

بهبود سازی فرآیند کاهش آنتی بیوتیک از پساب بیمارستان با استفاده از راکتور UASB

امیر علی عمادی خیاو^۱، رویا مافی غلامی^{۲*}، اصغر داود^۳، امیرحسین محوی^۴، لیدا سلیمی^۵
۱ دانشجوی مقطع دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست، گرایش آب و فاضلاب، دانشکده هنر، معماری، عمران و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران غرب.

A_a_emadii@yahoo.com

۲ دانشیار گروه محیط زیست آب و فاضلاب، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

r.mafigholami@wtiau.ac.ir

۳ گروه شیمی دارویی، واحد علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Adavood2001@yahoo.com

۴ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

ahmavi@yahoo.com

۵ گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی (تهران شمال)

L_salimi@IAU-TNB.AC.IR

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

چکیده

ورود آنتی بیوتیک‌ها به سیستم رودخانه بدون توجه به تصفیه مناسب، زمینه افزایش مقاومت باکتریایی، ژئوتوکسیسیتی و اختلالات ژنتیکی را جامعه به دنبال دارد از این رو اجرای تصفیه‌ای کارآمد در مراکز درمانی اهمیت بالایی دارد. در این پژوهش راه‌اندازی راکتور لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا یا UASB به منظور حذف آنتی‌بیوتیک از فاضلاب بیمارستانی مورد بررسی قرار گرفته است. پکیج تصفیه فاضلاب UASB یکی از سیستم‌های تصفیه فاضلاب می‌باشد که بر پایه استفاده از میکروارگانیسم‌ها در شرایط بی‌هوازی برای حذف آلاینده‌های آلی موجود در فاضلاب طراحی شده است. راه‌اندازی راکتور با استفاده از لجن فعال بیمارستان انجام شد. به منظور راه‌اندازی راکتور، لجن به مدت ۴۸

ساعت سازگاری داده شد. در این مطالعه تاثیر تغییرات pH (محدوده‌ی بین ۴ تا ۸)، درجه حرارت (۲۵-۴۰) درجه سانتی گراد، زمان ماند هیدرولیکی (۴ تا ۸ ساعت)، زمان ماند سلولی (محدوده‌ی بین ۲۰ تا ۴۰ روز) بر روی درصد حذف COD، BOD و حذف آنتی بیوتیک‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. میزان تزریق آنتی بیوتیک‌ها آزیترومایسین ۵/۲ میلی گرم بر لیتر و سفتریاکسون ۶/۷ میلی گرم بر لیتر بود. شرایط بهینه فعالیت راکتور در شرایط ۶ ساعت زمان ماند هیدرولیکی، pH ۶، زمان ماند سلولی ۳۰ روز و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بود که در این شرایط راندمان حذف COD ۸۱/۵۸ درصد، BOD ۸۳/۱۲ درصد، درصد حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین ۸۶/۳۵ درصد و درصد حذف آنتی بیوتیک سفتریاکسون ۸۷۴/۵۲ درصد بود. بحث و نتیجه گیری: کارایی موفق سیستم در کاهش بار آنتی بیوتیکی فاضلاب و عدم دفع لجن، این سیستم را به سیستمی پاک برای محیط زیست تبدیل کرده است.

کلمات کلیدی: آنتی بیوتیک، تصفیه بی هوازی، راکتور لجن بی هوازی جریان رو به بالا، فاضلاب بیمارستانی.

Optimization of antibiotic reduction process from hospital wastewater using UASB reactor

Amir Ali Emadi Khiav¹, Roya MafiGholami^{2*}, Asghar Daoud³, Amir Hossein Mahvi⁴, Lida Salimi⁵

¹ PhD student in Environmental Engineering, Water and Sewerage, Faculty of Art, Architecture, Civil Engineering and Environment, Islamic Azad University, Tehran West Branch.

² Associate Professor, Department of Water and Wastewater Environment, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Department of Medicinal Chemistry, TeMS.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴ Department of Environmental Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences

⁵ Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University (North Tehran)

Received: 20/01/2025

Revised: 06/04/2025

Accepted: 23/04/2025

Abstract

The introduction of antibiotics into the river system regardless of proper treatment leads to the increase of bacterial resistance, genotoxicity and genetic disorders in the society, hence the implementation of efficient treatment in medical centers is very important. In this study, the establishment of an upward flow anaerobic sludge reactor or UASB was investigated in order to remove antibiotics from hospital wastewater. The reactor was started using activated sludge from the hospital. In order to start the reactor, the sludge was soaked for 48 hours. The amount of antibiotics injected was azithromycin 5.2 mg/liter and ceftriaxone 6.7 mg/liter. The optimal conditions of reactor activity were 6 hours of hydraulic retention time, pH 6, cell retention time of 30 days and temperature of 25 degrees Celsius, in which COD removal efficiency was 81.58%, BOD 83.12%, the removal percentage of

azithromycin antibiotic 86.35 % and the removal percentage of ceftriaxone antibiotic 874/52 %. The successful efficiency of the system in reducing the antibiotic load of wastewater and the lack of sludge removal from this system has turned this system into a clean system for the environment.

Key words: Antibiotic, Anaerobic Treatment, Anaerobic Sludge Reactor up Flow, Hospital Wastewater.

۱-مقدمه

حدود ۳۰ تا ۹۰ درصد آنتی‌بیوتیک‌ها که به عنوان دارو برای درمان عفونت‌های میکروبی و ویروسی استفاده می‌شود، به شکل تجزیه نشده و به شکل فعال از بدن انسانی و حیوان دفع و در نهایت وارد رودخانه‌ها می‌شوند. ورود چنین موادی به سیستم رودخانه بدون توجه به تصفیه مناسب، زمینه افزایش مقاومت باکتریایی، ژئوتوکسیسیتی و اختلالات ژنتیکی می‌شود (Ghafoori et al., 2022). با این حال، استفاده جهانی از آنتی‌بیوتیک‌ها به دلیل مصرف انسانی و مصرف در بخش‌های تجاری به طور پیوسته افزایش یافته است (Van Boeckel et al., 2015).

برای مثال، مصرف آنتی‌بیوتیک در پرورش حیوانات اهلی به بیش از ۲۳ درصد در ۲۰۱۰ و به بیش از ۶۷ درصد در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید (Zhang et al., 2021). هر چند میزان ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط‌های آبی در مقادیر نانوگرم تا میکروگرم در لیتر است اما به دلیل اثرات تجمعی به شکل محسوس برای اکوسیستم آبی خطرناک هستند (Sobhanardakani and Zandipak, 2016). برای تصفیه فاضلاب بیمارستانی، استفاده از فرآیندهای بیولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرآیندی مقرون به صرفه تر نسبت به فرآیندهای شیمیایی است زیرا بدون استفاده از مواد شیمیایی و با استفاده از میکروارگانیسم‌های موجود در خود فاضلاب تصفیه انجام می‌گیرد ولی از آنجایی که در فاضلاب‌های بیمارستانی حاوی غلظت‌های مختلف از مواد آلی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات شیمیایی آزمایشگاهی و پاتوژنی هستند، مواد سمی و بازدارنده رشد تلقی می‌شوند و همچنین حضور ترکیبات آلی انسان ساخت که تخریب بیولوژیکی کمی دارند، عملاً استفاده از فرآیندهای بیولوژیکی بشه صورت منفرد دارای کارایی پایین می‌باشد (Custodio et al. 2022). امروزه از روش‌های نوین بیولوژیکی مانند USAB، SBR، MBBR و غیره نیز به جای روش‌های متداول تصفیه بیولوژیکی مانند لجن فعال استفاده می‌شود. یکی از پیشرفت‌های قابل توجه در تکنولوژی تصفیه بی‌هوازی راکتور USAB است که در این فرآیند، فاضلاب از انتهای راکتور وارد شده و از میان واحد روکش لجن به سمت بالا جریان پیدا می‌کند. از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعه‌ی Tang و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی تصفیه فاضلاب بیمارستانی حاوی ترکیبات β -blockers با فرآیند UASB (Tang et al., 2020)، و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی عملکرد یک راکتور پتولجن بی‌هوازی برای تصفیه فاضلاب بیمارستان‌ها (Custodio et al., 2022) و نیز رحمانی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ی تصفیه فاضلاب آشپزخانه با روش بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB) اشاره کرد. ظرفیت نگهداری زیست توده بالا، امکان استفاده از فاضلاب‌هایی با بار COD بسیار بالاتر را در مقایسه در با سایر فرآیندهای بی‌هوازی، عدم نیاز به هوادهی، تولید بسیار کم لجن، مصرف بسیار کم انرژی و تولید بیوگاز را ممکن می‌سازد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Zhang et al., 2021). سایر مزایای این راکتور سرمایه گذاری

