeh Kamal[1]
Rezvaneh Esmaeili[1]

1- M.Sc. Student, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
2- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

***Corresponding author:** Mahdi Asadi-Ghalhari, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Email: mehdi.asady@gmail.com

Received: 19 May 2020
Accepted: 13 July 2020

ABSTRACT

Introduction and purpose: Cefixime (CFX) is one of the most extensively used antibiotics across the world. Nonetheless, the entrance of this pharmaceutical compound into water resources has posed a serious problem to the environment. With this background in mind, the present study aimed to analyze the effectiveness of CFX removal from aqueous solutions by potato starch.

Methods: The current study assessed the effect of four main effective parameters, namely pH (3-9), potato starch dose (0-300mg/L), CFX initial concentration (0-16mg/L), and retention time (20-120min), on CFX removal using Response Surface Methodology (RSM).

Results: Under the optimum conditions, the maximum CFX removal efficiency was reported as 65.57%, with the optimum values of pH=4.5, potato starch dose=225mg/L, CFX initial concentration=7.9, and retention time=95min. As demonstrated by the results of RSM, the current study follows the quadratic model (R^2=0.987).

Conclusion: Considering the appropriate results of CFX removal by potato starch, it is recommended to be used as a successful method to remove this contaminant from water sources.

Keywords: Cefixime, Potato starch, Removal, Response surface methodology

▶ **Citation:** Tabatabaei FS, Asadi-Ghalhari M, Aali R, Mostafaloo R, Safari Z, Kamal F, Esmaeili R. Modeling and Optimization of Cefixime Removal from Aqueous Solutions by Potato Starch Using Response Surface Methodology (RSM). Journal of Health Research in Community. Summer 2020;6(2): 27-37.

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی و بهینه‌سازی حذف سفکسیم از محلول آبی با نشاسته سیب‌زمینی با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ (RSM)

فاطمه سادات طباطبایی[۱]
مهدی اسدی قالهری[۲*]
رحیم عالی[۲]
رقیه مصطفی‌لو[۱]
زهرا صفری[۱]
فائزه کمال[۱]
رضوانه اسماعیلی[۱]

۱. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

* نویسنده مسئول: مهدی اسدی قالهری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

Email: mehdi.asady@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: سفکسیم یکی از آنتی‌بیوتیک‌های پرمصرف در جهان است. ورود این ترکیب دارویی به منابع آبی به نگرانی عمده‌ای برای محیط‌زیست تبدیل شده است. بر همین اساس، هدف این مطالعه تحلیل حذف سفکسیم از محلول آبی با استفاده از نشاسته سیب‌زمینی است.

روش کار: در این مطالعه تأثیر چهار متغیر مؤثر شامل pH (۹-۳)، غلظت نشاسته سیب‌زمینی (۳۰۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت اولیه سفکسیم (۱۶-۰ میلی‌گرم بر لیتر)، زمان ماند (۱۲۰-۲۰ دقیقه) روی حذف سفکسیم با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ بررسی شد.

یافته‌ها: در شرایط بهینه، کارایی حداکثر حذف سفکسیم، ۶۵/۵۷ درصد با مقدار بهینه pH=۴/۵، غلظت نشاسته ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر ، غلظت اولیه سفکسیم۹ /۷ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ۹۵ دقیقه به‌دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از RSM، این مطالعه از مدل درجه دوم (R^2=۰/۹۸۷) پیروی می‌کند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج مناسب حذف سفکسیم با نشاسته سیب‌زمینی پیشنهاد می‌شود از آن به‌عنوان روش موفقی برای حذف این آلاینده از منابع آبی استفاده شود.

کلمات کلیدی: حذف، سفکسیم، متدولوژی سطح پاسخ، نشاسته سیب‌زمینی

◀ **استناد:** طباطبایی، فاطمه سادات؛ اسدی قالهری، مهدی؛ عالی، رحیم؛ مصطفی‌لو، رقیه؛ صفری، زهرا؛ کمال، فائزه؛ اسماعیلی، رضوانه. مدل‌سازی و بهینه‌سازی حذف سفکسیم از محلول آبی با نشاسته سیب‌زمینی با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ (RSM). مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۳۹۹؛۶(۲): ۳۷-۲۷.

مقدمه

آنتی‌بیوتیک‌ها دسته‌ای از متابولیت‌های ثانویه تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌ها و همچنین ترکیبات شیمیایی سنتزشده یا نیمه

سنتز شده‌اند که می‌توانند رشد و بقای سایر میکروارگانیسم‌ها را مهار کنند [۱]. این مواد شیمیایی گروه بزرگ و مختلفی از ترکیبات طراحی‌شده برای بهبود و درمان بیماری‌ها هستند [۲]. این ترکیبات به‌عنوان عامل درمانی در بهبود بیماری‌های عفونی انسان بسیار مفید هستند و امروزه نیز به‌طور گسترده در صنایع دامی، آبزی‌پروری و کشاورزی استفاده می‌شوند. تجویز گسترده و غالباً نامناسب و استفاده شدید از آنتی‌بیوتیک‌ها برای اهداف انسانی، دامپزشکی و کشاورزی باعث آزادشدن مداوم آن‌ها در محیط می‌شود که مسیر اصلی برای گسترش آن در محیط است [۳].

