



بررسی تصفیه پذیری پساب صنایع غذایی آماده با فرایند شیمیایی انعقاد و لخته سازی

میترا غلامی مقدم^۱، فریبا استوار^{۲*}، محدثه توکلی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی رشت، گیلان، ایران

۲- دکتری شیمی تجزیه، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، گیلان، ایران

۳- کارشناس پژوهشی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، گیلان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	هدف از این پژوهش، بررسی تصفیه پذیری پساب صنایع غذایی آماده با استفاده از فرایند شیمیایی انعقاد و لخته سازی بود. در این فرایند از منعقد کننده فریک کلراید ($FeCl_3$) به همراه کمک منعقد کننده های پلی آکریل آمید و آهک استفاده شد. به منظور بررسی اثر متقابل پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند تصفیه، نرم افزار طراحی آزمایش (DOE) به مدل مرکب مرکزی (CCD) مورد استفاده قرار گرفت. عوامل تأثیرگذار بر فرایند انعقاد و لخته سازی از قبیل غلظت منعقد کننده $FeCl_3$ در محدوده ی غلظتی ۵۰۰-۲۰۰۰ mg/L، pH اولیه در محدوده ی ۱۰-۵، کمک منعقد کننده ی آهک و پلی الکترولیت به ترتیب با غلظت های ۲۵-۱۰۰ mg/L و ۲/۵-۰/۵ mg/L توسط دستگاه جارتست مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تعیین مقادیر بهینه، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) به عنوان آزمون هدف انتخاب شد. مقایسه ی شرایط بهینه ی تک عامله و اثر متقابل داده ها با استفاده از نرم افزار طراحی آزمایش، مقدار بهینه ی pH برابر ۷/۵، غلظت منعقد کننده $FeCl_3$ به مقدار ۱۲۵۰ mg/L و کمک منعقد کننده های آهک و پلی الکترولیت به ترتیب با غلظت های ۶۰ mg/L و ۱/۵، راندمان حذف COD برابر ۹۴/۱۵٪ را نشان داد. بررسی های آماری نشان داد، مقدار F-value برابر ۱۹/۴۸، نشان دهنده ی مطابقت خوب این مدل با نتایج آزمایشگاهی است. همچنین، مقادیر P-value کمتر از ۰/۰۵۰۰، بیانگر معنی دار بودن آزمایش است. با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج پیش بینی شده نرم افزار، همبستگی خوبی بین نتایج مشاهده گردید. در نهایت، نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که تصفیه ی پساب کارخانه ی صنایع غذایی با استفاده از منعقد کننده ی $FeCl_3$ امکان پذیر بوده و پساب تصفیه شده، استانداردهای تخلیه به زمین های کشاورزی برای آبیاری مزارع را داراست.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰	
کلید واژه ها: پساب، صنایع غذایی آماده، انعقاد و لخته سازی، جارتست، آهن (III) کلراید، COD	



Investigating the treatability of prepared food industry wastewater using the chemical process of coagulation and flocculation

Mitra Gholami Moghadam¹, Fariba Ostovar^{*2}, Mohadeseh Tavakoli³

- 1- MSc in Civil-Environmental Engineering, Higher Education Research Institute of ACECR, Rasht, Iran
- 2- PhD in Analytical Chemistry, Environmental Research Institute of ACECR (Academic Center for Education, Culture and Research), Rasht, Iran
- 3- Research expert, Environmental Research Institute of ACECR (Academic Center for Education, Culture and Research), Rasht, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
17/12/2023

Accepted:
19/08/2024

Available online:
20/09/2024

Keywords:
Wastewater,
prepared food
industry,
coagulation and
flocculation,
jar test,
iron (III) chloride,
COD

Abstract

This research aims to investigate the treatability of prepared food industry wastewater using the chemical process of coagulation and flocculation. Ferric chloride (FeCl₃) coagulant was used in this process along with polyacrylamide and lime flocculant aids. In order to investigate the mutual effect of the parameters affecting the treatment process, the design of experiments (DOE) software with the central composite model (CCD) was used. Effecting factors on the coagulation and flocculation process such as FeCl₃ coagulant concentration in the concentration range of 500-2000 mg/L, initial pH in the range of 5-10, lime and polyelectrolyte with the concentration ranges of 25-100 mg/L and 0.5-2.5 mg/L respectively were evaluated by Jarrest device. Chemical oxygen demand (COD) analysis was chosen as the target test to determine the optimal values. Comparison of optimal conditions of single agent and mutual effect of data using experiment design software, an optimal value of pH equal to 7.5, FeCl₃ coagulant concentration of 1250 mg/L, and coagulants of lime and polyelectrolyte with concentrations of 60 and 1.5 mg/L respectively, showed COD removal efficiency of 94.15%. Statistical analysis showed that the F-value equal to 19.48 indicates the good agreement of this model with the laboratory results. Also, P-values less than 0.050 indicate the significance of the test. By comparing the laboratory and the predicted results, a good correlation between the results was observed. Finally, the results of this research showed that it is possible to treat the wastewater of the food industry using FeCl₃ coagulant, and the treated wastewater meets the standards of discharge to agricultural lands for fields irrigation.

* Corresponding author E-mail address: f_os_46@yahoo.com

مقدمه

به طور کلی، پساب‌های صنعتی به دلیل پایین بودن نمک‌های معدنی محلول نسبت به آب دریاها، جزء آب‌های شیرین اما آلوده محسوب می‌شود. استفاده‌ی مجدد و بهره‌گیری از پساب تصفیه شده به جای آب شیرین برای آبیاری، کشاورزی، فضاهای سبز و... دارای فواید اقتصادی فراوانی بوده و در مقایسه با شیرین‌سازی آب شور دریاها به مراتب ارزان تر است. این مسئله در کشور ما که در بسیاری از نقاط آن مردم با کمبود آب شیرین مواجه هستند؛ حائز اهمیت بوده و از مصرف آب آشامیدنی برای کشاورزی جلوگیری می‌کند (Alkhamisi, Ahmed, & Change, 2014; Amin, Al Bazedi, & Abdel-Fatah, 2021).

صنایع غذایی به صنایعی اطلاق می‌شود که مواد خوراکی موردنیاز برای انسان و یا حیوانات را تأمین می‌کند. طی قرن گذشته، رشد عظیمی در مصرف آب فرآیندهای صنعتی روی داده است. از لحاظ خصوصیات پساب، تنوع زیادی در مورد پساب‌های صنایع غذایی مشاهده می‌شود. صنایع غذایی^۱ به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب در جهان شناخته می‌شوند که میزان زیادی از فاضلاب را تولید می‌کنند. پساب تولیدی مواد غذایی و فعالیت‌های کشاورزی منبع اصلی آلودگی محیط زیست است. حضور آلاینده‌های سمی در جریان پساب از جمله مواردی است که می‌تواند در پساب صنایع غذایی مهم تلقی شود (Jia et al., 2020; Mateus, Torres, Marimon-Bolivar, Pulgarín, & Industry, 2021; Pervez et al., 2021).

همچنین مدیریت آن در بین سخت‌ترین و پرهزینه‌ترین پساب‌ها است زیرا فاضلاب فرآوری مواد غذایی می‌تواند حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی، کربن آلی، مواد آلی نیتروژن دار، مواد معدنی، جامدات معلق و محلول باشد و به همین دلیل از نظر بیوشیمیایی و شیمیایی اکسیژن زیادی دارد. این فاضلاب می‌تواند آلودگی و خطراتی برای محیط زیست و حیات دریایی ایجاد کند. تصفیه فاضلاب صنایع غذایی به‌منظور حفاظت از منابع آب و سلامت محیط زیست بسیار حیاتی است. علاوه بر این، تصفیه فاضلاب صنایع غذایی می‌تواند به کاهش هزینه‌های صنایع غذایی برای دفع فاضلاب و همچنین بهبود شرایط بهداشتی کارکنان و جامعه محلی کمک کند (Hernández, Muro, Ortega, Velazquez, & Riera, 2021).

روش‌های مختلفی به‌منظور تصفیه پساب‌های صنایع غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، هو^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۲ میلادی، حذف COD پساب از کربن‌سازی هیدروترمال ضایعات مواد غذایی با استفاده از انعقاد جذب کربن فعال ترکیبی را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه، جذب کربن فعال ترکیبی (AC) را برای کاهش COD در پساب HTC به‌منظور ارتقای زیست‌تخریب‌پذیری آن، مورد بررسی قرار داد. نتایج تجربی نشان دادند که پلی‌آلومینیوم سولفات آهن (PAFS) و پلی‌آکریل‌امید (PAM) به‌ترتیب، منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده‌ی بهینه بوده و با PAM، PAFS و AC که به‌ترتیب مقدار ۶ g/L، ۱۰ g/L، ۳ g/L بودند؛ می‌توانند موجب کاهش غلظت COD تا ۶۸/۴۱٪ شوند (Hu et al., 2022).