پایین، نیاز کم به زمین و انرژی، کاهش تولید لجن و امکان تولید بیوگاز و ظرفیت نگهداری زیست توده بالا است (Esparza-Soto et al., 2013). با توجه به مزایای این راکتورها، هدف از مطالعه‌ی حاضر بهینه سازی فرآیند کاهش آنتی بیوتیک از پساب بیمارستان با استفاده از راکتور UASB در نظر گرفته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ساخت و راه‌اندازی راکتور بیولوژیکی UASB

راکتور از جنس پلی اتیلن تری فتالات (PET) مدور با حجم ۱۰ لیتری و طول و عرض ۳۰×۲۰×۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع مفید ۸۳ سانتی‌متر) ساخت شد. توزیع جریان با استفاده از چهار شیر نمونه‌برداری در ارتفاعات مختلف از کف راکتور تأمین شد (شکل ۱). با توجه به تصویر شماتیک ۱، راکتور با یک منبع ۱۰۰ لیتری پلی اتیلنی تغذیه و از پمپ پیستونی جهت تزریق فاضلاب استفاده شد. به منظور راه‌اندازی راکتور از لجن خط برگشتی تصفیه خانه بیمارستان با 748 MLSS^2 میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد. این لجن پیش از ورود، آشغال‌گیری و دانه‌گیری شده بود. میزان اکسیژن محلول ورودی به راکتور که با استفاده از دستگاه اکسیژن متر WTW سنجش گردید. به منظور تطبیق باکتری-های فاضلاب لجن با شرایط راکتور، زمان ماند ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد که در این مدت میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تغذیه از فاضلاب نبود و در نتیجه رشد کافی ندارند از سیستم حذف و میکروارگانیسم‌هایی با توانایی تغذیه از فاضلاب را دارند تکثیر می‌شوند (Tawfik et al., 2008). سایر ویژگی‌های فاضلاب دریافتی در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بیمارستان مورد استفاده در راکتور UASB

DO	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	غلظت سفتریاکسون (mg/L)	غلظت آزیترومایسین (mg/L)	pH
۰/۹۸	۱۴۲	۲۲۰	۴/۷	۵/۲	۶



شکل ۱- شماتیکی از راکتور UASB مورد استفاده در این مطالعه

به منظور مدل‌بندی و بهینه‌سازی، داده‌ها از نرم افزار Design Expert 7 و با استفاده از طرح مرکب مرکزی سطح پاسخ انجام شد. مقادیر و محدوده‌های پیش فرض متغیرهای مستقل و مقادیر واقعی در جدول ۲ نشان داده شده است. در این مطالعه تاثیر تغییرات pH (محدوده‌ی بین ۴ تا ۸)، درجه حرارت (۲۵-۴۰ درجه سانتی گراد)، زمان ماند هیدرولیکی (۴ تا ۸ ساعت)، زمان ماند سلولی (۲۰ تا ۴۰ روز) بر روی درصد حذف COD، BOD و حذف آنتی بیوتیک‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

جدول ۲- مقادیر محدوده‌های متغیرهای مستقل، مقادیر کشنده و مقادیر واقعی آنها در راکتور UASB

فتوکاتالیستی

Std.Dev	میانگین	Coded Low	Coded High	حداکثر	حداقل	نوع	واحد	اسم	فاکتور
۱/۵۸	۶/۰۰	۸ → ۱+	۴ → ۱+	۸/۰۰	۴/۰۰	Numeric	Hours	HRT	A
۷/۸۸	۳۰/۰۰	۴۰ → ۱+	۴۰ → ۱+	۴۰/۰۰	۲۰/۰۰	Numeric	Day	SRT	B
۱/۵۸	۶/۰۰	۸ → ۱+	۸ → ۱+	۸/۰۰	۴/۰۰	Numeric		PH	C
۵/۹۱	۳۲/۵۰	۴۰ → ۱+	۴۰ → ۱+	۴۰/۰۰	۲۵/۰۰	Numeric	C	Temperature	D

به منظور تنظیم pH محلول از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده گردید. COD مطابق دستورالعمل ۵۲۲۰ به روش رفلکس بسته و ویال و میزان BOD مطابق دستورالعمل B-۵۲۱۰ با استفاده از دستگاه OxiTop Is 6 سنجش شدند (A.P.H, 19626). حذف دارو در طول موج ۲۲۸ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Cecil 7250) و با استفاده از معادله ۱ سنجش شد. آزمایش‌ها برای هر متغیر با سه بار تکرار و گرفتن میانگین از این سه تکرار انجام گرفت.

معادله ۱

$$R\% = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0}$$

در معادله ۱، R بیانگر نرخ حذف آنتی بیوتیک، C_0 نشان دهنده غلظت اولیه آنتی بیوتیک (mg/L) و C_e غلظت نهایی آنتی بیوتیک (mg/L) است. با توجه به جدول ۳، در مجموع ۳۰ آزمایش برای سنجش توانایی راکتور UASB فتوکاتالیستی در کاهش غلظت آنتی بیوتیک‌های پساب بیمارستان توسط نرم افزار سطح پاسخ طراحی شد که تعدادی از آنها در جدول ۳، نشان داده شده است.

جدول ۳- تعداد آزمایشات براساس محدوده‌های تعریف شده در جدول ۱

شماره آزمایش	pH	(h) HRT	SRT (Day)	درجه سانتی گراد
۱	۸	۸	۴۰	۲۵
۲	۸	۴	۴۰	۲۵
۳	۸	۴	۲۰	۴۰
۴	۴	۴	۲۰	۲۵
۵	۴	۸	۲۰	۴۰
۶	۴	۸	۴۰	۴۰
۷	۴	۴	۲۰	۴۰
۸	۶	۶	۳۰	۳۲/۵
۹	۶	۶	۴۰	۳۲/۵
۱۰	۴	۸	۲۰	۲۵
۱۱	۶	۶	۳۰	۳۲/۵
۱۲	۶	۴	۳۰	۳۲/۵
۱۳	۴	۶	۳۰	۳۲/۵
۱۴	۶	۶	۳۰	۳۲/۵
۱۵	۸	۶	۳۰	۳۲/۵
۱۶	۶	۶	۳۰	۳۲/۵
۱۷	۶	۶	۲۰	۳۲/۵
۱۸	۴	۸	۴۰	۲۵
۱۹	۶	۶	۳۰	۲۵
۲۰	۸	۴	۲۰	۲۵
۲۱	۶	۸	۳۰	۳۲/۵
۲۲	۴	۴	۴۰	۴۰
۲۳	۸	۸	۲۰	۲۵
۲۴	۸	۸	۲۰	۴۰
۲۵	۸	۴	۴۰	۴۰

۳۲/۵	۳۰	۶	۶	۲۶
۲۵	۴۰	۴	۴	۲۷
۴۰	۳۰	۶	۶	۲۸
۴۰	۴۰	۸	۸	۲۹
۳۲/۵	۳۰	۶	۶	۳۰

۳-نتایج

۳-۱- بررسی تغییرات درصد حذف COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB

ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ COD در جدول ۴ نشان داده شده است. درجه‌ی مدل با توجه به بهترین مدل برازش شده در هر مرحله و مرحله نهایی مشخص شد. با توجه به خروجی نرم افزار، پارامترهای pH و دما تاثیر معنی‌داری بر روی تغییرات COD در راکتور داشت ($p < 0.05$). با توجه به میزان F-value دما بیشترین تاثیر را بر روی روند COD داشت. مدل درجه دوم مطابق معادله شماره ۲، رابطه‌ی بین متغیرهای مورد بررسی و درصد حذف COD را توصیف می‌کند.

$$Y_{COD} = 90.412 + 8.33C + 0.79D - 0.604C^2 \quad \text{معادله ۲}$$

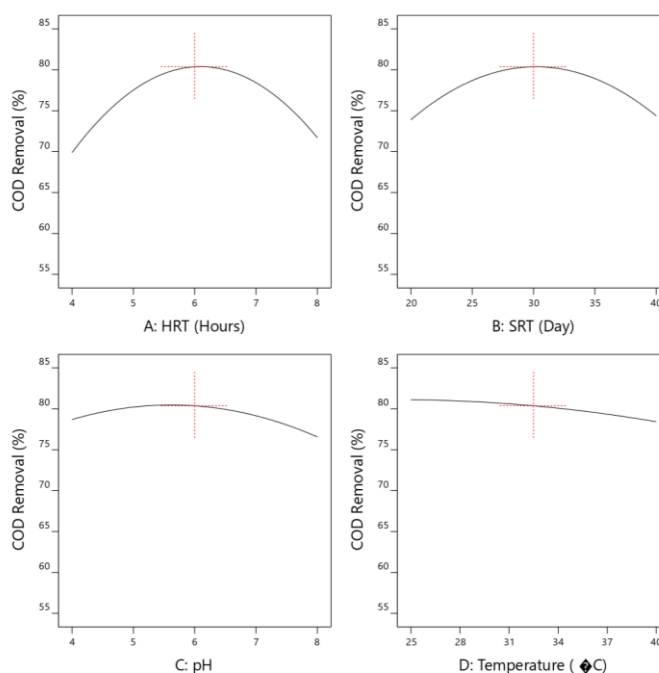
که در آن Y_{COD} درصد حذف COD، C^2 ، D ، C متغیرهای کدبندی شده براساس جدول ۴ و اثرات بر هم کنشی و درجه دوم این متغیرها است. ضریب تعیین برای پیش بینی درصد حذف COD، $R^2 = 0.92$ و ضریب تعیین تعدیل شده 0.87 ، $adjusted R^2 =$ نیز قابل قبول و با ضریب تعیین هم‌خوانی داشت.

جدول ۴- ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ COD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Source
Significant	۲۲۰۸/۹۶	۱۴	۱۵۷/۷۸	۶۲/۲۰	<0.0001	Model
Not Significant	۱۱/۳۶	۱	۱۱/۳۶	۴/۴۸	0.0515	A-HRT
Not Significant	۲/۲۳	۱	۲/۲۳	0.8780	0.3636	B-SRT
Significant	۱۶/۲۳	۱	۱۶۹/۲۳	۶/۴۰	0.0231	C-pH
Significant	۳۲/۳۵	۱	۳۲/۳۵	۱۲/۷۵	0.0028	D- Temperature
Not Significant	0.0298	۱	0.0298	0.0117	0.9151	AB
Not Significant	۱۸/۲۶	۱	۱۸/۲۶	۷/۲۰	0.0170	AC
Not Significant	۲۴/۶۸	۱	۲۴/۶۸	۹/۷۳	0.0070	AD
Not Significant	0.0314	۱	0.0314	0.0124	0.9129	BC
Not Significant	0.0033	۱	0.0033	0.0013	0.9716	BD
Not Significant	0.0027	۱	0.0027	0.0011	0.9743	CD
Not Significant	۲۲۱/۷۷	۱	۲۲۱/۷۷	۸۷/۴۳	<0.0001	A2

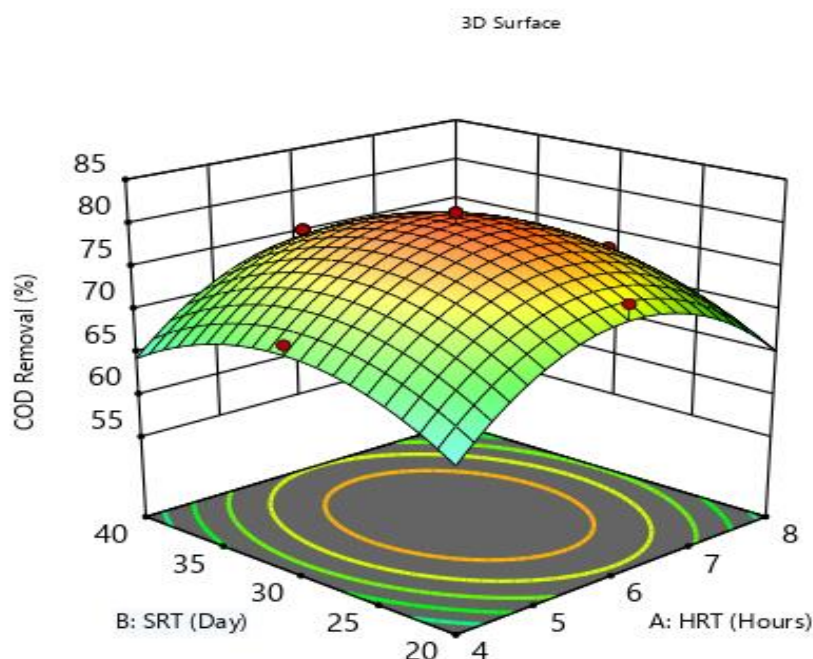
Not Significant	۹۰/۳۷	۱	۹۰/۳۷	۳۵/۶۳	<۰/۰۰۰۱	B2
Significant	۱۵/۱۳	۱	۱۵/۱۳	۵/۹۷	۰/۰۲۷۴	C2
Not Significant	۴/۲۲	۱	۴/۲۲	۱/۶۷	۰/۲۱۶۵	D2
	۳۸/۰۵	۱۵	۲/۵۴			Residual
Not Significant	۲۷/۰۴	۱۰	۲/۷۰	۱/۲۳	۰/۴۳۴۱	Lack of fit
	۱۱/۰۱	۵	۲/۲۰			Pure Error
	۲۲۴۷/۰۱	۲۹				Cor Total

در شکل ۱، تغییرات COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد هر متغیر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱، افزایش pH تا محدوده‌ی ۶ سبب افزایش میزان حذف COD و سپس با افزایش pH میزان حذف COD کاهش یافت. با افزایش زمان ماند هیدرولیکی تا ۶ ساعت، زمان ماند سلولی تا روز ۳۰ سبب افزایش حذف COD شد، سپس روندی کاهشی داشت. در خصوص درجه حرارت، با افزایش درجه حرارت از ۲۵ درجه سانتی‌گراد میزان حذف COD کاهش یافت ($P < ۰/۰۵$).



شکل ۱- تغییرات درصد حذف COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد A- زمان ماند هیدرولیکی، B- زمان ماند سلولی، C- pH، D- درجه حرارت

نمودارهای سطح پاسخ برای حذف COD و تاثیر متغیرها بر روی این پارامتر در شکل ۲، نشان داده شده است. هر منحنی ترکیبی از دو متغیر آزمایش را در حالتی که متغیرهای دیگر در سطح صفر هستند را نشان می‌دهد. خروجی طرح مرکب مرکزی شرایط بهینه حداکثر درصد حذف COD با ۸۱/۵۸ درصد به صورت زیر است. pH محدوده‌ی ۶، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت، زمان ماند سلولی ۳۰ روز، دما ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد.