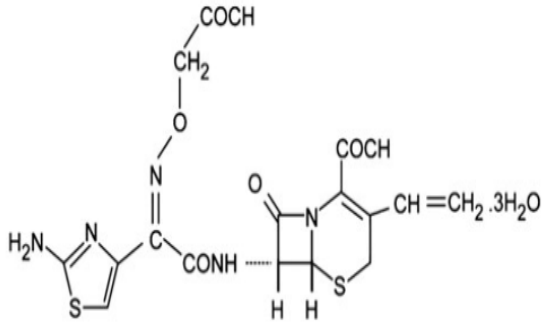
اخیراً، غلظت داروها در فاضلاب از نانوگرم به میکروگرم بر لیتر افزایش یافته است [۴]. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (EPA: Environmental Protection Agency)، ۱ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک‌ها در پساب می‌تواند وجود داشته باشد [۵]. بسیاری از ترکیبات پس از مصرف توسط انسان و حیوان، جذب ضعیفی دارند و در حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد این ترکیبات از طریق ادرار و مدفوع در محیط‌زیست دفع می‌شود [۶]. همچنین وجود بیمارستان‌ها در شهرهای مختلف و اتصال آن‌ها به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری باعث شده است مقادیر قابل‌توجهی از این ترکیبات به فاضلاب شهری وارد شود [۷].

آنتی‌بیوتیک‌ها به دلیل خاصیت تجمع‌پذیری زیستی، می‌توانند تا سطح قابل‌توجهی در محیط افزایش یابند. علاوه بر آن، داروها ممکن است همراه مواد شیمیایی موجود در محیط، سمیت بیشتری ایجاد کنند که به‌سادگی قابل پیش‌بینی و حذف نیستند؛ برای مثال، حضور ترکیب دیکلوفناک، ایبوپروفن، ناپروکسن و استیل‌سالسیلیک‌اسید اثر هم‌افزایی در سمیت دارند. همین موضوع نگرانی حضور این ترکیبات در محیط را بیشتر می‌کند که بیان‌کننده نیاز ارزیابی ایمنی آب آشامیدنی، فاضلاب و اکوسیستم‌های آبی است [۸].

سفکسیم یک آنتی‌بیوتیک و از نوع سفالوسپورین نسل سوم جذب خوراکی است [۹]. سفکسیم در درمان طیف وسیعی از عفونت‌ها مانند عفونت‌های تنفسی، سوزاک، عفونت گوش میانی، التهاب گلو، برونشت و عفونت ادراری استفاده می‌شود [۱۰،۱۱]. بخش زیادی از آنتی‌بیوتیک سفکسیم نیز مانند سایر ترکیبات دارویی بدون تغییر از بدن دفع می‌شود [۱۲]. ساختار شیمیایی سفکسیم در شکل ۱ آورده شده است [۱۳].

با توجه به اثرات جبران‌ناپذیر ترکیبات دارویی در محیط‌زیست و ناکارآمدی تصفیه متداول در حذف آن‌ها، توسعه فناوری تصفیه مؤثر و مقرون‌به‌صرفه برای حذف این ترکیبات اهمیت ویژه‌ای دارد [۱۴]. تاکنون از روش‌های مختلفی ازجمله ازن‌زنی، تصفیه با زمین (وتلند)، فرایند فنتون، تبادل یونی، فرایندهای غشایی و جذب برای حذف ترکیب دارویی از محیط آبی استفاده شده است [۱۵]. فرایند جذب به‌طور گسترده برای حذف آلاینده‌های آلی به کار برده می‌شود. این روش به دلیل تولیدنکردن متابولیت، نسبت به سایر روش‌های شیمیایی مزیت دارد.

مطالعات نشان داده است فرایند جذب روش مؤثری برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از محیط‌های آبی است [۱۶]. تاکنون جاذب‌های مختلفی همچون گرافن‌اکساید، نانولوله‌های کربنی چندفلزی، اکسید آلومینیوم و ... برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از محلول‌های آبی استفاده شده‌اند. نشاسته یکی از فراوان‌ترین پلی‌ساکاریدهای طبیعی است [۲۰-۱۷]. نشاسته در زندگی انسان به‌عنوان منبع مهم تغذیه‌ای در تأمین انرژی و سوخت‌وساز بدن نقش مهمی ایفا



شکل ۱: ساختار شیمیایی سفکسیم

می‌کند [۲۱]. سیب‌زمینی همواره یکی از محصولات پرمصرف در سفره غذایی مردم سراسر دنیا است. نشاسته ترکیب اصلی و مهم سیب‌زمینی است. حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد ماده خشک آن و به‌طور متوسط حدود ۷۶/۶ درصد سیب‌زمینی را نشاسته تشکیل می‌دهد [۲۲]. نشاسته حاوی حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد آمیلوپکتین و حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد آمیلوز است. اندازه متوسط گرانول‌های نشاسته ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر است که این گرانول‌ها در آب به‌صورت نامحلول وجود دارند [۲۳]. دانه‌های نشاسته به علت خاصیت ژلاتینه‌شدن و پارگی در اثر رطوبت و به‌دنبال آن افزایش ویسکوزیته خاصیتی مشابه مواد منعقدکننده دارد. به همین دلیل از آن می‌توان در فرایند انعقاد و لخته‌سازی صنایع حاوی کدورت زیاد استفاده کرد [۲۴].