همچنین، محمد^۳ و همکاران نیز در سال ۲۰۲۱ میلادی، تصفیه‌ی پساب صنایع غذایی و آشامیدنی با استفاده از تصفیه‌ی پساب معمولی ادغام شده با سیستم بیوراکتور غشایی را بررسی کردند. پیکربندی غشای HF و FS در دو سطح مختلف جامدات معلق مخلوط مایع (MLSS) مورد ارزیابی قرار گرفت و به‌ترتیب برابر با ۶۰۰۰ ml/L و ۱۲۰۰۰ ml/L شد. نتایج نشان داد که میزان COD و TSS برای انواع غشای HF و FS، برای دو سطح مختلف MLSS بیش از ۸۴٪ بود. هر دو نوع MBR به‌طور مداوم به میزان COD و TSS بین ۸۰٪ تا ۹۵٪ دست یافتند. (Muhamad Ng, Idrus, Ahsan, Tuan, Mohd Marzuki, & Mahat, 2021).

¹ Food Industry

² Hu

³ Muhamad

یکی از مهم‌ترین مواد در تصفیه آب و فاضلاب منعقد کننده‌ها هستند. مکانیزم آن‌ها به گونه‌ای است که به ذرات جامد می‌چسبند و باعث ته‌نشینی آن‌ها می‌شوند. از منعقد کننده‌ها برای بی‌نظمی تعلیق کلوئیدی و خنثی کردن مواد جامد معلق استفاده می‌شود. به‌طور کلی انعقاد یا کواگولاسیون یک فرآیند شیمیایی است که منعقد کننده در آن به‌عنوان ماده شیمیایی برای حذف ذرات معلق جامد، شفاف‌سازی آب، آهک زنی، ضخیم شدن لجن، حذف رنگ (مواد آلی طبیعی)، آلک (فیتوپلانکتون) باکتری‌ها و ویروس‌ها و آبگیری لجن، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Balbinoti et al., 2023; Kaur, Garg, & Singh, 2021; Shrivastava, Ali, Marjub, Rene, & Soto, 2022). در این فرآیند از نرم‌افزارهای طراحی آزمایش برای شرایط بهینه استفاده می‌شود.

طراحی آزمایش، مجموعه اقداماتی است که توسط مدل‌سازی و بهینه‌سازی متغیرهای واکنش از طریق روش‌های آماری انجام می‌شود ((Abubakar, Okonkwo, Edomwonyi-Otu, & Research, 2023). طراحی آزمایش، شامل یک سری از آزمایش‌ها است که در آن به‌طور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرایند، تغییراتی ایجاد می‌گردد تا از این طریق، مقدار تغییرات حاصل، در پاسخ خروجی فرایند مشاهده و شناسایی شود. از مزایای طراحی آزمایش می‌توان به کاهش هزینه، کاهش تعداد آزمون، بررسی جامع سیستم مورد مطالعه و امکان بهینه‌سازی سیستم در مقادیر مطلوب پاسخ‌ها یا متغیرهای ورودی اشاره کرد (Popoola, 2019; پور، ۲۰۱۹).

در این مطالعه، از روش طراحی آزمایش مرکب مرکزی (CCD) که یکی از استانداردهای روش سطح پاسخ است، استفاده شده تا میزان بهینه‌شده پارامترهای تأثیرگذار بر میزان حذف غلظت COD پساب کارخانه صنایع غذایی، با استفاده از منعقدکننده فریک کلراید ($FeCl_3$) و کمک‌منعقدده‌ها مشخص گردد (کوهستانی، اسلامی‌زاده، رامین، ۲۰۱۹). روش‌های مرکب مرکزی و باکس بنکن از روش‌های اصلی طراحی سطح پاسخ می‌باشند. در این بین، روش طرح مرکب مرکزی از اعتبار بیشتری برخوردار است. در این مدل با دقت بیشتری می‌توان اثر ترم‌های درجه اول، درجه دوم و برهمکنش آن‌ها در پاسخ نهایی را بررسی کرد. علاوه بر این، روش CCD طیف بسیار وسیعی از تغییرات در مقادیر ورودی‌ها و پاسخ‌ها را در فضای سطحی و حجمی (دو و سه بعدی) می‌تواند توصیف کند. لذا، در این پژوهش از روش CCD به‌منظور مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی فرایند استفاده شد و بررسی‌های آماری انجام گرفت (Atta, Hummadi, M-Ridha, & TREATMENT, 2022; Fitriani, Mohamed, Affandi, Nurdin, & Kurniawan, 2023; Gulzamana & Baloo, 2021).

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع بنیادی- کاربردی بوده و در آزمایشگاه آب، فاضلاب و میکروبی مرکز تحقیقات پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی واحد گیلان انجام شد و هدف آن بررسی کارایی فرایند تصفیه شیمیایی به روش انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از منعقد کننده $FeCl_3$ برای تصفیه‌ی پساب صنایع غذایی بیرون بر بود. به‌منظور بررسی تصفیه‌پذیری پساب صنایع غذایی (تولید غذای آماده) از فرایند انعقاد و لخته‌سازی و با استفاده از نرم‌افزار طراحی آزمایش با مدل CCD جهت مطالعه‌ی اثر پنج متغیر ورودی مستقل و تعیین میزان حذف غلظت COD استفاده شد. با استفاده از روش‌های طراحی آزمایش، برخلاف روش‌های معمول می‌توان تغییر همزمان دو یا چند فاکتور را مورد بررسی قرار داد. همچنین، با روش طراحی آزمایش می‌توان نحوه و میزان تأثیر فاکتورهای مختلف بر پاسخ را بررسی کرد و شرایط آزمایش را به سمت بهترین راندمان سوق داد (Bayuo, Abukari, & Pelig-Ba, 2020; Gasemloo, Khosravi, Sohrabi, Dastmalchi, & Gharbani, 2019).

پارامترهای pH، غلظت منعقدکننده و غلظت کمک‌منعقدکننده‌ها (پلی‌الکترولیت و آهک) به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. درحالی‌که، غلظت باقیمانده‌ی COD، پاسخ خروجی مدنظر بود. این روش توانست با حداقل تعداد آزمایش، تأثیر پارامترهای مختلف فرایند انعقاد و لخته‌سازی را مورد بررسی قرار دهد. آزمون CCD از روش‌های متداول سطح پاسخ است. در این روش، تمام فاکتورها در ۵ سطح مطالعه می‌شوند و امکان تصفیه‌پذیری پساب کارخانه‌ی صنایع غذایی و اثر آن بر حذف غلظت COD به‌عنوان پارامتر هدف با استفاده از منعقدکننده‌های شیمیایی، مورد مطالعه قرار گرفت.

به‌منظور انجام آزمایش‌های مذکور، محلول $FeCl_3$ به‌عنوان منعقدکننده در محدوده غلظتی ۵۰۰-۲۰۰۰ mg/L، و کمک‌منعقدکننده‌ی آهک و پلی‌الکترولیت به ترتیب با غلظت‌های ۱۰۰-۲۵ mg/L و ۰/۵-۲/۵ mg/L مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تنظیم pH، محلول‌های اسید هیدروکلریک (HCl) و سدیم هیدروکسید (NaOH) در گستره‌ی غلظتی $0.1/1 \text{ mol L}^{-1}$ استفاده شد. متغیرهای مورد بررسی شامل pH اولیه‌ی پساب، غلظت منعقدکننده و غلظت کمک‌منعقدکننده‌های پلی‌الکترولیت و آهک به‌عنوان سطوح موردنظر ارزیابی شدند. پس از بررسی pH اولیه‌ی پساب، تنظیم pH در محدوده‌ی ۱۰-۵ انجام گرفت و فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از دستگاه جارست، انعقاد تند در دور ۱۲۰ rpm و انعقاد کند در مدت زمان ۲۰ min با دور آهسته‌ی ۳۰ rpm انجام شد. جدول ۱ فاکتورهای آزمایشی و سطوح آن‌ها را نشان می‌دهد. پس از پایان فرایند انعقاد و لخته‌سازی و ته‌نشینی پساب تصفیه شده، نمونه مورد بررسی فیلتر شد و مقدار غلظت COD باقیمانده محاسبه گردید. درنهایت، پس از تعیین شرایط بهینه تصفیه، پارامترهای نیترات، فسفات، آمونیاک، کدورت، منگنز، آهن، روغن و چربی، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و pH پساب خام و تصفیه شده، بررسی شدند.