شکل ۲- نمودار سه بعدی کاهش درصد COD به عنوان تابعی از برهم کنش زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند سلولی، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

۲-۳- بررسی تغییرات BOD فاضلاب خروجی از سیستم UASB

ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ BOD در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به خروجی نرم افزار، زمان ماند هیدرولیکی، pH و دما با p-value ۰/۰۴۸۱، ۰/۰۲۰۷، ۰/۰۰۲۶ تاثیر معنی دار ($p < ۰/۰۵$) و پارامتر زمان ماند سلولی تاثیر غیر معنی داری بر روی تغییرات BOD داشت ($p > ۰/۰۵$). با توجه به میزان F-value دما بیشترین تاثیر را بر روی روند BOD داشتند. مدل درجه دوم مطابق معادله شماره ۳، رابطه‌ی بین متغیرهای مورد بررسی و درصد حذف BOD را توصیف می‌کند.

$$Y_{BOD} = 88.80 - 27.12A + 8.39C + 0.77D - 0.26AC - 2.31A^2 - 0.059B^2 + 0.66C^2 \quad \text{معادله ۳}$$

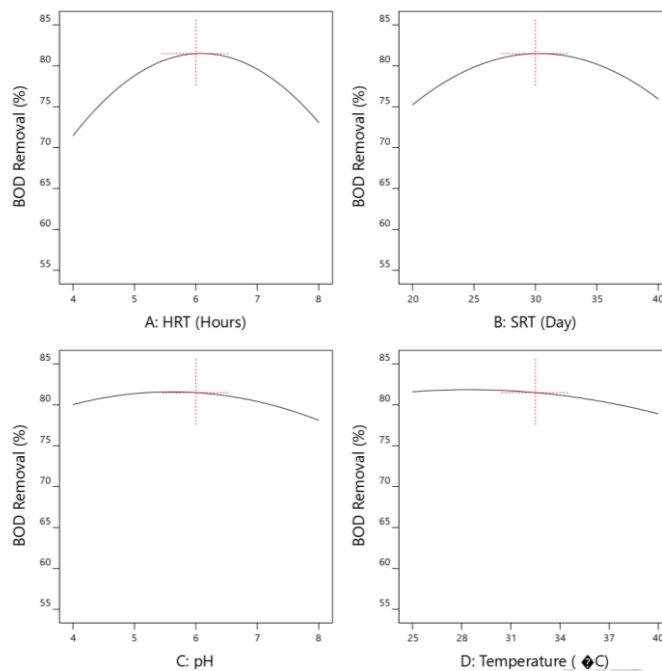
که در آن Y_{BOD} درصد حذف BOD، A، C، AC، AD، A^2 ، B^2 و C^2 متغیرهای کدبندی شده براساس جدول ۵ است. ضریب تعیین برای پیش بینی درصد حذف BOD، $R^2 = ۰/۸۲$ و ضریب تعیین تعدیل شده $\text{adjusted } R^2 = ۰/۸۹$ نیز قابل قبول و با ضریب تعیین هم‌خوانی داشت.

جدول ۵- ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ BOD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Source
Significant	۲۲۰۳/۲۹	۱۴	۱۵۷/۳۸	۶۳/۳۱	<۰/۰۰۰۱	Model
Significant	۱۱/۵۲	۱	۱۱/۵۲	۴/۶۳	۰/۰۴۸۱	A-HRT

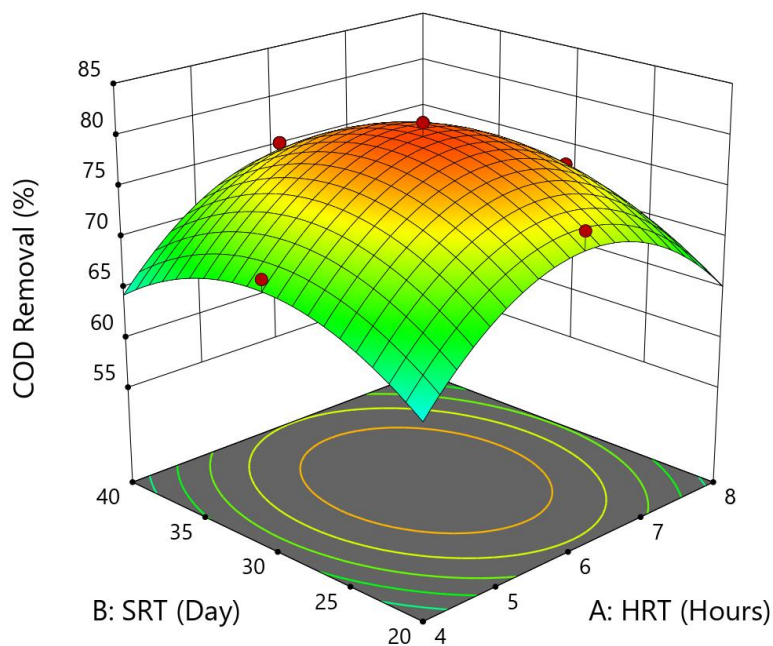
Not Significant	۲/۳۷	۱	۲/۳۷	۰/۹۵۵۱	۰/۳۴۳۹	B-SRT
Significant	۱۶/۶۱	۱	۱۶/۶۱	۶/۶۸	۰/۰۲۰۷	C- pH
Significant	۳۲/۲۹	۱	۳۲/۲۹	۱۲/۹۹	۰/۰۰۲۶	D-Temperature
Not Significant	۰/۰۲۲۳	۱	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۹۰	۰/۹۲۵۸	AB
Significant	۱۸/۶۶	۱	۱۸/۶۹۶	۷/۵۱	۰/۰۰۱۵	AC
Significant	۲۴/۳۰	۱	۲۴/۳۰	۹/۷۷	۰/۰۰۶۶۹	AD
Not Significant	۰/۰۲۲۶	۱	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۹۱	۰/۹۲۵۳	BC
Not Significant	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹۴۶	BD
Not Significant	۰/۰۰۳۶	۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۱۵	۰/۹۷۰۰	CD
Significant	۲۲۱/۲۱	۱	۲۲۱/۲۱	۸۸/۹۹	<۰/۰۰۰۱	A ²
Significant	۹۰/۵۰	۱	۹۰/۵۰	۳۶/۴۱	<۰/۰۰۰۱	B ²
Significant	۱۵/۲۵	۱	۱۵/۲۵	۶/۱۳	۰/۰۲۵۷	C ²
Not Significant	۴/۰۲	۱	۴/۰۲	۱/۶۲	۰/۲۲۳۱	D ²
	۳۷/۲۹	۱۵	۲/۴۹			Residual
Not Significant	۲۶/۵۶	۱۰	۲/۶۶	۱/۲۴	۰/۴۳۰۲	Lack of fit
	۱۰/۷۲	۵	۲/۱۴			Pure Error
	۲۲۴۰/۵۷	۲۹				Cor Total

در شکل ۳، تغییرات BOD فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد هر متغیر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳، افزایش pH تا محدوده‌ی ۶ افزایش درصد حذف BOD و سپس با افزایش pH درصد حذف BOD کاهش یافت. با افزایش زمان ماند هیدرولیکی تا ۶ ساعت و زمان ماند سلولی تا ۳۰ روز درصد حذف BOD افزایش و با افزایش دما تا بیش از ۳۳ درجه سانتی گراد درصد حذف BOD کاهش یافت ($P < 0.05$).



شکل ۳- تغییرات BOD فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد زمان ماند هیدرولیکی، SRT، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

نمودار سطح پاسخ برای حذف BOD و تاثیر متغیرها بر روی این پارامتر در شکل ۴، نشان داده شده است. خروجی طرح مرکب مرکزی شرایط بهینه حداکثر درصد حذف BOD با ۸۳/۱۲ درصد به صورت زیر است. pH محدوده‌ی ۶، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت، زمان ماند سلولی ۳۰ روز، دما ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد.