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از محیط آبی انجام شده است. در پژوهش اسماعیلی بیدهندی و همکاران از نانوکربن فعال تهیه‌شده از پوست انار برای حذف سفکسیم از محیط آبی استفاده شد [۲۵]. نتایج نشان داد این جاذب می‌تواند تا ۹۵ درصد باعث حذف سفکسیم شود. همچنین در تحقیق دیگری مصطفی‌لو و همکاران بهینه‌سازی حذف سفکسیم را با استفاده از الکتروکوآگولاسیون با ورق‌های آلومینیومی را انجام دادند [۱۵]. نتایج مطالعه آنان نشان داد شرایط بهینه برای حذف سفکسیم در pH ۷/۵، غلظت اولیه سفکسیم ۵/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، شدت‌جریان ۶ آمپر و زمان ماند ۷۲/۵ دقیقه با حداکثر حذف ۸۵/۶ درصد است.

با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در زمینه حذف سفکسیم با نشاسته انجام نشده است، هدف این مطالعه ارزیابی عملکرد نشاسته سیب‌زمینی در حذف سفکسیم از محلول آبی است.

روش کار

تمام مواد شیمیایی استفاده‌شده در این مطالعه درجه آزمایشگاهی داشتند. برای انجام این پژوهش سفکسیم با فرمول شیمیایی $C_{16}H_{15}N_5O_7S_2$ با درجه خلوص ۰/۹۸ درصد از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شد. نشاسته سیب‌زمینی، HCL و NaOH از شرکت مرک تهیه شدند. استوک ۱ گرم بر لیتر سفکسیم ساخته و غلظت‌های مدنظر از آن تهیه شد. استوک به‌صورت روزانه تهیه می‌شد. در این مطالعه محلول نشاسته سیب‌زمینی با غلظت ۳ درصد با استفاده از آب دیونیزه تهیه شد. به‌منظور جلوگیری از هیدراته‌شدن (آبدارشدن) محلول نشاسته، این محلول به‌صورت تازه آماده‌سازی شد. در این مطالعه از متدولوژی سطح پاسخ برای طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی مطالعه (نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۲) استفاده شد.

تأثیر چهار پارامتر مؤثر شامل pH (۹-۳)، غلظت نشاسته سیب‌زمینی (۳۰۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت اولیه سفکسیم (۱۶-۰ میلی‌گرم بر لیتر)، زمان ماند (۱۲۰-۲۰ دقیقه) بر حذف سفکسیم با متدولوژی سطح پاسخ بررسی شد.

روش CCD با چهار متغیر (pH، غلظت نشاسته، غلظت اولیه سفکسیم و زمان ماند) در پنج سطح (α+، ۱+، ۰، ۱- و α-) انتخاب شد. بر اساس معادله (۱) تعداد ۳۰ آزمایش به‌دست آمد:

$$N=2^k+2k+C \quad (۱)$$

در این معادله، k تعداد فاکتورها و C تعداد نقاط مرکزی است [۱۵]. جدول ۱ و ۲ متغیرهای مستقل فرایند، مقادیر آن‌ها و ماتریکس طراحی آزمایش را نشان می‌دهد.

از تحلیل واریانس (ANOVA) برای تشخیص کفایت مدل پیشنهادی، تعیین R^2، R^2 تنظیم‌شده و R^2 پیش‌بینی‌شده استفاده شد.

آزمایش‌ها در ارلن‌هایی به حجم ۳۰ میلی‌لیتر در غلظت‌های اولیه سفکسیم، pH، غلظت نشاسته و زمان ماند طراحی‌شده با نرم‌افزار Design Expert انجام شد. برای جداسازی نشاسته از محلول، نمونه‌ها در سانتریفیوژ ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه

جدول ۱: سطوح متغیرهای مستقل در طراحی آزمایش

فاکتور (واحد)	کد	سطح				
		-α	-۱	۰	+۱	+α
pH	X_1	۳	۴.۵	۶	۷.۵	۹
غلظت نشاسته (میلی‌گرم بر لیتر)	X_2	۰	۷۵	۱۵۰	۲۲۵	۳۰۰
غلظت اولیه سفکسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	X_3	۰	۴	۸	۱۲	۱۶
زمان ماند (دقیقه)	X_4	۲۰	۴۵	۷۰	۹۵	۱۲۰

جدول ۲: ماتریکس طراحی آزمایش استفاده‌شده برای بررسی میزان حذف سفکسیم با نشاسته سیب‌زمینی