جدول (۱) فاکتورهای آزمایشی مورد مطالعه و سطوح آن‌ها

فاکتور	سطوح فاکتورها				
	۲	۱	۰	-۱	-۲
pH	۵	۶	۷/۵	۹	۱۰
$FeCl_3$ (mg/L)	۵۰۰	۸۰۰	۱۲۵۰	۱۷۵۰	۲۰۰۰
Lime (mg/L)	۲۵	۴۰	۶۰	۸۵	۱۰۰
Poly (mg/L)	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵

ماتریس طرح مرکب مرکزی به‌منظور بررسی پارامترهای تأثیرگذار در فرایند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از منعقدکننده آهن(III) کلرید، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲) ماتریس طرح آزمایشی مرکب مرکزی برای فاکتورهای آزمایشی کددار شده (منعقدکننده‌ی آهن(III) کلرید)

آزمایش	پلی‌الکترولیت	آهک	$FeCl_3$	pH
۱	۱/۵	۲۵	۱۲۵۰	۷/۵
۲	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۵
۳	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۱۰
۴	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۵	۲	۴۰	۱۷۵۰	۶
۶	۲	۴۰	۱۷۵۰	۶

آزمایش	پلی الکترولیت	آهک	FeCl ₃	pH
۷	۱	۸۵	۱۷۵۰	۹
۸	۲/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۹	۱	۸۵	۸۰۰	۶
۱۰	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۱۱	۱/۵	۶۰	۵۰۰	۷/۵
۱۲	۱	۴۰	۸۰۰	۹
۱۳	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۱۴	۲	۸۵	۸۰۰	۶
۱۵	۱/۵	۶۰	۲۰۰۰	۷/۵
۱۶	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۱۷	۰/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۱۸	۱/۵	۱۰۰	۱۲۵۰	۷/۵
۱۹	۲	۸۵	۱۷۵۰	۹
۲۰	۱/۵	۶۰	۱۲۵۰	۷/۵
۲۱	۲	۴۰	۸۰۰	۹

یافته‌های پژوهش

آنالیز و شناسایی پساب خام

ابتدا، به منظور شناسایی پساب خام صنایع غذایی که از نوع بیرون بر است؛ آنالیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و ترکیبات موجود در پساب انجام گرفت. فاکتورهای مهم در پساب مانند COD، EC، آمونیاک، نیترات، فسفات، کدورت، چربی و روغن^۱، و TDS مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. هر آزمایش سه بار تکرار و میانگین و انحراف استاندارد آن‌ها گزارش شد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول (۳) میانگین و انحراف استاندارد پساب کارخانه‌ی تولید غذای آماده

O&G	فسفات (mg/L)	نیترات (mg/L)	آمونیاک (mg/L)	کدورت	COD (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (mS/cm)	داده آماری
۱۴۸/۵۴	۷/۰۳	۱۴۳/۲۰	۵/۸۰	۵۸/۳۰	۱۸۰۰/۰۷	۸۷۴/۳۳	۱/۳۹	میانگین
۱/۱۴	۰/۰۸	۱/۷۸	۰/۰۴	۰/۵۹	۰/۹۱	۴/۱۱	۰/۰۰۴	انحراف استاندارد

بررسی فرآیند تصفیه پساب صنایع غذایی

در این بررسی، از منعقدکننده‌ی شیمیایی آهن (III) کلرید (FeCl₃) استفاده شد. از کمک منعقدکننده‌ی پلیمری پلی‌آکریل-آمید (پلی الکترولیت) و کمک‌منعقدکننده‌ی آهک جهت جداسازی رسوبات استفاده گردید. طراحی آزمایش با نرم‌افزار

^۱ Oil & Grease: O&G

Design Expert با مدل CCD انجام شد و اثر پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند تصفیه مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجایی که مهمترین پارامتر در جهت تخلیه ی پساب تصفیه شده به محیط پذیرنده، COD است؛ این پارامتر به عنوان پارامتر هدف، انتخاب شد. بررسی های اولیه جهت تعیین محدوده پارامترهای مورد مطالعه انجام شد و سپس طراحی آزمایش مطابق با نتایج اولیه آزمایشگاهی توسط نرم افزار انجام گرفت (Hu et al., 2022). جدول مربوط به طراحی آزمایش انجام شده به همراه راندمان حذف، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول (۴) ماتریکس طراحی آزمایش و راندمان حذف COD به دست آمده از منعقدکننده ی $FeCl_3$

Run	$FeCl_3$ (mg/L)	Lime (mg/L)	Poly (mg/L)	pH	COD (mg/L)	راندمان حذف COD
۱	۱۲۵۰	۲۵	۱/۵	۷/۵	۲۳۷/۹۶	٪۸۶/۷۸
۲	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۱۰	۲۱۷/۵۹	٪۸۷/۹۱
۳	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۵	۲۴۱/۶۶	٪۸۶/۵۷
۴	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۱۳۰/۵۵	٪۹۲/۷۴
۵	۱۷۵۰	۴۰	۲	۹	۳۵۶/۴۸	٪۸۰/۱۹
۶	۱۷۵۰	۴۰	۲	۹	۳۰۶/۴۸	٪۸۲/۹۷
۷	۱۷۵۰	۸۵	۱	۶	۴۲۶/۸۵	٪۷۶/۲۸
۸	۱۲۵۰	۶۰	۲/۵	۷/۵	۲۳۲/۴	٪۸۷/۰۸
۹	۸۰۰	۸۵	۱	۹	۲۷۳/۱۴	٪۸۴/۸۲
۱۰	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۱۲۱/۲	٪۹۳/۲۶
۱۱	۵۰۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۴۳۲/۴۰	٪۷۵/۹۷
۱۲	۸۰۰	۴۰	۱	۶	۲۴۳/۵۱	٪۸۶/۴۸
۱۳	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۱۰۵/۱۷	٪۹۴/۱۵
۱۴	۸۰۰	۸۵	۲	۹	۳۲۱/۲۹	٪۸۲/۱۵
۱۵	۲۰۰۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۳۳۷/۹۶	٪۸۱/۲۲
۱۶	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۱۰۶/۴۸	٪۹۴/۰۸
۱۷	۱۲۵۰	۶۰	۰/۵	۷/۵	۲۲۳/۱۴	٪۸۷/۶۰
۱۸	۱۲۵۰	۱۰۰	۱/۵	۷/۵	۱۸۴/۲۵	٪۸۹/۷۹
۱۹	۱۷۵۰	۸۵	۲	۶	۱۸۰/۸۸	٪۸۹/۹۵
۲۰	۱۲۵۰	۶۰	۱/۵	۷/۵	۱۱۵/۰۵	٪۹۳/۶۰
۲۱	۸۰۰	۴۰	۲	۶	۲۹۳/۵۱	٪۸۳/۶۹

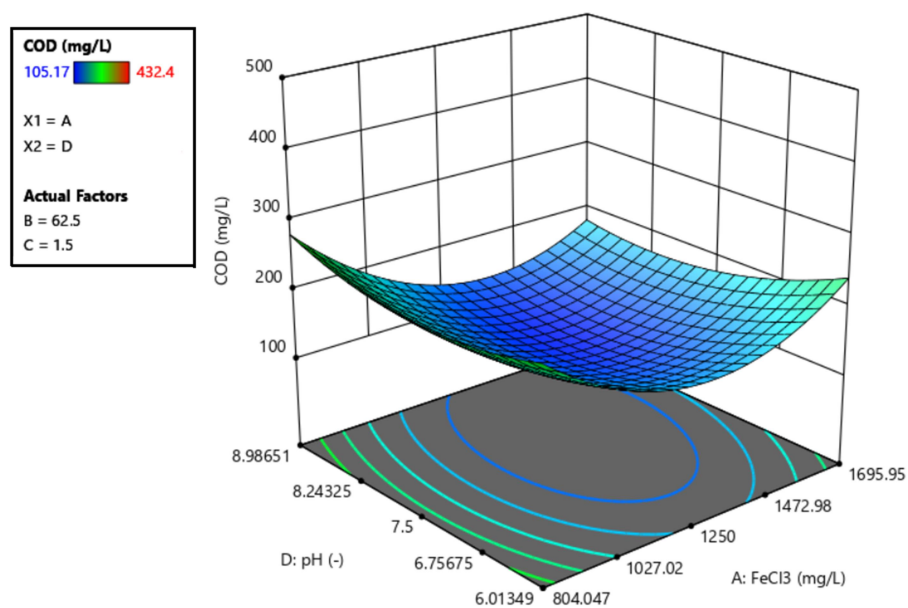
تأثیر پارامترهای عملیاتی در فرآیند تصفیه ی پساب مواد غذایی

در این بخش به مطالعه و بررسی اثر متقابل پارامترهای عملیاتی که شامل pH، کمک منعقدکننده ها و منعقدکننده $FeCl_3$ است، پرداخته شد.