شکل ۴- نمودار سه بعدی کاهش درصد BOD به عنوان تابعی از برهم کنش زمان ماند هیدرولیکی، SRT، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

۳-۳- بررسی تغییرات میزان آنتی بیوتیک فاضلاب خروجی از سیستم UASB

۳-۳-۱- بررسی تغییرات میزان آنتی بیوتیک ازیترومایسین فاضلاب خروجی از سیستم UASB
تغییرات میزان آنتی بیوتیک فاضلاب خروجی از سیستم UASB با توجه به نتایج آنالیز واریانس در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به خروجی نرم افزار، فقط دما تاثیر معنی داری بر روی تغییرات میزان آنتی بیوتیک داشت ($p < 0.05$). مدل درجه دوم مطابق معادله شماره ۴، رابطه‌ی بین متغیرهای مورد بررسی و درصد حذف آنتی بیوتیک‌ها را توصیف می‌کند.

$$Removal\ Azitromicina = 84.62 + 28.23A + 8.50C + 1.054D - 52.25AC - 2.16A^2 - 0.05B^2 - 0.65C^2$$

معادله ۴

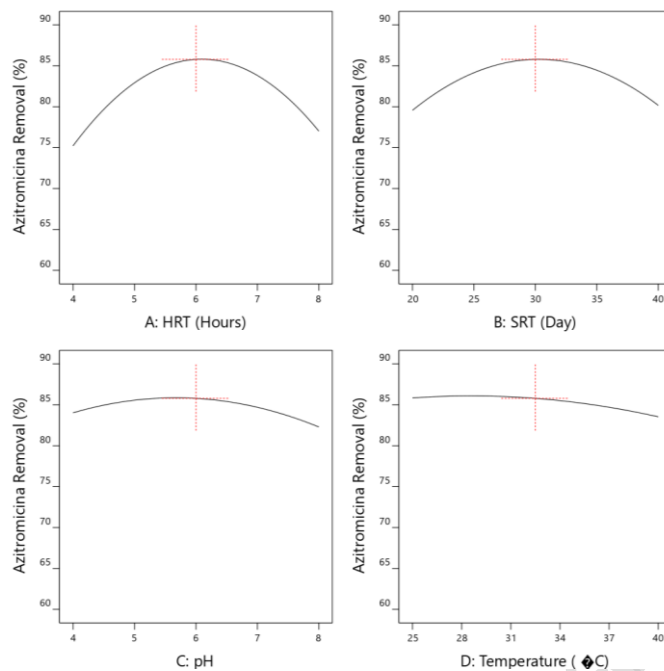
متغیرهای کدبندی شده A, C, A^2, B^2, C^2, D براساس جدول ۶ است. ضریب تعیین برای پیش بینی درصد حذف آنتی بیوتیک‌ها، $R^2 = 0.63$ و ضریب تعیین تعدیل شده $adjusted\ R^2 = 0.61$ نیز قابل قبول و با ضریب تعیین هم‌خوانی داشت.

جدول ۶- ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ آنتی بیوتیک ازیترومایسین

	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Source
Significant	۲۰۴۲/۱۶	۱۴	۱۴۵/۸۷	۴۴/۱۴	<۰/۰۰۰۱	Model
Significant	۶/۶۰	۱	۶/۶۰	۲	۰/۰۳۲۶	A-HRT
Not Significant	۷/۷۷	۱	۷/۷۷	۲/۳۵	۰/۴۴۰۶	B-SRT

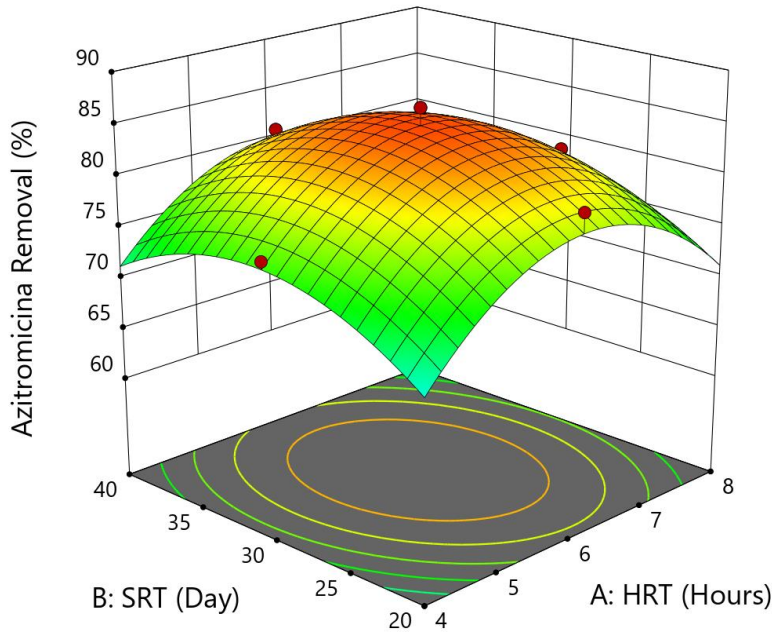
Significant	۸/۲۷	۱	۸/۲۷	۲/۵۰	۰/۰۳۹۶	C- pH
Significant	۱۸/۷۳	۱	۱۸/۷۳	۵/۶۷	۰/۰۰۹۰	D- Temperature
Not Significant	۲/۶۸	۱	۲/۶۸	۰/۸۱۱۴	۰/۵۵۷۱	AB
Significant	۳۰/۶۶	۱	۳۰/۶۶	۹/۲۸	۰/۰۰۹۰	AC
Not Significant	۱۱/۵۸	۱	۱۱/۵۸	۳/۵۰	۰/۱۱۳۴	AD
Not Significant	۱/۷۱	۱	۱/۷۱	۰/۵۱۷۳	۰/۶۹۶۴	BC
Not Significant	۱/۰۶	۱	۱/۰۶	۰/۳۱۹۵	۰/۵۸۰۳	BD
Not Significant	۳/۳۰	۱	۳/۳۰	۰/۹۹۹۶	۰/۳۳۳۳	CD
Significant	۱۹۳/۴۳	۱	۱۹۳/۴۳	۵۸/۵۴	<۰/۰۰۰۱	A ²
Significant	۷۵/۴۳	۱	۷۵/۴۳	۲۲/۸۳	۰/۰۰۰۲	B ²
Significant	۱۷/۵۲	۱	۱۷/۵۲	۵/۳۰	۰/۰۳۶۰	C ²
Not Significant	۶/۳۹	۱	۶/۳۹	۱/۹۳	۰/۱۸۴۶	D ²
	۴۹/۵۷	۱۵	۳/۳۰			Residual
Not Significant	۳۶	۱۰	۳/۶۰	۱/۳۳	۰/۳۹۷۸	Lack of fit
	۱۳/۵۷	۵	۲/۷۱			Pure Error
	۲۰۹۱/۷۲	۲۹				Cor Total

در شکل ۵، تغییرات میزان آنتی بیوتیک فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد هر متغیر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، افزایش pH تا محدوده ۶، زمان ماند هیدرولیکی تا محدوده ۶ ساعت، زمان ماند سلولی تا محدوده ۳۰ روز را افزایش و افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی گراد درصد حذف آنتی بیوتیک از ترومایسین را کاهش داد.



شکل ۵- تغییرات آنتی بیوتیک آزیترومایسین فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند سلولی، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

نمودار سطح پاسخ برای حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین در شکل ۶، نشان داده شده است. شرایط بهینه حداکثر درصد حذف آنتی بیوتیک آزیترومایسین با ۸۶/۳۵ درصد به صورت pH محدودی ۶، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت، زمان ماند سلولی ۳۰ روز، دما ۲۵ درجه سانتی گراد بود.