مرحله آزمایش	pH	غلظت نشاسته (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت سفکسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان ماند (دقیقه)	درصد حذف		
					مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی‌شده	باقی‌مانده
۱	۴/۵	۷۵	۴	۴۵	۲۹/۸۰	۳۲/۳۸	-۱/۶۱
۲	۷/۵	۷۵	۴	۴۵	۳۶/۱۵	۳۴/۹۲	۲/۲۰
۳	۴/۵	۲۲۵	۴	۴۵	۵۱/۳۶	۵۱/۸۰	۰/۵۴
۴	۷/۵	۲۲۵	۴	۴۵	۵۲/۶۸	۵۳/۵۲	۰/۱۴
۵	۴/۵	۷۵	۱۲	۴۵	۳۸/۳۱	۳۸/۴۶	۰/۸۲
۶	۷/۵	۷۵	۱۲	۴۵	۳۲/۱۴	۳۵/۹۲	-۲/۸۱
۷	۴/۵	۲۲۵	۱۲	۴۵	۵۴/۰۱	۵۷/۳۷	-۲/۴۰
۸	۷/۵	۲۲۵	۱۲	۴۵	۴۹/۷۵	۵۴/۰۲	-۳/۳۰
۹	۴/۵	۷۵	۴	۹۵	۴۱/۲۴	۳۷/۷۵	۴/۴۶
۱۰	۷/۵	۷۵	۴	۹۵	۳۷/۲۸	۳۷/۷۸	۰/۴۷
۱۱	۴/۵	۲۲۵	۴	۹۵	۵۶/۶۵	۵۶/۷۴	۰/۸۸
۱۲	۷/۵	۲۲۵	۴	۹۵	۵۵/۳۳	۵۵/۹۶	۰/۳۴
۱۳	۴/۵	۷۵	۱۲	۹۵	۳۶/۱۱	۳۹/۱۴	-۲/۰۷
۱۴	۷/۵	۷۵	۱۲	۹۵	۳۳/۷۶	۳۴/۱۰	۰/۶۲
۱۵	۴/۵	۲۲۵	۱۲	۹۵	۵۵/۶۲	۵۷/۶۳	-۱/۰۴
۱۶	۷/۵	۲۲۵	۱۲	۹۵	۵۰/۴۸	۵۱/۷۷	-۰/۳۲
۱۷	۳	۱۵۰	۸	۷۰	۴۳/۳۳	۴۴/۴۷	-۰/۱۷
۱۸	۹	۱۵۰	۸	۷۰	۴۱/۱۳	۴۱/۱۶	۰/۹۴
۱۹	۶	۰	۸	۷۰	۱۶/۱۵	۱۷/۵۶	-۱/۴۳
۲۰	۶	۳۰۰	۸	۷۰	۵۵/۸۸	۵۴/۶۵	۲/۲۰
۲۱	۶	۱۵۰	۰	۷۰	۰/۰۰	۵/۰۶	-۴/۰۹
۲۲	۶	۱۵۰	۱۶	۷۰	۱۰/۸۴	۶/۹۵	۴/۸۶

ادامه جدول ۲.

۲/۸۳	۹۵/۸۳	۹۷/۶۹	۲۰	۸	۱۵۰	۶	۲۳
-۲/۰۶	۹۸/۹۵	۹۵/۹۳	۱۲۰	۸	۱۵۰	۶	۲۴
۲/۵۷	۴۳/۴۹	۴۵/۰۹	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۲۵
-۰/۷۳	۴۳/۴۹	۴۱/۷۹	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۲۶
-۰/۰۷	۴۳/۴۹	۴۲/۴۵	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۲۷
۰/۸۱	۴۳/۴۹	۴۳/۳۳	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۲۸
-۰/۰۷	۴۳/۴۹	۴۲/۴۵	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۲۹
-۲/۴۹	۴۳/۴۹	۴۰/۰۳	۷۰	۸	۱۵۰	۶	۳۰

قرار گرفتند. غلظت سفکسیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Cecil 7250) در طول‌موج ۲۸۸/۵ نانومتر تعیین شد. pH محلول‌ها با استفاده از HCL و NaOH یک نرمال تنظیم و با pHمتر (مدل pH 7110 WTW) اندازه‌گیری شد. میزان حذف سفکسیم با معادله ۲ محاسبه شد:

$$\%R = \frac{C0 - Ct}{C0} \times 100 \qquad (۲)$$

در معادله (۲) C0 و Ct به‌ترتیب غلظت اولیه و پایانی سفکسیم در محلول و برحسب میلی‌گرم است.

یافته‌ها

بعد از انجام آزمایش‌های طراحی‌شده با نرم‌افزار Design Expert، نتایج با کمک نمودارها و جداول تجزیه‌وتحلیل شد. بر اساس جدول ۳، تحلیل واریانس (ANOVA) معنی‌داری مدل را در حذف سفکسیم با پارامترهای مختلف (pH، غلظت نشاسته، غلظت اولیه سفکسیم و زمان ماند) نشان می‌دهد. P<۰/۰۰۰۱ معنی‌داری مدل را تأیید می‌کند. همچنین مقدار Prob>F کمتر از ۰/۰۵ نشان می‌دهد عبارت‌های مدل معنی‌دار است. F-value برای Lack of Fit در این مطالعه ۴/۲۹ بود. در این مطالعه عبارت‌های B (غلظت نشاسته)، B^2 (غلظت نشاسته)، C^2 (غلظت اولیه سفکسیم) و D^2 (زمان ماند) معنی‌دار بودند.

با توجه به جدول ۲، نسبت حداکثر به حداقل مقدار پاسخ، بزرگ‌تر از ۳ است؛ بنابراین، به‌منظور بهبود مدل و درنظرگرفتن مناسب‌ترین تابع انتقال توانی بر پاسخ، از آزمون باکس-کاکس استفاده شد. نمودار باکس-کاکس، توزیع داده‌ها را به توزیع نرمال نزدیک‌تر می‌کند. در این آزمون بهترین مقدار Lambda و constant K به‌ترتیب ۱ و ۰/۹۷ انتخاب شد. درنتیجه مدل بهبودیافته حذف سفکسیم با استفاده از نشاسته سیب‌زمینی به‌صورت معادله درجه دوم است که در معادله ۳ ارائه شده است.

$$(R+0.97)^{1}\ (\%)=+43.49-0.83*X_1+9.27*X_2+0.47*X_3+0.78*X_4-0.20*X_1*X_2-1.27*X_1*X_3-0.63*X_1*X_4-0.13*X_2*X_3-0.11*X_2*X_4-1.17*X_3*X_4-0.17*X_1^2-1.85*X_2^2-9.37*X_3^2+13.47*X_4^2 \qquad (۳)$$