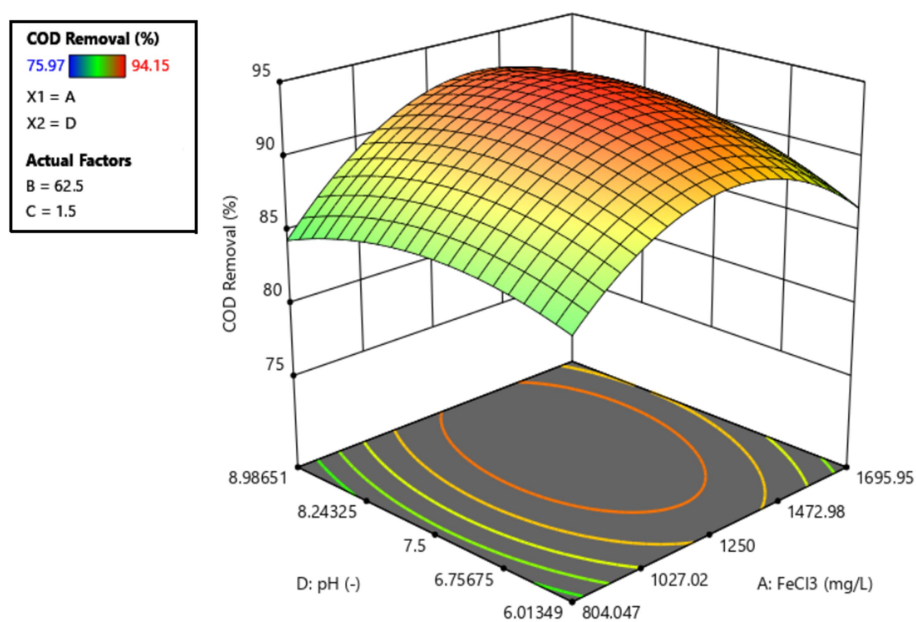
اثر متقابل pH و غلظت منعقد کننده $FeCl_3$

یکی از مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار بر راندمان حذف آلاینده های مختلف در تصفیه ی پساب، pH است که بر ظرفیت جذب و تجزیه ی ترکیبات هدف و توزیع بار الکتریکی مؤثر است. براساس مطالعات گذشته، pH نقش قابل توجهی در حذف غلظت

COD داشته است. در این مطالعه، به منظور بررسی اثر pH بر واکنش، مقدار اولیه‌ی آن در محدوده ۵-۱۰ با استفاده از برنامه‌ی طراحی آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا، بررسی اثر متقابل تغییرات غلظت منعقدکننده FeCl_3 در محدوده‌ی غلظتی ۵۰۰-۲۰۰۰ mg/L و تغییرات pH در محدوده ۵-۱۰ نمونه انجام شد. شکل‌های ۱ و ۲ بررسی حذف غلظتی و راندمان درصدی COD را نشان می‌دهد.



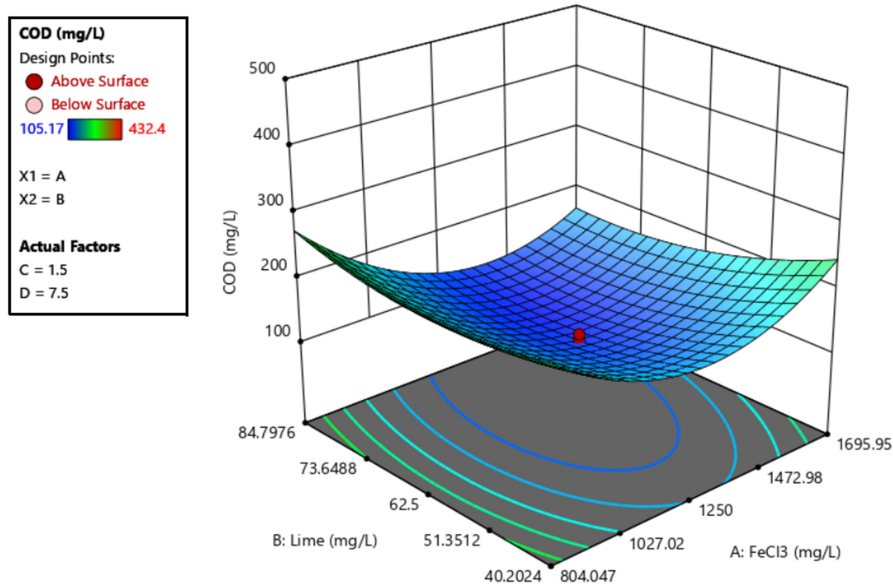
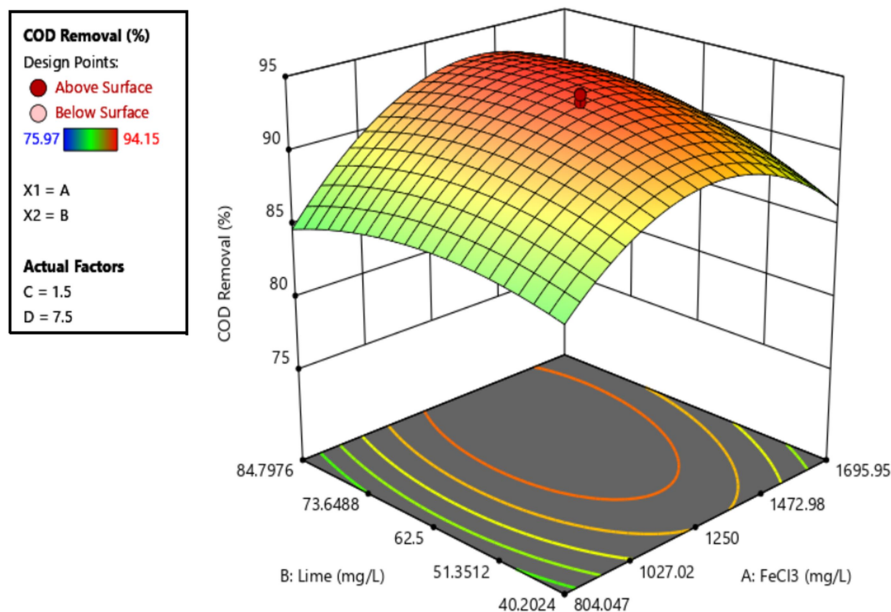
شکل (۱) تأثیر متقابل pH و غلظت FeCl_3 بر میزان حذف غلظتی COD



شکل (۲) بررسی میزان حذف غلظت COD با تغییر میزان pH و غلظت FeCl_3

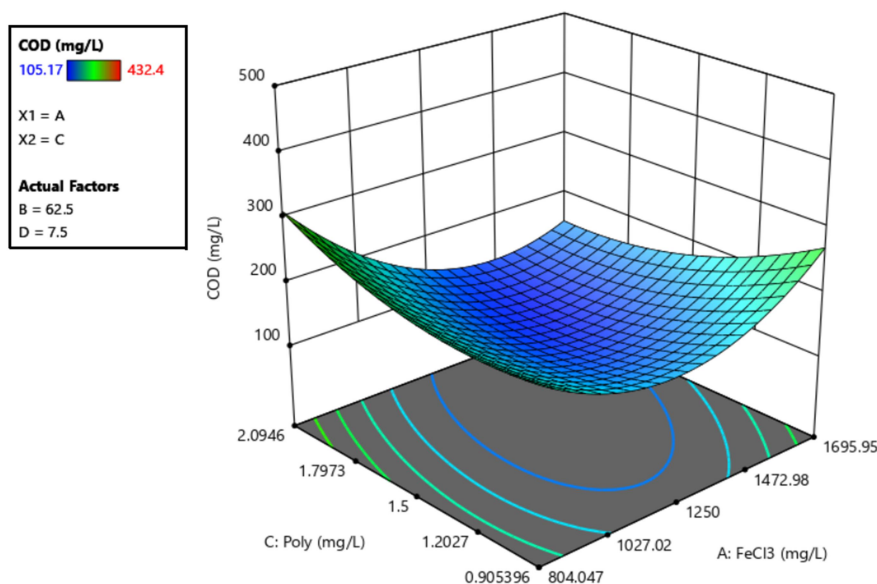
اثر متقابل غلظت منعقد کننده FeCl_3 و کمک منعقد کننده آهک

پس از تعیین غلظت بهینه‌ی منعقد کننده و pH بهینه، اثر متقابل تغییرات غلظت منعقد کننده FeCl_3 و کمک منعقد کننده آهک در pH و مقدار کمک منعقد کننده پلیمری ثابت به ترتیب برابر ۷/۵ و ۱/۵ mg/L مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر تغییرات غلظتی منعقد کننده و کمک منعقد کننده به ترتیب در بازه‌ی ۵۰۰-۲۰۰۰ mg/L و ۲۵-۱۰۰ mg/L قرار گرفت. نتایج حاصل در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