شکل ۶- نمودار سه بعدی کاهش درصد آنتی بیوتیک آزیترومایسین به عنوان تابعی از هر هم کنش زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند سلولی، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

۳-۳-۲- بررسی تغییرات میزان آنتی بیوتیک سفتریاکسون فاضلاب خروجی از سیستم UASB

تغییرات میزان آنتی بیوتیک فاضلاب خروجی از سیستم UASB با توجه به نتایج آنالیز واریانس در جدول ۷ نشان داده شده است. با توجه به خروجی نرم افزار، pH، زمان هیدرولیکی و دما تاثیر معنی داری بر روی تغییرات میزان آنتی بیوتیک داشت ($p < 0.05$). با توجه به میزان F-value دما بیشترین تاثیر را بر روی روند تجزیه آنتی بیوتیکها داشتند. مدل درجه دوم مطابق معادله شماره ۵، رابطه‌ی بین متغیرهای مورد بررسی و درصد حذف آنتی بیوتیکها را توصیف می‌کند.

$$Removal\ Ceftriaxone = 88.41 + 27.08A + 7.49C + 0.84D - 0.26AC + 0.08AD - 2.31A^2 - 0.05B^2 - 0.61C^2 \quad \text{معادله ۵}$$

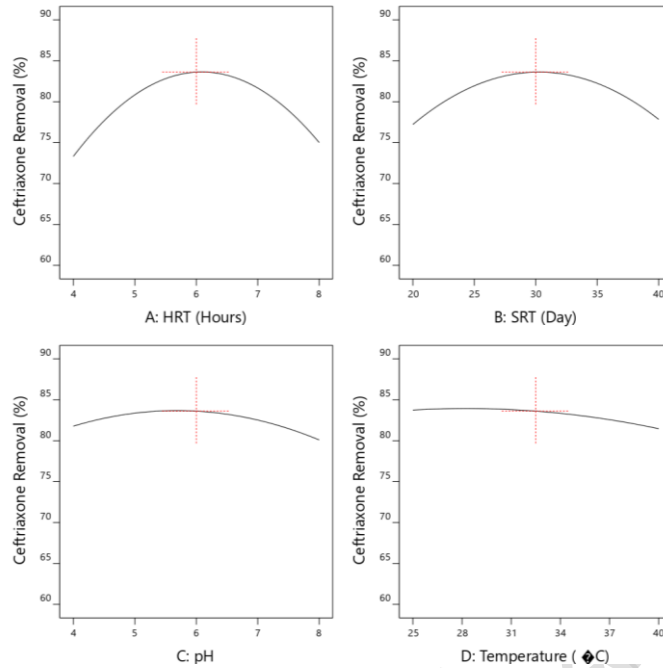
متغیرهای کدبندی شده A, B, C, D, A², B², C², AC, AD, A², B², C², D, C, A براساس جدول ۷ است. ضریب تعیین برای پیش بینی درصد حذف آنتی بیوتیکها، $R^2 = 0.83$ و ضریب تعیین تعدیل شده $adjusted\ R^2 = 0.81$ نیز قابل قبول و با ضریب تعیین همخوانی داشت.

جدول ۷- ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیر پاسخ آنتی بیوتیک سفتریاکسون

	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Source
Significant	۲۲۲۳/۰۶	۱۴	۱۵۸/۷۹	۶۵/۶۲	<0/۰۰۰۱	Model
Significant	۱۱/۵۵	۱	۱۱/۵۵	۶/۷۷	۰/۰۴۵۲	A-HRT
Not ignificant	۲/۲۶	۱	۲/۲۶	۰/۹۳۲۵	۰/۳۴۹۵	B-SRT

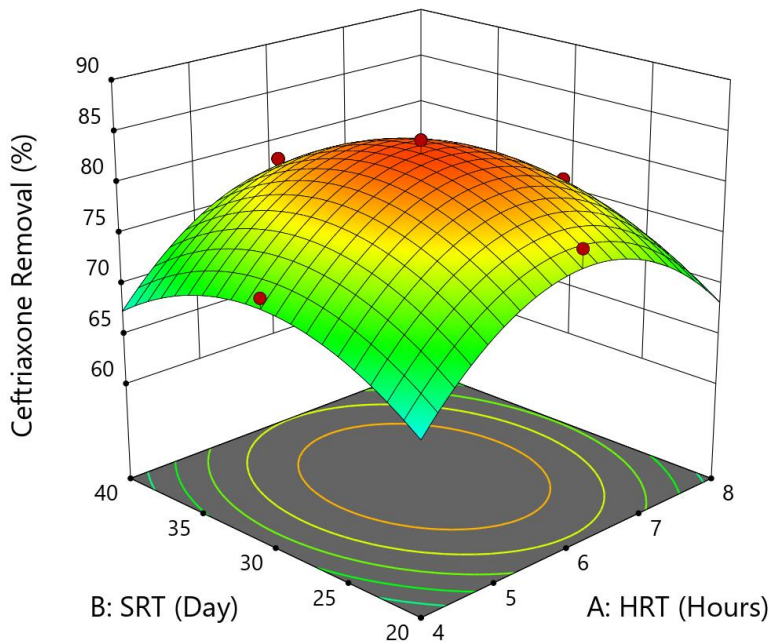
Significant	۱۶/۹۶	۱	۱۶/۹۶	۷/۰۱	۰/۰۱۸۳	C- pH
Significant	۳۱/۶۰	۱	۳۱/۶۰	۱۳/۰۶	۰/۰۰۲۶	D-Temperature
Not ignificant	۰/۰۱۶۹	۱	۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۷	۰/۹۳۴۵	AB
Significant	۱۷/۹۴	۱	۱۷/۹۴	۷/۴۱	۰/۰۱۵۷	AC
Significant	۲۵/۰۵	۱	۲۵/۰۵	۱۰/۳۵	۰/۰۰۵۸	AD
Not ignificant	۰/۰۲۷۲	۱	۰/۰۲۷۲	۰/۰۱۱۳	۰/۹۱۶۹	BC
Not ignificant	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۰/۹۷۷۳	BD
Not ignificant	۰/۰۰۲۵	۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۰	۰/۹۷۴۸	CD
Significant	۲۲۱/۷۷	۱	۲۲۱/۷۷	۹۱/۶۵	<۰/۰۰۰۱	A ²
Significant	۸۹/۷۴	۱	۸۹/۷۴	۳۷/۰۹	<۰/۰۰۰۱	B ²
Significant	۱۵/۸۹	۱	۱۵/۸۹	۶/۵۷	۰/۰۲۱۶	C ²
Not ignificant	۴/۴۲	۱	۴/۴۲	۱/۸۳	۰/۱۹۶۴	D ²
	۳۶/۳۰	۱۵	۲/۴۲			Residual
Not ignificant	۲۶/۶۰	۱۰	۲/۶۶	۱/۳۷	۰/۲۳۶۲	Lack of fit
	۹/۷۰	۵	۱/۹۴			Pure Error
	۲۲۵۹/۳۵	۲۹				Cor Total

در شکل ۷، تغییرات میزان آنتی بیوتیک فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد هر متغییر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷، افزایش pH از ۴، سبب کاهش حذف آنتی بیوتیک شد. با افزایش زمان ماند هیدرولیکی تا ۶ ساعت، زمان ماند سلولی تا ۳۰ روز را افزایش و با افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی گراد میزان درصد حذف آنتی بیوتیک کاهش یافت.



شکل ۷- تغییرات آنتی بیوتیک سفتریاکسون فاضلاب خروجی از سیستم UASB تحت تاثیر تغییرات منفرد زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند هیدرولیکی، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

نمودارهای سطح پاسخ برای حذف آنتی بیوتیک در شکل ۸، نشان داده شده است. شرایط بهینه حداکثر درصد حذف آنتی بیوتیک سفتریاکسون با ۸۴/۵۲ درصد به صورت pH محدوده‌ی ۶، زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت، زمان ماند سلولی ۳۰ روز، دما ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.



شکل ۸- نمودار سه بعدی کاهش درصد آنتی بیوتیک سفتریاکسون به عنوان تابعی از هر دو پارامتر زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند هیدرولیکی، pH، درجه حرارت در مرکز بهینه سایر پارامترها

۴- بحث

در سیستم لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا یا UASB، مواد آلی موجود در فاضلاب در شرایط بی‌هوازی و تحت تاثیر پارامترهای نظیر زمان ماند هیدرولیکی، میزان تشکیل باکتری، زمان واکنش، سرعت جریان ورودی، نوع فاضلاب، نحوه‌ی راه اندازی راکتور، توزیع گونه‌های میکروبی، دمای فاضلاب و ... به بیوگاز تبدیل می‌شوند. در مطالعه‌ی حاضر زمان ماند هیدرولیکی، زمان ماند سلولی، دما و pH عواملی موثر بر درصد حذف BOD, COD، آنتی‌بیوتیک‌های آزیترومایسین و سفتریاکسون در نظر گرفته شدند. به این ترتیب که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی تا ۶ ساعت و زمان ماند سلولی تا ۳۰ روز، pH تا ۶ و دما تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد روند حذف COD و BOD و آنتی‌بیوتیک‌های آزیترومایسین و سفتریاکسون از سیستم UASB افزایش و به ترتیب به ۸۱/۵۸، ۸۳/۱۲، ۸۶/۳۵ و ۸۴/۵۲ رسید ($P < 0.05$).