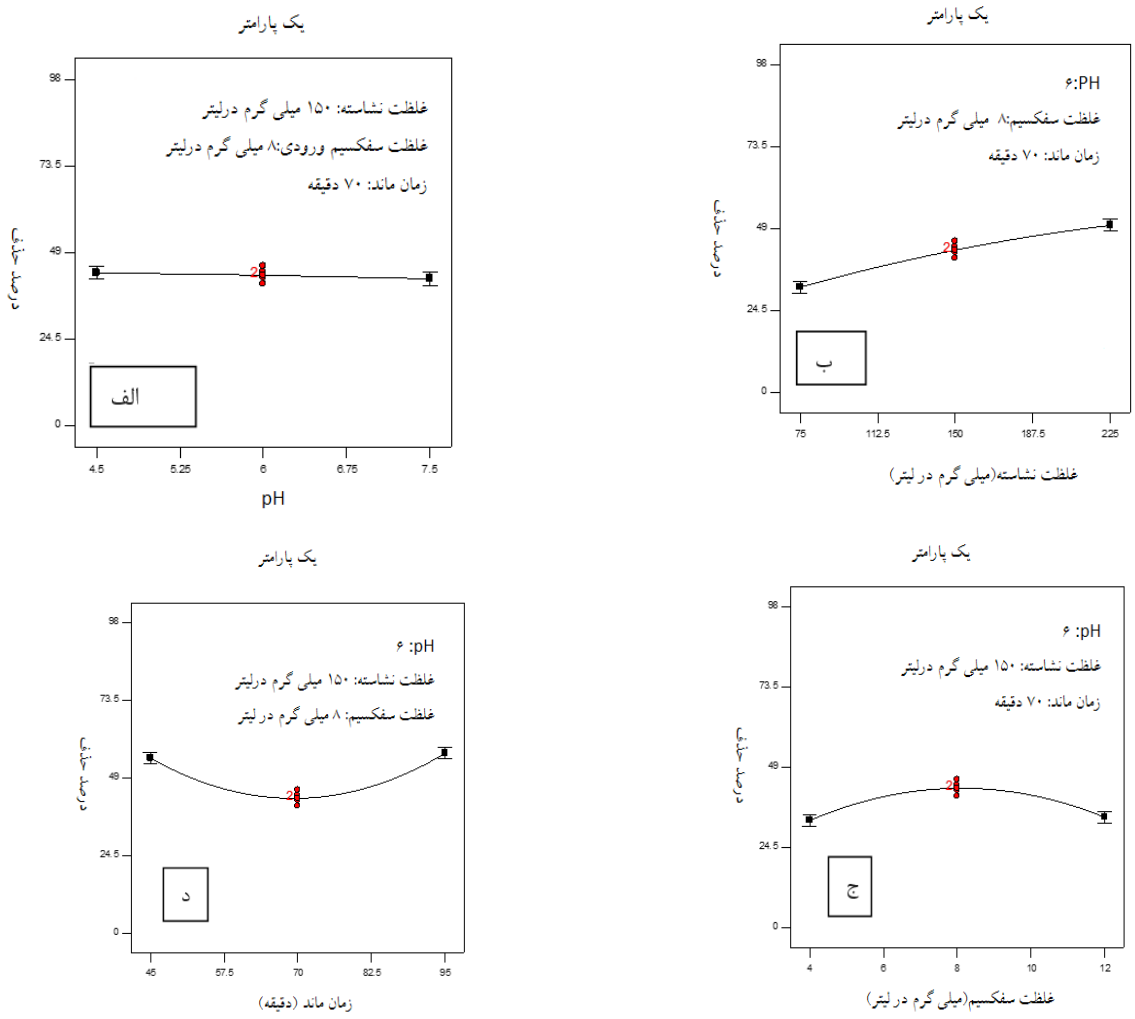
معادله ۳ تأثیر چهار متغیر مستقل مانند pH(X_1)، غلظت نشاسته (X_2)، غلظت اولیه سفکسیم (X_3) و زمان ماند (X_4) در حذف سفکسیم را نشان می‌دهد.