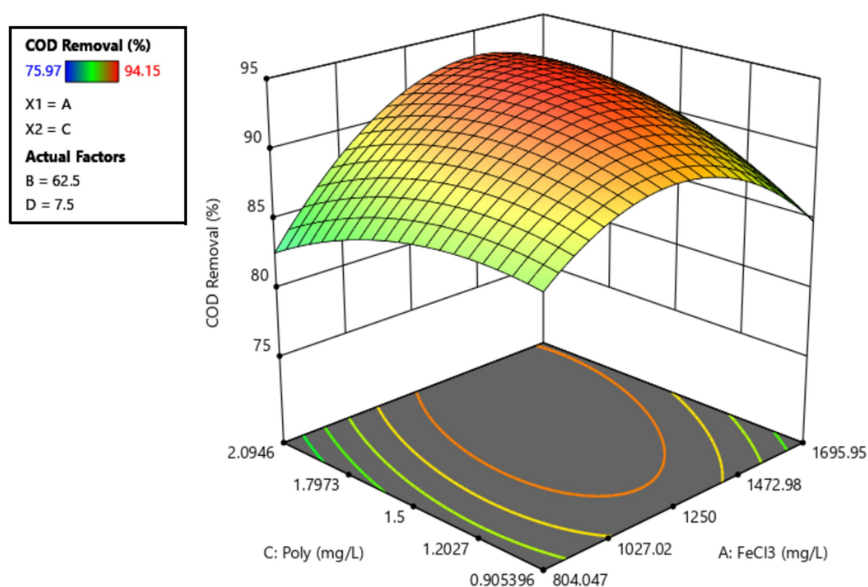
شکل (۳) تأثیر متقابل غلظت FeCl_3 و آهک بر میزان حذف غلظتی CODشکل (۴) بررسی حذف میزان غلظت COD با تغییر غلظت FeCl_3 و آهک

اثر متقابل غلظت منعقد کننده FeCl_3 و کمک منعقد کننده پلی آکریل آمید

همچنین، بررسی اثر متقابل تغییرات غلظت منعقدکننده FeCl_3 و کمک منعقدکننده پلی الکترولیتی نیز، در جهت تعیین تأثیر کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید در فرایند تصفیه‌ی پساب صنایع غذایی بیرونبر و تأثیر متقابل دو پارامتر در بازه‌ی غلظتی ۲-۵ mg/L مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمون‌ها، غلظت منعقدکننده در محدوده‌ی ۲۰۰۰-۵۰۰ mg/L و غلظت کمک منعقدکننده در مقدار ثابت ۶۲/۵ mg/L تنظیم شد و pH نمونه‌ی پساب اولیه در مقدار ثابت ۷/۵ قرار داده شد. شکل‌های ۵ و ۶ بررسی میزان حذف غلظتی و درصدی COD با استفاده از منعقدکننده FeCl_3 و کمک منعقدکننده‌ی پلی الکترولیت را نشان می‌دهد.



شکل (۵) تأثیر متقابل غلظت FeCl_3 و پلی الکترولیت بر میزان حذف غلظتی COD



شکل (۶) بررسی حذف میزان غلظت COD با تغییر غلظت FeCl_3 و پلی الکترولیت

نتایج آنالیز واریانس

نتایج آماری ANOVA

یکی از ابزارهای پرکاربرد در تحقیقات آماری، تحلیل واریانس^۱ است. در این روش سعی بر این است که اختلاف بین چند جامعه آماری، ارزیابی شود. باتوجه به پراکندگی کل داده‌ها، آنالیز واریانس بین گروه‌های مختلف در این روش امکان پذیر است. به این ترتیب، می توان برابر بودن میانگین داده‌ها را بین گروه‌های مختلف آزمود. در جدول ۵، نتایج آماری بررسی تصفیه پذیری پساب صنایع غذایی بیرون بر با استفاده از منعقد کننده $FeCl_3$ بررسی شده است.

جدول (۵) نتایج ANOVA برای مدل سطح پاسخ مربعی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	
مدل	۵۸۹/۳۱	۱۴	۴۲/۰۹	۱۹/۴۸	۰/۰۰۰۸	معنی دار
A- $FeCl_3$	۱۶/۴۰	۱	۱۶/۴۰	۷/۵۹	۰/۰۳۳۱	
B-lime	۴/۹۲	۱	۴/۹۲	۲/۲۸	۰/۱۸۱۹	
C-Poly	۲/۷۹	۱	۲/۷۹	۱/۹۲	۰/۲۹۹۴	
D-pH	۲/۱۸	۱	۲/۱۸	۱/۰۱	۰/۳۵۳۸	
AB	۴/۲۲	۱	۴/۲۲	۱/۹۵	۰/۲۱۱۷	
AC	۲۱/۹۸	۱	۲۱/۹۶	۱۰/۱۷	۰/۰۱۸۹	
AD	۲/۹۱	۱	۲/۹۱	۱/۳۵	۰/۲۹۰۰	
BC	۱۲/۳۶	۱	۱۲/۳۶	۵/۷۲	۰/۰۵۳۹	
BD	۹/۵۴	۱	۹/۵۴	۴/۴۲	۰/۰۸۰۳	
CD	۱۰/۵۸	۱	۱۰/۵۸	۴/۹۰	۰/۰۶۸۹	
A ²	۳۴۱/۵۷	۱	۳۴۱/۵۷	۱۵۸/۰۹	<۰/۰۰۰۱	
B ²	۳۳/۸۲	۱	۳۳/۸۲	۱۵/۶۵	۰/۰۰۷۵	
C ²	۴۷/۹۱	۱	۴۷/۹۱	۲۲/۱۸	۰/۰۰۳۳	
D ²	۴۹/۵۰	۱	۴۹/۵۰	۲۲/۹۱	۰/۰۰۳۰	
باقی مانده	۱۲/۹۶	۶	۲/۱۶			
شانس تشابه	۷/۷۲	۱	۷/۷۲	۷/۳۵	۰/۰۴۲۲	معنی دار
خطای خالص	۵/۲۵	۵	۱/۰۵			
همبستگی کل	۶۰۲/۲۷	۲۰				

شاخص‌های رگرسیونی منعقد کننده‌ی آهن (III) کلرید

جهت بررسی مطابقت داده ها و مقایسه ضرایب رگرسیون، نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های رگرسیونی تصفیه پساب صنایع غذایی به روش انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از منعقد کننده $FeCl_3$ با توجه به طراحی آزمایش انجام گرفته به مدل CCD در جدول ۶ نشان داده شده است.

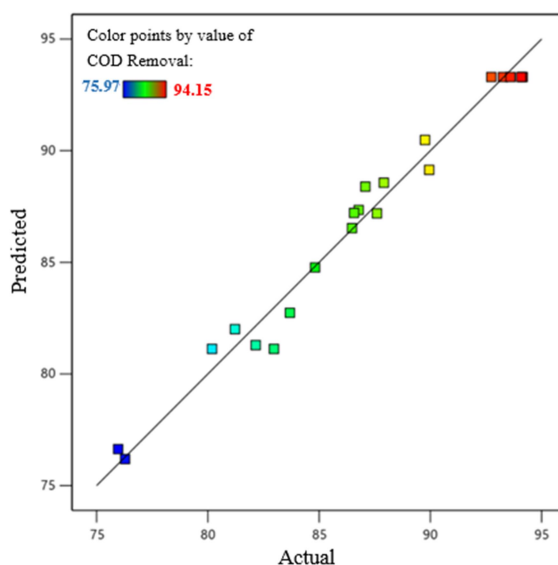
¹ Analysis of Variance

جدول (۶) شاخص های رگرسیون سطح پاسخ مربعی

۰/۹۷۸۵	R^2	۱/۴۷	انحراف استاندارد
۰/۹۶۸۳	محاسباتی R^2	۸۶/۵۴	میانگین
۰/۹۵۳۵	پیش‌بینی شده R^2	۱/۷۰	ضریب تغییرات (%)
۱۳/۷۷۲۶	صحت		

سنجش میزان مطابقت داده های تجربی و پیش‌بینی شده (ارزیابی شایستگی مدل)

نمودار مقادیر پیش‌بینی شده مدل در مقابل مقادیر واقعی حاصل از آزمایش‌ها در شکل ۷ آورده شده است. استفاده از نمودار احتمال نرمال برای باقی‌مانده‌ها جهت ارزیابی شایستگی مدل توسعه یافته بسیار سودمند است. این نمودارها یک ابزار مهم تشخیص جهت کشف و توضیح انحراف سیستماتیک مبتنی بر این فرض که خطاها به‌طور نرمال توزیع شده‌اند و مستقل از یکدیگر می‌باشند؛ هستند. هر چه انحراف از خط نیمساز کمتر باشد نشانگر تطابق بهتر پاسخ‌های پیش‌بینی شده از مدل‌ها با پاسخ‌های واقعی است. در حالت ایده‌آل مقادیر پیش‌بینی شده پاسخ‌ها با مقادیر واقعی آن‌ها بسیار به هم نزدیک‌اند.