در خصوص روند حذف آنتی‌بیوتیک‌ها، زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند سلولی، پارامترهای تاثیر گذار بر حذف آنتی‌بیوتیک‌های فاضلاب سیستم UASB بودند. کریم مهربانخواهی و همکاران (۱۴۰۲) ارتباط معکوس بین مقدار غلظت آلاینده با کارایی فرآیند را گزارش کردند و نشان دادند که افزایش زمان واکنش در غلظت پایین، راندمان حذف آموکسی سیلین را افزایش داد. کاهش زمان ماند سلولی، علاوه بر کاهش درصد احتمال تماس ماده آلی با توده باکتری، فضای مرده هیدرولیکی را افزایش می‌دهد که با توجه به کندی متابولیسم باکتری‌های متان‌ساز، تعادل دینامیک این باکتری‌ها در جذب مواد آلی تولیدی توسط باکتری‌های اسیدساز مختل می‌شود. رحمانی و همکاران (۱۳۹۹) کارایی سیستم UASB در حذف COD ۶۰/۷۸ درصد گزارش شده است. Cruz-salomon و همکاران (۱۳۹۹) راندمان حذف COD در راکتور UASB اصلاح شده و معمولی را به ترتیب ۹۳ و ۹۱ درصد گزارش کرد (Cruz-Salomon et al., 2017). در خصوص پارامترهای COD, BOD و حذف آنتی‌بیوتیک‌ها، دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد جز پارامترهای مهم بود. در مطالعه رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه تصفیه فاضلاب شهری با بررسی عملکرد فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه بود که آن را مرتبط با دمای بهینه‌ی رشد و فعالیت باکتری مرتبط دانستند و با افزایش دمای بالاتر راندمان حذف کاهش یافت. همچنین افزایش دما با کاهش اکسیژن محلول، کاهش روند حذف COD, BOD را نیز به دنبال دارد. لذا از آن جایی که میزان اکسیژن محلول تحت تاثیر مستقیم دما قرار دارد پارامتر دما یکی از مهم‌ترین پارامترها در این نوع فرآیند محسوب می‌شود که با مطالعه رشتچی و همکاران (۱۴۰۱) در خصوص حذف فتوکاتالیستی آموکسی سیلین از محیط‌های آبی هم‌خوانی دارد.

pH از مهمترین پارامترهای موثر بر راندمان حذف آلاینده‌های آلی فاضلاب است که بر ظرفیت جذب و تجزیه ترکیبات آلی و پتانسیل اکسیداسیون تاثیر می‌گذارد. pH به ویژه در محدوده‌ی قلیایی ۶ تا ۷ که بر روی تولید باکتری‌های متان‌ساز موثر است، پارامتری بسیار تاثیر گذار بر فرآیندهای بی‌هوازی است. در مطالعه‌ی حاضر نیز این پارامتر در محدود ۸، بهینه‌ترین شرایط را برای کاهش COD, BOD و درصد حذف آنتی‌بیوتیک‌ها فراهم کرد. از طرفی به دلیل دسترس بودن مقادیر بالای بافر و عدم تغییرات محسوس این پارامتر، در این مطالعه تاثیرات pH غیر معنی‌دار بود ($p > 0.05$).

در مطالعه‌ی رحمتی (۱۴۰۰) با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۹ به ۱۸ ساعت درصد حذف COD تا ۹۲/۵ درصد افزایش یافت و دلیل آن را حضور بیش‌تر فاضلاب در کنار لجن گرانول و نیز کاهش سرعت رو به بالای لجن‌ها در راکتور و پراکندگی یکنواخت لجن‌ها در راکتور عنوان کردند. Jijai و همکاران (۲۰۱۶) درصد حذف COD فاضلاب کارخانه کنسروسازی با غلظت برابر با ۴۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH برابر ۶/۳، مقادیر ۹۴-۲۹ درصد برای زمان ماند هیدرولیکی از ۰/۵-۲۵ ساعت را گزارش کرده و نشان دادند که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی درصد حذف COD نیز افزایش یافت (Jijai et al., 2016). آقازاد و موسوی (۱۳۹۹) کارایی حذف COD و BOD نسبت به کاهش زمان ماند هیدرولیکی روندی کاهشی داشت و عنوان کردند که در فرآیندهای وابسته به بسترهای باکتریایی، کاهش نرخ انتقال سوبسترا در اثر کاهش زمان ماند هیدرولیکی به بستر باکتریایی کارایی سیستم را کاهش می‌دهد و کارایی تصفیه به زمان ماند هیدرولیکی و گرادیان غلظت سوبسترا وابسته است. آقازاد و موسوی (۱۳۹۵) افزایش زمان ماند هیدرولیکی را پارامتری تاثیرگذار بر میزان COD و BOD گزارش کردند و آن را نتیجه افزایش انعقاد مواد آلی دانستند که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه‌ی حاضر افزایش زمان ماند هیدرولیکی فقط در مورد حذف آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون موثر بود که می‌توان آن را مرتبط با زمان مورد نیاز برای رشد و تکثیر باکتری‌های بی‌هوازی و گرانوله شدن آنها مرتبط دانست (Ramakrishnan and Gupta, 2008). از طرفی افزایش زمان ماند غالبیت باکتری‌های کند رشد نظیر باکتری‌های متان‌ساز همانند متانوسنتا را افزایش می‌دهد (Elyasi et al., 2015). pH در تجزیه سفتریاکسون عامل تاثیرگذاری بود علت تجزیه سفتریاکسون در pH پایین می‌تواند حضور بیشتر یون‌های H^+ در محیط اسیدی باشد که منجر به تشکیل رادیکال‌های H^+ می‌شود و نیز از طریق اکسیژن‌های موجود در محلول، رادیکال‌های HO_2 را تشکیل داده که در نهایت به رادیکال‌های هیدروکسید تبدیل و با اسیدی کردن محیط، راندمان حذف را بالا می‌برد (Yu et al., 2010). در مطالعه ادهمی و همکاران (۲۰۱۶)، افزایش زمان تماس افزایش حذف آنتی‌بیوتیک را به دنبال داشت. در مطالعه‌ی Leita و همکاران (۲۰۰۶) نیز ارتباط مستقیمی بین درصد حذف آلاینده با زمان ماند مشاهده شد و مهم‌ترین عامل در کارایی راکتور بی‌هوازی را زمان ماند گزارش کردند که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد (Leitao et al., 2006). $A = \pi r^2$ به طور کلی ضریب انتقال جرم به بیومس و متابولیسم باکتری، دو پارامتر اصلی در فرآیند تصفیه زیستی هستند که با توجه به سرعت پایین رشد و متابولیسم پایین باکتری‌های متان‌ساز، انتقال سوبسترا یا همان بارگذاری آلی، جز مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار بر روی رشد باکتری است (Sung et al., 2019).

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اطلاعات بدست آمده و بهینه‌سازی فرآیند به روش RSM، پارامتر دما در خصوص BOD و آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون و آزیترومایسین مهم‌ترین پارامتر موثر در کارایی سیستم UASB بودند و pH مهم‌ترین پارامتر موثر بر حذف پارامتر COD بود. بالاترین درصد حذف COD، BOD، و آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون و آزیترومایسین ۸۴/۵۲ و ۸۶/۳۵ درصد، در زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت، زمان واکنش محدوده‌ی ۳۰ روز، pH ۶ و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد که عملکرد بسیار خوب این سیستم در کاهش ورود آنتی‌بیوتیک‌های بیمارستانی به آب‌های جاری را نشان می‌دهد. از طرفی عدم دفع لجن از این سیستم، این سیستم را به سیستمی پاک برای محیط زیست تبدیل کرده است.