جدول ۳: تحلیل واریانس (ANOVA) برای حذف سفکسیم با نشاسته سیب‌زمینی

منبع	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob> F	
Model	۱۰۸۷۲/۱۰	۱۴	۷۷۶/۵۸	۸۶/۸۴	< ۰/۰۰۰۱	significant
A-pH	۱۶/۵۱	۱	۱۶/۵۱	۱/۸۵	۰/۱۹۴۳	
B-starch	۲۰۶۳/۰۹	۱	۲۰۶۳/۰۹	۲۳۰/۷۰	< ۰/۰۰۰۱	
C-concen	۵/۳۸	۱	۵/۳۸	۰/۶۰	۰/۴۵۰۰	
D-time	۱۴/۶۲	۱	۱۴/۶۲	۱/۶۳	۰/۲۲۰۵	
AB	۰/۶۷	۱	۰/۶۷	۰/۰۷	۰/۷۸۸۰	
AC	۲۵/۷۴	۱	۲۵/۷۴	۲/۸۸	۰/۱۱۰۴	
AD	۶/۲۸	۱	۶/۲۸	۰/۷۰	۰/۴۱۵۲	
BC	۰/۲۵	۱	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۸۶۹۰	
BD	۰/۱۸	۱	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۸۸۸۰	
CD	۲۱/۹۳	۱	۲۱/۹۳	۲/۴۵	۰/۱۳۸۲	
A^2	۰/۷۹	۱	۰/۷۹	۰/۰۹	۰/۷۷۰۴	
B^2	۹۳/۶۵	۱	۹۳/۶۵	۱۰/۴۷	۰/۰۰۵۵	
C^2	۲۴۰۹/۴۸	۱	۲۴۰۹/۴۸	۲۶۹/۴۳	< ۰/۰۰۰۱	
D^2	۴۹۸۰/۱۰	۱	۴۹۸۰/۱۰	۵۵۶/۸۸	< ۰/۰۰۰۱	
Residual	۱۳۴/۱۴	۱۵	۸/۹۴			
Lack of Fit	۱۲۰/۱۳	۱۰	۱۲/۰۱	۴/۲۹	۰/۰۶۰۹	not significant
Pure Error	۱۴/۰۱	۵	۲/۸۰			
Cor Total	۱۱۰۰۶/۲۴	۲۹				
R-Squared				۰/۹۸۷۸		
Adj R-Squared				۰/۹۷۶۴		
Pred R-Squared				۰/۹۳۵۳		
Adeq Precision				۴۴/۴۰۵		

نتایج به‌دست‌آمده برای تحلیل رگرسیون حذف سفکسیم در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر ضریب رگرسیون (R^2) و ضریب رگرسیون تصحیح‌شده (Adj. R^2) برای مدل درجه دوم پیش‌بینی‌شده، به‌ترتیب ۰/۹۸۷ و ۰/۹۷۶ است. ضریب رگرسیون پیش‌بینی‌شده توسط مدل R^2(Pred.) نیز ۰/۹۳۵ است که نشان‌دهنده‌ی آن است که مقادیر به‌دست‌آمده تجربی با مقدار پیش‌بینی‌شده مدل تطابق زیادی دارد. نسبت امواج به پارازیت در مدل درجه دوم پیش‌بینی‌شده ۴۴/۴ است که مقدار بزرگ‌تر از ۴ نشان‌دهنده‌ی دقت کافی مدل پیش‌بینی‌شده است.

در شکل ۲، اثر مجزای هریک از چهار متغیر در حذف سفکسیم نشان داده شده است. در شکل ۳ (الف)، نتایج اثر pH در حذف سفکسیم نشان داده شده است. مطابق نمودار ۲ (الف)، با



شکل ۲: منحنی تأثیر متغیرهای مستقل در میزان درصد حذف سفکسیم الف)pH، ب) غلظت نشاسته سیب‌زمینی، ج) غلظت اولیه سفکسیم و د) زمان ماند

کاهش pH کارایی حذف سفکسیم افزایش می‌یابد.

نمودار ۲ (ب) اثر غلظت نشاسته در حذف سفکسیم را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار با افزایش غلظت نشاسته میزان حذف افزایش یافته است.

نمودار ۲ (ج) نشان می‌دهد با افزایش غلظت سفکسیم تا ۸ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف افزایش و بعد کاهش می‌یابد.

شکل ۲ (د) تغییرات اثرات حذف سفکسیم در زمان ماندهای مختلف را نشان می‌دهد. در این مطالعه با افزایش زمان از ۲۰ تا ۷۰ دقیقه میزان حذف آلاینده کاهش و بعد از ۷۰ دقیقه دوباره کارایی حذف افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کاهش pH محلول باعث افزایش حذف سفکسیم می‌شود. با توجه به اینکه شارژ سطحی یون‌های سفکسیم به مقدار pH وابسته است و مقدار pKa سفکسیم برابر با ۳/۷۳ و ۲/۱ (وجود دو گروه کربوکسیل) است، در pH ۴/۵ عمدتاً سفکسیم به فرم یون‌های منفی است [۲۶]. در این مطالعه نیز

حذف سفکسیم در pHهای بیشتر از ۴/۵ کاهش می‌یابد؛ بنابراین، سطح ذرات نشاسته در pH ۴/۵ شارژ مثبت دارد. ازاین‌رو، طبق تعاملات الکترواستاتیک یون‌های بار منفی سفکسیم روی سطح مثبت نشاسته جذب می‌شوند. زهنگ و همکاران نیز دریافتند کارایی حذف تتراسایکلین با نانولوله‌های کربنی چنددیواره در محدوده pH ۴ تا ۶ کارایی زیاد و تقریباً ثابتی دارد و در مقادیر کمتر از ۴ و بیشتر از ۶ کاهش می‌یابد [۲۷]. احتمال می‌رود واکنش اصلی حذف سفکسیم فرایند جذب سطحی و از طریق تعاملات الکترواستاتیک بین‌یونی باشد.

میزان حذف آلاینده با افزایش غلظت جاذب افزایش یافته است (شکل ۲ ب). دلیل افزایش میزان حذف با افزایش دُز جاذب به دلیل افزایش مساحت سطح جاذب و سایت‌های بیشتر برای اتصال یون‌هاست [۲۸].

در مطالعه‌ای کارایی حذف سفکسیم با مقدار ۱/۵-۰/۱ گرم بر لیتر بیوجاذب ساکارومایسس سرویزیا بررسی شد و نتایج نشان داد با افزایش دُز جاذب تا ۰/۷۵ گرم بر لیتر کارایی حذف سفکسیم افزایش می‌یابد و پس از حذف چشمگیری مشاهده نشد [۲۹]. همچنین، نتایج مطالعه حاضر با مطالعات المولا و دولت‌آبادی همسو است [۳۰،۳۱].