شکل (۷) نمودار مقدار تجربی پاسخ در مقابل پاسخ‌های پیش‌بینی شده در فرآیند حذف غلظت COD با استفاده از منعقدکننده $FeCl_3$

مقایسه آنالیز پساب تصفیه شده با استانداردهای محیط زیست

پس از بررسی اثر منعقد کننده $FeCl_3$ و پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند انعقاد و لخته‌سازی و تعیین شرایط بهینه با بالاترین راندمان حذف COD از پساب غذای بیرونبر، پارامترهای دیگر از قبیل نیترات، فسفات، آمونیاک، کدورت، منگنز، آهن، دترجنت، روغن و چربی، هدایت الکتریکی و TDS نیز در پساب تصفیه شده آنالیز شد و با مقادیر پارامترهای ذکر شده در پساب خام (قبل از تصفیه) مورد مقایسه قرار گرفت که در جدول ۷ نشان داده شده است. همچنین، مقادیر استاندارد محیط زیست جهت تخلیه پساب به محیط پذیرنده نیز در جدول ۷ قرار داده شد و با مقادیر غلظتی پساب تصفیه شده مقایسه گردید.

جدول (۷) مشخصات عمومی پساب قبل و بعد از تصفیه، راندمان و مقادیر مجاز تخلیه به آب‌های سطحی و مقادیر مجاز

آلاینده	قبل از تصفیه	بعد از تصفیه	راندمان	مقادیر مجاز تخلیه به	مقادیر مجاز مصارف
				آب‌های سطحی	کشاورزی
نیترات (mg/L)	۱۴۳/۵۳	۱۴/۶۹	٪۸۹/۷۶	۱۰	-
فسفات (mg/L)	۷	۰	٪۱۰۰	۶	-
آمونیاک (mg/L)	۵/۸	۰/۴۸	٪۹۱/۷۲	۲/۵	-
کدورت (NTU)	۵۸/۳۰	۰/۰۰	٪۱۰۰	۵۰	۵۰
منگنز (mg/L)	۰/۵	۰/۰۰	٪۱۰۰	۱	۱
آهن (mg/L)	۳	۰/۰۰	٪۱۰۰	۳	۳
دترجنت (mg/L)	۵/۳۳	۱/۲۶	٪۷۶/۳۶	۱/۵	۰/۵
چربی و روغن (mg/L)	۱۴۸	۱۰	٪۹۳/۲۶	۱۰	۱۰
EC (mS/cm)	۱/۳۳۹	۰/۱۱۷	٪۹۱/۲۶	-	-
TDS (mg/L)	۸۷۵	۷۴/۹	٪۹۱/۷۲	مقدار TDS محیط اطراف را بیش از ۱۰ درصد افزایش ندهد.	-
COD (mg/L)	۱۸۰۰	۱۲۳/۹۷	٪۹۳/۱۱	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰

بحث در نتایج

بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی در فرآیند تصفیه پساب صنایع غذایی

پس از بررسی‌های آزمایشگاهی و دستیابی به نتایج حاصل از پارامترهای عملیاتی در فرآیند تصفیه پساب صنایع غذایی، نتایج حاصل مورد بحث و ارزیابی قرار گرفت.

اثر متقابل pH و غلظت منعقد کننده $FeCl_3$

با توجه به شکل‌های ۱ و ۲، افزایش بیش از مقدار بهینه‌ی منعقدکننده‌ی $FeCl_3$ ، باعث معکوس شدن بار آن‌ها و افت راندمان حذف COD شده است. در مواردی که مکانیسم غالب انعقاد، جذب و خنثی‌سازی بار است؛ با بیشتر شدن منعقدکننده از مقداری که با نام غلظت بحرانی منعقدکننده^۱ (CCC) شناخته می‌شود؛ درصد حذف، افت می‌کند و دلیل آن معکوس شدن بار سطحی کلوییدها به دلیل جذب بیش از حد محصولات هیدرولیز است (Abdollahzadeh Sharghi, Yadegari, & Davarpanah, 2018; Khettaf, Boumaraf, Benmahdi, Bouhidel, & Bouhelassa, 2021). نتایج بررسی نشان داد، استفاده از منعقدکننده $FeCl_3$ تا غلظت مشخصی، راندمان حذف را افزایش داده و پس از غلظت بحرانی، کاهش راندمان حذف و افزایش غلظت باقیمانده COD مشاهده شده است (Louhichi, Boussemlı, Ghrabi, Khouni, & Research, 2019). در بررسی اثر pH در راندمان تصفیه پساب صنایع غذایی با استفاده از منعقدکننده $FeCl_3$ می‌توان مشاهده کرد، افزایش pH تا غلظت مشخصی، تأثیر مثبت بر فرآیند تصفیه داشته و پس از آن، به دلیل تغییر ماهیت فرایند انعقاد، راندمان حذف را کاهش می‌دهد. در حقیقت، pH یک عامل مؤثر در واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی و تشکیل ترکیبات فلزی است. تأثیر pH اولیه محیط، بسته به نوع فرایند مورد استفاده، برای تصفیه و نوع آلاینده بسیار متفاوت است. در حقیقت، در pH‌های بالا، حلالیت

^۱ Critical Concentration of Coagulant

هیدروکسیدهای آهن کاهش می‌یابد و این ترکیبات با رسوب کردن، باعث حذف کلویدهایی که جذب آن‌ها شده‌اند، می‌شوند. با کمتر شدن pH از مقدار بهینه نیز، هیدروکسیدهای آهن، حل شده و باعث ورود مجدد کلویدهایی که جذب آن‌ها شده بودند به آب می‌شوند و به این صورت راندمان تصفیه کاهش می‌یابد (Akbal, Camcı, & Technology, 2010). بررسی اثر متقابل دو پارامتر نیز تأثیر مستقیم غلظت منعقدکننده $FeCl_3$ و pH را تا مقدار مشخص و بهینه برای هردو پارامتر نشان داده و پس از آن کاهش راندمان مشاهده می‌شود. در نتیجه دو پارامتر بر یکدیگر اثر مستقیم داشته و هم‌سو می‌باشند. بالاترین راندمان تصفیه نیز در حدود ۹۴ درصد با غلظت باقیمانده COD برابر 1.01 mg/L ، در غلظت منعقدکننده برابر 1250 mg/L ، pH برابر $7/5$ و غلظت کمک‌منعقدکننده پلیمری $1/5 \text{ mg/L}$ مشاهده شد.

اثر متقابل غلظت منعقد کننده $FeCl_3$ و کمک منعقد کننده آهک

باتوجه به شکل‌های ۳ و ۴ که مقادیر حذف غلظتی و راندمان حذف COD پس‌اب را نشان می‌دهند؛ افزایش غلظت کمک‌منعقدکننده آهک تا غلظت مشخصی که در محدوده‌ی غلظتی 60 mg/L تا 65 mg/L است؛ سبب افزایش راندمان حذف COD از پس‌اب صنایع غذایی شده و پس از این غلظت، به دلیل بالا بردن زیاد pH محیط (قلیایی نمودن پس‌اب) و تبدیل یون‌های Fe^{3+} به هیدروکسید آهن، موجب کاهش راندمان حذف ترکیبات آلی و معدنی و در نتیجه، کاهش راندمان حذف COD مشاهده می‌شود (Barbera & Gurnari, 2018; Qasim, Mane, & Industry, 2013). افزایش غلظت منعقدکننده $FeCl_3$ نیز تا غلظت بحرانی، افزایش راندمان حذف را در پی داشته و پس از آن، کاهش راندمان حذف مشاهده شده است. باتوجه به نتایج نشان‌داده شده در شکل‌های ۳ و ۴ و بررسی هرکدام از پارامترهای تأثیرگذار، دو پارامتر غلظت منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده آهک، اثر هم‌سو و مستقیم داشته و با افزایش هردو پارامتر تا غلظت مشخصی، افزایش راندمان حذف و پس از آن، کاهش راندمان حذف و افزایش غلظت COD مشاهده شده است. نهایتاً، مقادیر بهینه‌ی منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده، به ترتیب برابر 1250 mg/L و $62/5 \text{ mg/L}$ به‌عنوان مقادیر غلظتی بهینه با بالاترین راندمان حذف COD حدود ۹۴ درصد انتخاب شدند.