البته می‌توان کارایی سیستم را با ایجاد تغییراتی نظیر اضافه کردن الکتروود و یا استفاده از روش‌های هوازی و یا پیش اکسیداسیونی به منظور تصفیه تکمیلی بهبود و ارتقا داد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Up flow anaerobic sludge blanket digestion

2- Mixed Liquor Suspended Solids

۷- مراجع

رحمتی، م.، (۱۴۰۰)، "تصفیه فاضلاب آشپزخانه با روش بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا UASB"، *محیط زیست و مهندسی آب*، ۷، ۵۸۹-۵۷۹.

آقازاد، م.، موسوی، غ.، (۱۳۹۹)، "بررسی ارتقای راکتور باقل دار بی‌هوازی با تلفیق فرآیند انعقاد الکتریکی برای تصفیه فاضلاب شهری"، *مجله سلامت و بهداشت*، ۵، ۶۲۳-۶۰۹.

رحمانی، س.، یگانه میرزا علیلو، م.، دوستی، م.، ر.، ذوقی، م.، (۱۳۹۹)، "مقایسه راکتورهای UASB معمول و اصلاح شده در تصفیه پساب صنایع لبنی"، *نشریه مهندسی عمران/میکروبیولوژی*، ۵۲، ۲۵۹۲-۲۵۸۳.

آقازاد، م.، موسوی، غ.، (۱۳۹۵)، "بررسی کارایی راکتورهای باقل دار بی‌هوازی با بستر مدیایی ثابت و چرخان برای تصفیه فاضلاب شهری"، *مجله سلامت و محیط زیست*، ۹، ۴۳۲-۴۲۱.

کریم مهربانخواهی، غ.، لیلی، م.، شکوهی، ر.، رحمانی، ع.، آذریان، ق.، شیرمحمدی خرم، ن.، رضوی، م.، (۱۴۰۲)، "بهینه‌سازی کارایی فرآیند الکتروکواکولاسیون در حذف آنتی بیوتیک آموکسی سیلین و غلظت COD ناشی از آن از محلول‌های آبی و فاضلاب بیمارستانی در شرایط بهینه: مطالعه موردی بیمارستان علیمرادیان نهاوند"، *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان*، ۲۸، ۱۵۵-۱۳۵.

ادهمی، ش.، فضل زاده، م.، حضرتی، ص.، (۱۳۹۶)، "بررسی حذف فتوکاتالیستی سفالکسین از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیند UV/ZnO"، *مجله مهندسی بهداشت محیط*، ۵، ۱۸۳-۱۷۳.

رحیمی، س.، مکمل، ع.، رضائی، م.، (۱۳۹۵)، "تصفیه فاضلاب شهری با بررسی عملکرد فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی فیلم ثابت"، *مجله سلامت محیط و کار*، ۵، ۱۸۰-۱۶۰.

رشتچی، ن.، سبحان اردکانی، س.، چراغی، م.، گودرزی، ا.، لرستانی، ب.، (۱۴۰۱)، "حذف فوتوکاتالیستی آموکسی سیلین از محیط‌های آبی با استفاده از نانوکامپوزیت گرافن اکساید مغناطیسی عامل دار شده با دی اکسید سرب"، *مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*، ۱۵، ۳۲۰-۳۰۷.

A. P. H. 1926. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.

Cruz-Salomón, A., Meza-Gordillo, R., Rosalea-Quintero, A., Ventura-Canseco, C., Lagunas-Rivera, S., and Carrasco-Cervantes, J., (2017), "Biogas production from a native beverage vinasse using a modified UASB bioreactor", *Fuel*, 198, 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.11.046>

Custodio, M., Cuadrado, W., and Penaloza, R., (2022), "Treatment of Hospital Wastewater Using Activated Sludge with Extended Aeration", *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), DOI:10.12911/22998993/152991

- Elyasi, S., Amani, T., and Dastyar, W., (2015), "A comprehensive evaluation of parameters affecting treating high-strength compost leachate in anaerobic baffled reactor followed by electrocoagulation-flotation process", *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-14. DOI:10.1007/s11270-014-2279-0
- Esparza-Soto, M., Arzate-Archundia, O., Solis-Morelos, C., and Fall, C., (2013), "Treatment of a chocolate industry wastewater in a pilot-scale low-temperature UASB reactor operated at short hydraulic and sludge retention time", *Water science and technology*, 67(6), 1353-1361. DOI:10.2166/wst.2013.010
- Ghafoori, M., Cheraghi, M., Kiani Sadr, M., Lorestani, B., and Sobhanardakani, S., (2022), "Magnetite graphene oxide modified with β -cyclodextrin as an effective adsorbent for the removal of methotrexate and doxorubicin hydrochloride from water", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 35012-35024. DOI: 10.1007/s11356-022-18725-x
- Jijai, S., Siripatana, C., O-Thong, S., and Ismail, N., (2016), "Kinetic models for prediction of COD effluent from upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for cannery seafood wastewater treatment", *Journal Technology*, 78, 5-6. DOI:10.11113/jt.v78.8644
- Leitão, R. C., Haandel, A., Zeeman, G., and Lettinga, G., (2006), "The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review", *Bioresource Technology*, 97(9), 1105-1118. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.007>
- Rahimi, S., Mokamel, A., and Rezaei, M., (2015), "Urban wastewater treatment by investigating the performance of fixed film aerobic and anaerobic processes", *Environment and work health journal*, 11, 180-160. DOI:10.2166/wst.1983.0161 (In Persian).
- Rahmani, S., Mirza Aliloo, M., Doosti, M.R., and Zoqi, M.J., (2019), "Comparison of conventional and modified UASB reactors in dairy industry wastewater treatment", *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 52, 2592-2583. Doi: 10.22060/ceej.2019.15695.6004
- Ramakrishnan, A., and Gupta S. K., (2008), "Effect of hydraulic retention time on the biodegradation of complex phenolic mixture from simulated coal wastewater in hybrid UASB reactors". *Journal of Hazardous Materials*, 153 (1-2), 843-851. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.034>
- Sobhanardakani, S., and Zandipak, R., (2016), "Removal of methyl orange dye from aqueous solutions using NiFe₂O₄ nanoparticles: equilibrium and kinetic studies", *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(2), 247-258. <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5566-en.html>
- Sung, H.-N., Katsou, E., Statoris, E., Anguilano, L., and Malamis, S., 2019, "Operation of a modified anaerobic baffled reactor coupled with a membrane bioreactor for the treatment of municipal wastewater in Taiwan", *Environmental technology*, 40(10), 1233-1238. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1420102>
- Tang, Y., Zhao, B., and Liu, C., 2020, "Removal mechanisms of β -blockers by anaerobic digestion in a UASB reactor with carbon feeding", *Bioresource Technology Reports*, 11, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100531>
- Tawfik, A., Sobhey, M., and Badawy, M., 2008, "Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system)", *Desalination*, 227(1-3), 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.023>
- Van Boeckel, T.P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B.T., Levin, S.A., Robinson, T.P., Teillant, A., and Laxminarayan, R., 2015, "Global trends in antimicrobial use in food animals", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5649-5654. DOI: 10.1073/pnas.1503141112
- Yu, C.H., Wu, C.H., Ho, T.H., and Hong, P.A., 2010, "Decolorization of CI Reactive Black 5 in UV/TiO₂, UV/oxidant and UV/TiO₂/oxidant systems: A comparative study", *Chemical Engineering Journal*, 158(3), 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.02.001>
- Zhang, T., Lv, K., Lu, Q., Wang, L. and Liu, X., (2021), "Removal of antibiotic-resistant genes during drinking water treatment: A review", *Journal of Environmental Sciences*, 104, 415-429. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.12.023>.