همان‌طور که نمودار ۲ (ج) نشان می‌دهد افزایش غلظت سفکسیم تا ۸ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش کارایی حذف و در غلظت‌های بیشتر، کارایی کاهش می‌یابد؛ بنابراین، کاهش حذف سفکسیم را می‌توان این‌طور بیان کرد که با افزایش غلظت اولیه آلاینده میزان سایت‌های خالی و در دسترس جاذب کاهش و درنتیجه میزان حذف کاهش می‌یابد [۳۰].

در مطالعه فرزادکیا و همکاران در غلظت‌های ۰/۴۷-۰/۰۷۹ میلی‌مولار سولفودیازین، افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک باعث کاهش کارایی حذف شد. نتایج مشابهی نیز در مطالعه مصطفی‌لو و دولت‌آبادی به‌دست آمد [۹،۳۱،۳۲].

بر اساس شکل ۲ (د) با افزایش زمان از ۲۰ تا ۷۰ دقیقه، میزان حذف آلاینده کاهش و بعد از ۷۰ دقیقه دوباره کارایی حذف افزایش می‌یابد. کاهش حذف با افزایش زمان ماند به این دلیل است که با گذشت زمان جایگاه‌های فعال نشاسته اشباع می‌شود [۳۳]. در مطالعه مصطفی‌لو و همکاران میزان کارایی حذف در ۱۲۰-۱۰ دقیقه در غلظت اولیه ۵ میلی‌گرم بر لیتر سفکسیم بررسی شد [۳۴]. در این مطالعه نیز با افزایش زمان واکنش تا ۶۰ دقیقه کارایی حذف سریع افزایش یافت و پس‌ازآن روند کاهشی داشت.

در این مطالعه با قراردادن متغیرهای مستقل در محدوده طراحی و حداکثر راندمان حذف شرایط بهینه برای حذف سفکسیم با کمک نرم‌افزار Design Expert به‌دست آمد. بهترین شرایط بهره‌برداری با میزان حذف ۶۵/۵۷ درصد به‌صورت ذیل به‌دست آمد: pH در ۴/۵، ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر نشاسته، غلظت سفکسیم ۷/۹ میلی‌گرم در لیتر و ۹۵ دقیقه در زمان تماس. آزمایش‌ها در شرایط بهینه انجام شد و تطابق بسیار خوبی بین مقدار واقعی و پیش‌بینی‌شده وجود داشت.

با توجه به حذف مناسب سفکسیم با نشاسته، پیشنهاد می‌شود از فاضلاب صنایع غذایی که حاوی نشاسته هستند برای پیش‌تصفیه فاضلاب صنایع دارویی استفاده کرد. با این پیش‌تصفیه می‌توان هزینه‌های تصفیه و آلودگی محیط‌زیست را کاهش داد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه می‌توان به‌عنوان یک پیش‌تصفیه در شهرک‌های صنعتی از فاضلاب صنایع غذایی حاوی نشاسته سیب‌زمینی برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع دارویی استفاده کرد.