اثر متقابل غلظت منعقد کننده $FeCl_3$ و کمک منعقد کننده پلی‌آکریل آمید

شکل‌های ۵ و ۶، تأثیر مثبت کمک‌منعقدکننده در فرایند تصفیه را نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج نشان‌داده شده؛ غلظت منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده (لخته‌ساز) اثر قابل توجهی بر فرایند انعقاد/لخته‌سازی در تصفیه‌ی پس‌اب صنایع غذایی دارد. غلظت کمک‌منعقدکننده تا مقدار مشخصی سبب افزایش راندمان حذف COD شده و پس از آن، افزایش اندکی در راندمان حذف مشاهده شده است. افزایش راندمان حذف با افزایش غلظت کمک‌منعقدکننده، به دلیل چسباندن ذرات معلّق ایجاد شده به یکدیگر و جداسازی بهتر لخته‌ها از محیط پس‌اب می‌شود (Khouini, Louhichi, Ghrabi, Moulin, & Protection, 2020). در حقیقت، کمک‌منعقدکننده‌ها با ایجاد پل بین ذرات ریز لخته حاصل از فعالیت منعقدکننده‌ها، آن‌ها را به صورت لخته‌های درشت و سنگین در آورده و عمل ته‌نشینی را سرعت می‌بخشند (Chen, Eraghi Kazzaz, AlipoorMazandarani, Hosseinpour Feizi, & Fatehi, 2018; Ho, Chua, & Chong, 2020). افزایش غلظت منعقدکننده $FeCl_3$ نیز، همانطور که در بررسی‌های قبلی انجام گرفت؛ تا غلظت بحرانی، سبب افزایش راندمان حذف COD شده و پس از آن به دلیل معکوس شدن بار سطحی کلویدها و جذب بیش از حد محصولات هیدرولیز، کاهش راندمان حذف

COD و در نتیجه افزایش غلظت باقیمانده COD در پساب تصفیه شده مشاهده شد. بررسی اثر متقابل غلظت منعقدکننده FeCl_3 و کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید نیز به دلیل یکسان بودن رفتار شیمیایی، دارای اثر متقابل مستقیم و همسو بوده و افزایش هردو پارامتر تا غلظت مشخصی افزایش راندمان حذف COD و پس از آن سبب کاهش راندمان شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان حذف غلظت COD زمانی حاصل شد که کمک منعقدکننده پلی الکترولیت در غلظت $1/5 \text{ mg/L}$ و غلظت منعقدکننده FeCl_3 برابر 1250 mg/L مورد استفاده قرار گرفت.

بحث در نتایج آماری ANOVA

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (۵)، مقدار F-value برابر با $19/48$ ، نشان دهندهی مطابقت خوب این مدل با نتایج آزمایشگاهی است. در این مدل، تنها $0/0008$ ٪ احتمال خطا و عدم مطابقت داده ها وجود دارد که این فراوانی می تواند به علت نویز ایجاد شود. مقادیر P-value کمتر از $0/0500$ نیز بیانگر معنی دار بودن آزمایش است. همچنین، مقادیر بیشتر از $0/1000$ نشان می دهد که شرایط مدل معنی دار نیست (Turan, Erkan, Engin, & Protection, 2017). اگر تعدادی شرایط نامطلوب در مدل وجود داشته باشد (به جز موارد مورد نیاز برای تأیید مراحل آزمایش)، ممکن است کاهش تعداد مراحل مدل، مدل را بهبود بخشد. عدم تناسب F-value در مقدار $7/35$ به معنی عدم پردازش قابل توجه است. تنها $4/22$ درصد احتمال دارد که عدم تناسب F-value به دلیل نویز رخ دهد (Khoshvaght, Delnavaz, & Leili, 2021; Sibiya, Amo-Duodu, Tetteh, & Rathilal, 2022).

بررسی شاخص های رگرسیونی

بررسی های آماری شاخص های رگرسیونی جدول ۶ بیانگر این موضوع است که R^2 پیش بینی شده با مقدار $0/9535$ که میزان همبستگی پیش بینی شده نرم افزار است؛ مطابقت بهتری با داده های حاصل از نتایج آزمایشگاهی و همبستگی تجربی دارد. همچنین، با توجه به R^2 کل که دارای میانگین کلی برابر $86/54$ در مدل مورد استفاده است؛ پیش بینی کننده بهتری برای پاسخ نسبت به مدل فعلی است. در برخی موارد، یک مدل مرتبه بالاتر نیز ممکن است پیش بینی بهتری ارائه دهد (Arola, Ward, Mänttari, Kallioinen, & Batstone, 2019).

"صحت" نسبت سیگنال به نویز را اندازه گیری می کند و زمانیکه این نسبت بیشتر از ۴ باشد؛ آزمون انجام شده مطلوب است (Vijayan, Saravanane, Sundararajan, & Protection, 2017). در نتیجه نسبت مشاهده شده در این آزمون که برابر با $13/773$ است؛ نشان دهنده یک سیگنال مناسب است و این مدل می تواند برای انجام فضای طراحی استفاده شود.

ارزیابی شایستگی مدل

شکل ۷، نمودار مقدار تجربی پاسخ در مقابل پاسخ های پیش بینی شده به وسیلهی مدل مرتبهی دوم را نشان می دهد. در نمودار رسم شده، نزدیکی نقاط به خط راست با زاویهی ۴۵ درجه، بیانگر کیفیت مناسب مدل اجرا شده است و می توان به نتایج حاصل از طراحی آزمایش اعتماد نمود. در حقیقت، با استفاده از منعقدکننده FeCl_3 ، مقادیر پیش بینی شده توسط نرم افزار به نتایج کسب شده به روش تجربی و واقعی نزدیک بوده و مطابقت خوبی بین نتایج وجود دارد. در نتیجه، آزمایش دارای ضریب رگرسیون بالا است و می توان به نتایج اعتماد نمود.

مقایسه پساب تصفیه شده با استانداردهای محیط زیست

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۷ و مقایسه نتایج حاصل از تصفیه پساب غذای بیرون بر با مقادیر غلظتی استاندارد محیط زیست، مقدار COD پساب تصفیه شده که حدود 124 mg/L است؛ قابل تخلیه به زمین‌های کشاورزی جهت آبیاری مزارع بوده و با تصفیه تکمیلی می‌توان به آبهای سطحی یا چاه جاذب نیز تخلیه نمود. همچنین، آنالیز پارامترهای مهم محیط زیستی نیز نشان داد که مقادیر غلظتی پارامترهای فسفات، آمونیاک، کدورت، منگنز، آهن، چربی و روغن و TDS به مقادیر استاندارد جهت تخلیه به هر سه محیط پذیرنده از قبیل آبهای سطحی، چاه جاذب و زمین‌های کشاورزی رسیده است. در نهایت با بررسی تمامی پارامترهای مهم محیط زیستی، پساب تصفیه شده صنایع غذایی حاضر، قابل تخلیه به زمین‌های کشاورزی جهت آبیاری مزارع بوده و با اینکار می‌توان علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، با توجه به مقادیر استاندارد باقیمانده نیترات و آمونیاک، مواد معدنی موردنیاز زمین‌های کشاورزی را تامین کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی میزان تصفیه‌پذیری پساب کارخانه‌ی صنایع غذایی بیرون بر با فرآیند شیمیایی انعقاد و لخته‌سازی پرداخته شد. پس از تعیین محدوده پارامترهای تأثیرگذار، طراحی آزمایش به کمک نرم‌افزار DOE، با مدل مرکب مرکزی (CCD) انجام شد. در این آزمایش‌ها، مقدار منعقدکننده‌ی آهن (III) کلرید در محدوده غلظتی $500-2000 \text{ mg/L}$ و کمک‌منعقدکننده‌های آهک و پلی‌الکترولیت به ترتیب در مقادیر غلظتی $25-100$ و $0.5-2$ تعیین شد. همچنین، pH اولیه بین ۵-۱۰ انتخاب گردید. جهت تعیین مقادیر بهینه، آنالیز COD به‌عنوان آزمون هدف انتخاب شد. پس از آزمایش‌های انجام شده و مشخص شدن شرایط بهینه، نهایتاً سنجش آلاینده‌های فیزیکی و شیمیایی انجام گرفت و داده‌های حاصل، بررسی آماری شد. نتایج بررسی شرایط بهینه‌ی تک‌عامله و اثر متقابل داده‌ها با کمک نرم‌افزار طراحی آزمایش نشان داد که منعقدکننده‌ی آهن (III) کلرید، منعقدکننده‌ی مناسبی برای تصفیه‌ی پساب صنایع غذایی بیرون بر بوده و بیشترین میزان حذف غلظت COD برابر با میزان $94/15\%$ را در مقدار منعقد کننده برابر 1250 mg/L و مقادیر کمک منعقد کننده پلیمری و آهکی به ترتیب برابر $1/5 \text{ mg/L}$ و $62/5 \text{ mg/L}$ نشان داد. در نتیجه‌ی این آزمایش‌ها، pH بهینه $7/5$ حاصل شد. بررسی‌های آماری نیز نشان داد که مقدار $19/48$ در مدل F-value نشان دهنده‌ی مطابقت خوب این مدل با نتایج آزمایشگاهی بوده و همچنین، مقادیر P-value کمتر از $0/0500$ نیز بیانگر معنی‌دار بودن آزمایش است. همچنین، مطابقت خوبی بین نتایج واقعی آزمایشگاه و نتایج پیش‌بینی‌شده نرم‌افزار مشاهده شد. در عین حال، این آزمایش‌ها نشان داد که منعقد کننده FeCl_3 ، علاوه بر کاهش قابل توجه COD، باعث حذف چشم‌گیر مقدار آلاینده‌های پساب مانند آمونیاک، نیترات، فسفات و ... نیز شده و پساب تخلیه شده مطابق با استانداردهای تخلیه محیط زیستی به زمین‌های کشاورزی، قابل تخلیه برای آبیاری مزارع کشاورزی است.