قدردانی

از دانشگاه علوم پزشکی قم که این مطالعه در آزمایشگاه دانشکده بهداشت آنجا انجام شد، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Ben Y, Fu C, Hu M, Liu L, Wong M, Zheng C. Human health risk assessment of antibiotic resistanceassociated with antibiotic residues in the environment: a review. Environ Res 2019; 169:483-93.
2. Álvarez-Torrellas S, Peres JA, Gil-Álvarez V, Ovejero G, García J. Effective adsorption of non-biodegradable pharmaceuticals from hospital wastewater with different carbon materials. Chem Eng J 2017; 320:319-29.
3. Kumar A, Pal D. Antibiotic resistance and wastewater: correlation, impact and critical human health challenges. J Environ Chem Eng 2018; 6(1):52-8.
4. Mackuľak T, Mosný M, Grabic R, Golovko O, Koba O, Birošová L. Fenton-like reaction: a possible way to efficiently remove illicit drugs and pharmaceuticals from wastewater. Environ Toxicol Pharmacol 2015; 39(2):483-8.
5. Asadi Z, Ahmadi S. Investigation of the efficiency of coagulation process for ciprofloxacin antibiotic removal from aqueous solution. J Health Res Community 2019; 5(1):38-48.
6. Karthikeyan KG, Meyer MT. Occurrence of antibiotics in wastewater treatment facilities in Wisconsin, USA. Sci Total Environ 2006; 361(1-3):196-207.
7. Ghafouri Safa S, Mirzaali A, Ghorbanpour R, Kamali H, Gholizadeh A. Performance evaluation of wastewater treatment facilities in selected hospitals of North Khorasan in 2012-2013. J North Khorasan Univ Med Sci 2014; 6(2):371-9 (Persian).
8. Bai SW, Zhang JS, Wang Z. A methodology for evaluating cleaner production in the stone processing industry: case study of a Shandong stone processing firm. J Cleaner Prod 2015; 102:461-76.
9. Mostafaloo R, Mahmoudian MH, Asadi-Ghallhari M. BiFeO-3/Magnetic nanocomposites for the photocatalytic degradation of cefixime from aqueous solutions under visible light. J Photochem Photobiol A Chem 2019; 382:111926.
10. Khan MN, Qayum A, Rehman UU, Guulab H, Idrees M. Spectrophotometric method for quantitative determination of cefixime in buik and pharmaceutical preparation using ferroin complex. J Appl Spectrosc 2015; 82(4):705-11.
11. Maheshwari M, Memon A, Memon S, Mughal UU, Dayo A, Memon N, et al. Optimization of HPLC method for determination of cefixime using 2-thiophenecarboxaldehyde as derivatizing reagent: a new approach. Saudi Pharm J 2015; 23(4):444-52.
12. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment. Ecol Indicat 2008; 8(1):1-13.
13. Belghadr I, Shams Khorramabadi G, Godinib H, Almasian M. The removal of the cefixime antibiotic from aqueous solution using an advanced oxidation process (UV/H2O2). Desalinat Water Treat 2014; 55(4):1068-75.
14. Feng L, van Hullebusch ED, Rodrigo MA, Esposito G, Oturan M. Removal of residual anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals from aqueous systems by electrochemical advanced oxidation processes. a review. Chem Eng J 2013; 228:944-64.
15. Mostafaloo R, Asadi-Ghalhari M. Modeling and optimization of the electrochemical process for cefixime removal from water. Analyt Bioanalyt Electrochem 2020; 12(1):36-47.
16. Bailon-perez M, Garcia-campana A, Cruces-blanco C, Olmo-iruela M. Trance determination of beta-lactam antibiotics in environmental aqueous samples using off-line and on-line preconcentration in capillary. J Chromatogr 2008; 1185(2):237-80.
17. Gao Y, Li Y, Zhang L, Huang H, Hu J, Shah SM, et al. Adsorption and removal of tetracycline antibiotics from aqueous solution by graphene oxide. J Colloid Interface Sci 2012; 368(1):540-6.
18. Ji L, Chen W, Zheng S, Xu Z, Zhu D. Adsorption of sulfonamide antibiotics to multiwalled carbon nanotubes. Langmuir 2009; 25(19):11608-13.
19. Chen WR, Huang CH. Adsorption and transformation of tetracycline antibiotics with aluminum oxide. Chemosphere 2010; 79(8):779-85.
20. Rajabian M, Bonyadian M, Abbasvali M, Khanjari A. Effects of potato starch edible coating containing ziziphora clinopodioides and thymus daenensis essential oils on chemical organoleptic properties of chicken breast. J Vet Res 2019; 74(4):450-63.
21. Bai W, Hebraud P, Ashokkumar M, Hemar Y. Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. Ultrason Sonochem 2017; 35(Pt B):547-55.
22. Devereux S, Shuttleworth PS, Macquarrie DJ, Paradisi F. Isolation and characterization of recovered starch from industrial wastewater. J Polymers Environ 2011; 19(4):971-9.
23. Biliaderis C. Structural transitions and related

physical properties of starch. Starch 2009; 3:293-372.
24. Choy SY, Prasad KM, Wu TY, Raghunandan ME, Ramanan RN. Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. Ecol Eng 2016; 94:352-64.
25. Esmaeili Bidhendi M, Poursorkh Z, Sereshti H, Rashidi Nodeh H, Rezania S, Afzal Kamboh M. Nano-size biomass derived from pomegranate peel for enhanced removal of cefixime antibiotic from aqueous media: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study. Int J Environ Res Public Health 2020; 17(12):4223.
26. Anacona JR, Estacio J. Synthesis and antibacterial activity of cefixime metal complexes. Transit Metal Chem 2006; 31(2):227-31.
27. Zhang L, Song X, Liu X, Yang L, Pan F, Lv J. Studies on the removal of tetracycline by multi-walled carbon nanotubes. Chem Eng J 2011; 178:26-33.
28. Roy P, Dey U, Chattoraj S, Mukhopadhyay D, Mondal NK. Modeling of the adsorptive removal of arsenic (III) using plant biomass: a bioremedial approach. Appl Water Sci 2017; 7(3):1307-21.
29. Samarghandi MR, Asgari G, Shokoohi R, Dargahi A, Arabkouhsar A. Removing amoxicillin antibiotic from aqueous solutions by Saccharomyces cerevisiae bioadsorbent: kinetic, thermodynamic and isotherm studies. Desalinat Water Treat 2019; 152:306-15.
30. Elmolla ES, Chaudhuri M. Photocatalytic degradation of amoxicillin, ampicillin and cloxacillin antibiotics in aqueous solution using UV/TiO2 and UV/H2O2/TiO2 photocatalysis. Desalination 2010; 252(1-3):46-52.
31. Yoosefian M, Ahmadzadeh S, Aghasi M, Dolatabadi M. Optimization of electrocoagulation process for efficient removal of ciprofloxacin antibiotic using iron electrode; kinetic and isotherm studies of adsorption. J Mol Liquids 2017; 225:544-53.
32. Dehghani S, Jonidi Jafari A, Farzadkia M, Gholami M. Investigation of the efficiency of Fenton's advanced oxidation process in sulfadiazine antibiotic removal from aqueous solutions. J Arak Univ Med Sci 2012; 15(7):19-29 (Persian).
33. Roy P, Mondal N, Das K. Modeling of the adsorptive removal of arsenic: a statistical approach. J Environ Chem Eng 2014; 2(1):585-97.
34. Mostafaloo R, Yari A, Mohammadi MJ, Khaniabadi YO, Asadi-Ghalhari M. Optimization of the electrocoagulation process on the effectiveness the removal of Cefixime antibiotic from aqueous solutions. Desalin Water Treat 2019; 144:138-44.