منابع

- AbdollahzadehSharghi, E., Yadegari, F., & Davarpanah, L. J. J. o. E. H. E. (2018). Investigation of Coagulation and Flocculation Process in Chemical Pre-Treatment of Livestock Wastewater. 6(1), 99-110.
- Abubakar, M., Okonkwo, P., Edomwonyi-Otu, L. J. N. J. o. E. S., & Research, T. (2023). KINETIC STUDIES AND OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS FOR ACTIVATED SLUDGE TREATMENT OF TANNERY WASTEWATER USING DESIGN EXPERT. 9(2), 96-108.

- Akbal, F., Camcı, S. J. C. E., & Technology. (2010). Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation for heavy metal removal. *33*(10), 1655-1664.
- Alkhamisi, S. A., Ahmed, M. J. E. C., & Change, F. o. A. i. t. G. C. C. C. F. A. i. t. C. o. C. (2014). Opportunities and challenges of using treated wastewater in agriculture. *۱۲۳-۱۰۹*.
- Amin, A., Al Bazedı, G., & Abdel-Fatah, M. A. J. A. S. E. J. (2021). Experimental study and mathematical model of coagulation/sedimentation units for treatment of food processing wastewater. *12*(1), 195-203.
- Arola, K., Ward, A., Mänttari, M., Kallioinen, M., & Batstone, D. J. W. r. (2019). Transport of pharmaceuticals during electro dialysis treatment of wastewater. *161*, 496-504.
- Atta, H. A., Hummadi, K. K., M-Ridha, M. J. J. D., & TREATMENT, W. (2022). The application of response surface methodology and Design-Expert® for analysis of ciprofloxacin removal from aqueous solution using raw rice husk: kinetic and isotherm studies. *248*, 203-216.
- Balbinoti, J. R., dos Santos Junior, R. E., de Sousa, L. B. F., de Jesus Bassetti, F., Balbinoti, T. C. V., Jorge, R. M. M., & de Matos Jorge, L. M. J. J. o. W. P. E. (2023). Plant-based coagulants for food industry wastewater treatment. *52*, 103525.
- Barbera, M., & Gurnari, G. (2018). *Wastewater treatment and reuse in the food industry*: Springer.
- Bayuo, J., Abukari, M. A., & Pelig-Ba, K. B. J. A. W. S. (2020). Optimization using central composite design (CCD) of response surface methodology (RSM) for biosorption of hexavalent chromium from aqueous media. *10*(6), 1-12.
- Chen, J., Eraghi Kazzaz, A., AlipoorMazandarani, N., Hosseinpour Feizi, Z., & Fatehi, P. J. M. (2018). Production of flocculants, adsorbents, and dispersants from lignin. *23*(4), 868.
- Fitriani, N., Mohamed, R. M. S. R., Affandi, M., Nurdin, R. R., & Kurniawan, S. B. J. J. o. E. E. (2023). Performance of intermittent slow sand filter processing units in treating food court wastewater. *24*(4).
- Gasemloo, S., Khosravi, M., Sohrabi, M. R., Dastmalchi, S., & Gharbani, P. J. J. o. C. P. (2019). Response surface methodology (RSM) modeling to improve removal of Cr (VI) ions from tannery wastewater using sulfated carboxymethyl cellulose nanofilter. *208*, 736-742.
- Gulzamana, H., & Baloo, L. J. A. o. t. R. S. f. C. B. (2021). Design Expert Application in the Optimization of Cadmium (II) by Chitosan from Produced water. *25*(6), 4687-4695.
- Hernández, K., Muro, C., Ortega, R. E., Velazquez, S., & Riera, F. J. E. T. (2021). Water recovery by treatment of food industry wastewater using membrane processes. *42*(5), 775-788.
- Ho, Y.-C., Chua, S.-C., & Chong, F.-K. (2020). Coagulation-flocculation technology in water and wastewater treatment. In *Handbook of Research on Resource Management for Pollution and Waste Treatment* (pp. 432-457): IGI Global.
- Hu, R., Liu, Y., Zhu, G., Chen, C., Hantoko, D., & Yan, M. J. J. o. W. P. E. (2022). COD removal of wastewater from hydrothermal carbonization of food waste: Using coagulation combined activated carbon adsorption. *45*, 102462.
- Jia, X., Li, M., Wang, Y., Wu, Y., Zhu, L., Wang, X., . . . Ecotechnology. (2020). Enhancement of hydrogen production and energy recovery through electro-fermentation from the dark fermentation effluent of food waste. *1*, 100006.
- Kaur, B., Garg, R. K., & Singh, A. P. J. J. o. E. T. T. (2021). Treatment of wastewater from pulp and paper mill using coagulation and flocculation. *9*(1), 158-163.
- Khettaf, S., Boumaraf, R., Benmahdi, F., Bouhidel, K.-E., & Bouhelassa, M. J. A. L. (2021). Removal of the neutral dissolved organic matter (NDOM) from surface water by coagulation/flocculation and nanofiltration. *54*(17), 2713-2726.

- Khoshvaght, H., Delnavaz, M., & Leili, M. J. J. o. W. P. E. (2021). Optimization of acetaminophen removal from high load synthetic pharmaceutical wastewater by experimental and ANOVA analysis. *42*, 102107.
- Khouni, I., Louhichi, G., Ghrabi, A., Moulin, P. J. P. S., & Protection, E. (2020). Efficiency of a coagulation/flocculation-membrane filtration hybrid process for the treatment of vegetable oil refinery wastewater for safe reuse and recovery. *135*, 323-341.
- Louhichi, G., Bousseml, L., Ghrabi, A., Khouni, I. J. E. S., & Research, P. (2019). Process optimization via response surface methodology in the physico-chemical treatment of vegetable oil refinery wastewater. *26*, 18993-19011.
- Mateus, A., Torres, J., Marimon-Bolivar, W., Pulgarín, L. J. W. R., & Industry. (2021). Implementation of magnetic bentonite in food industry wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation. *26*, 100154.
- Muhamad Ng, S. N., Idrus, S., Ahsan, A., Tuan Mohd Marzuki, T. N., & Mahat, S. B. J. M. (۲۰۲۱). Treatment of wastewater from a food and beverage industry using conventional wastewater treatment integrated with membrane bioreactor system: A pilot-scale case study. *11(6)*, 456.
- Pervez, M. N., Mishu, M. R., Stylios, G. K., Hasan, S. W., Zhao, Y., Cai, Y., . . . Naddeo, V. J. W. (2021). Sustainable treatment of food industry wastewater using membrane technology: A short review. *13(23)*, 3450.
- Popoola, L. T. J. H. (2019). Nano-magnetic walnut shell-rice husk for Cd (II) sorption: design and optimization using artificial intelligence and design expert. *5(8)*.
- Qasim, W., Mane, A. J. W. R., & Industry. (2013). Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. *4*, 1-12.
- Shrivastava, V., Ali, I., Marjub, M. M., Rene, E. R., & Soto, A. M. F. J. C. (2022). Wastewater in the food industry: Treatment technologies and reuse potential. *293*, 133553.
- Sibiya, N., Amo-Duodu, G., Tetteh, E. K., & Rathilal, S. J. M. T. P. (2022). Response surface optimisation of a magnetic coagulation process for wastewater treatment via Box-Behnken. *62*, S122-S126.
- Turan, N. B., Erkan, H. S., Engin, G. O. J. P. S., & Protection, E. (2017). The investigation of shale gas wastewater treatment by electro-Fenton process. Statistical optimization of operational parameters. *109*, 203-213.
- Vijayan, G., Saravanane, R., Sundararajan, T. J. J. o. G., & Protection, E. (2017). Study on the effect of variation of flow in sequencing batch reactor using PCA and ANOVA. *5(4)*, 56-74.
- طاهریون، & پور، م. (۲۰۱۹). ارزیابی فرآیند انعقاد و لخته سازی در حذف فلزات سنگین از پساب شیمیایی مجتمع فولاد مبارکه. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱(۶)، ۴۶-۶۰.
- کوهستانی، اسلامی، زاده، ک.، & رامین. (۲۰۱۹). بهینه‌سازی آماری با استفاده از طراحی مرکب مرکزی برای فرایند سیلیس‌زدایی از زئولیت طبیعی جهت جذب آب از سوخت دیزل. سوخت و احتراق، ۱۲(۴)، ۹۷-۱۱۰.

Filename: 1403- 9(15) 47-57.docx
Directory: C:\Users\sajede\Desktop\New folder (4)\New folder (3)
Template: C:\Users\sajede\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: PC1
Keywords:
Comments:
Creation Date: 9/12/2024 12:59:00 PM
Change Number: 14
Last Saved On: 9/12/2024 1:05:00 PM
Last Saved By: sajede
Total Editing Time: -17 Minutes
Last Printed On: 9/12/2024 1:06:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 18
Number of Words: 9,037 (approx.)
Number of Characters: 51,511 (approx.)