مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره پنج، مردادماه ۱۴۰۰(۱۱۱-۹۵)

تصفیه پسابهای پالایشگاهی با استفاده از فرآیند ترکیبی فنتون - ماوراءبنفش

هادی شایق [۱]

حمید کاظمی اسفه [۲*]

h.kazemi.esfeh@gmail.com

حسین حسینی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۶ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: حذف هیدروکربن‌های سنگین و پساب‌های بیولوژیکی عموماً پیچیده و دشوار است. هدف از این تحقیق تصفیه پسابهای پالایشگاهی با استفاده از فرآیند ترکیبی فنتون - ماوراءبنفش می‌باشد.

روش بررسی: فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته می‌توانند ضمن کاهش بار شیمیایی پساب به کاهش بار بیولوژیکی نیز منجر شوند. در این تحقیق، مطالعه آزمایشگاهی کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) و روغن و گریس (O & G) با روش فنتون و تابش اشعه ماوراءبنفش انجام شده و اثر شرایط عملیاتی مانند pH، میزان آب‌اکسیژنه، دما و زمان پرتو دهی اشعه ماوراءبنفش بررسی شد.

یافته‌ها: نمونه پساب صنعتی از یکی از شرکت‌های پالایشگاهی تهیه شد. مطابق نتایج بدست آمده، شرایط بهینه جهت حذف COD شامل زمان پرتودهی ۳۰ دقیقه، pH برابر ۳، دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، میزان آب اکسیژنه محلول ۸۵ میلی‌لیتر نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر و حذف COD تا ۷۴/۴۵٪ بدست آمد. همچنین شرایط بهینه جهت حذف روغن و گریس شامل زمان پرتودهی ۲۰دقیقه، pH برابر۳، دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، میزان آب اکسیژنه محلول ۸۵ میلی‌لیتر نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر و حذف روغن و گریس تا ۸۹/۸٪ بدست آمد. همچنین شرایط بهینه جهت حذف BOD شامل زمان پرتودهی ۲۰ دقیقه، pH برابر۴، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میزان آب اکسیژنه محلول ۶۵ میلی‌لیتر نسبت به ۲۵۰میلی‌لیتر از محلول بوده و تحت این شرایط حذف BOD تا ۸۲/۴۹٪ بدست آمد.

بحث و نتیجه گیری: مطالعه آزمایشگاهی کاهش COD، BOD و O & G با استفاده از واکنش فنتون با آب‌اکسیژنه مورد تحقیق قرار گرفت و اثر شرایط عملیاتی مانند pH ، آب‌اکسیژنه، دما و زمان پرتو دهی اشعه ماوراءبنفش بررسی و در نهایت مشخص گردید که روش فنتون همراه با تابش اشعه ماوراءبنفش برای حذف یا کاهش این مواد آلاینده در پساب پالایشگاهی موثر می‌باشد.

واژه های کلیدی: فنتون، ماوراءبنفش، COD، BOD، O & G.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی-مهندسی فرآیند، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، آبادان، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، ماهشهر، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، آبادان، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 5, August, 2021

Wastewater Treatment of Oil Refineries by Using of UV-Assisted Fenton Process

Hadi Shayegh[1]
Hamid Kazemi Esfe[2*]
h.kazemi.esfeh@gmail.com
Hossein Hosseini [3]

Admission Date:August 7, 2019 Date Received: July 28, 2018

Abstract

Background and Objective: The removal of heavy hydrocarbons and biological wastewater is generally difficult. Finding a suitable way to eliminate or reduce these factors is one of the goals of this research.

Materials and Methodology: Although there are special processes for removing or reducing the hydrocarbon and biological load of water, but in industrial wastewater containing hydrocarbon, the evaluation of advanced oxidation processes can reduce not only the burden of the wastewater but also reduce the Biological bad effects. Therefore, in the present study, an experimental study of COD, BOD and O & G reduction using Fenton reaction with ultra-violet irridiation has been investigated.

Results: A sample of industrial waste from one of the refineries was prepared. According to the results, the optimal conditions for COD removal was observed as follow: irradiation time 30 minutes, pH=3, temperature=35°C, water content=85 ml of oxygen dissolved in water than 250 ml of wastewater and COD removal was observed up to 45.44%. The optimal conditions for removing O&G were: 23 min, pH=3, temperature 35°C, dissolved oxygen content of 85 ml, compared to 250 ml of wastewater. Also O&G was eliminated to 89.8%. The optimal conditions for removing BOD were: the irradiation time is 20 minutes, pH=4, the temperature is 25°C, the soluble oxygen content is 65 ml, compared to 250 ml of the wastewater and the removal of BOD was observed to be 49.82%.

Discussion and Conclusion: Laboratory study of COD, BOD and O&G reduction in wastewater was investigated by using Fenton reaction with ultraviolet irridiation. It was found that the Fenton method with ultraviolet irridiation is a suitable method for the removal or reduction of COD, BOD and O&G in refinery wastewater.

Keywords: Fenton, Ultra Violet, COD, BOD, O&G.

1 -M.Sc., Chemical Engineering-Process Engineering, Islamic Azad university of Abadan, Abadan, Iran.
2-Assistant Professor, Chemical Engineering, Islamic Azad University, Mahshahr Unit, Mahshahr, Iran. *(Corresponding Author)
3- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Abadan Branch, Abadan, Iran.

مقدمه

موضوع حذف آلودگی‌های هیدروکربنی و بیولوژیکی از پساب خروجی صنایع از جمله شرکت‌های پالایشگاهی که حاوی ترکیبات آلی آروماتیکی با ماهیت سمی و خطرناک و نیز قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتا کم می‌باشند، از نظر زیست‌محیطی اهمیت فراوانی دارد. با توجه به این که این نوع آلودگی‌ها با بهترین تکنولوژی متداول موجود برای تصفیه این پساب‌ها نیز حذف نمی‌گردند و یا ممکن است غیر اقتصادی باشند، نیاز به تکنولوژی‌های جدید و کاراتر برای تصفیه چنین پساب‌هائی با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های جدید سازمان‌های زیست محیطی روزبروز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. برای مثال برخی از روش‌های اکسیداسیون معمولی یا روش کربن فعال، در برخی موارد در رساندن غلظت مواد آلی به حد مجاز کارا نبوده، بنابراین استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های قدیمی‌تر باشد(۱). شن و همکاران در سال ۱۹۹۷ رآکتوری مجهز به همزن و ژاکت خنک کننده جهت کنترل دما با ظرفیت ۲۱ لیتر را برای فرآیند فنتون تهیه نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که در pH بالاتر از ۳، تجزیه آلاینده‌ها به شدت کاهش می‌یابد. افزایش غلظت $FeSO_4$ با ثابت نگه داشتن غلظت H_2O_2 موجب افزایش حذف مواد آلی COD می‌گردد. همچنین بهترین دما برای واکنش فنتون ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است(۲). بوم جی و همکاران در سال ۱۹۹۹ تحقیقاتی را جهت حذف پاراکلروفنل(p-chlorophenol) انجام دادند. نتایج نشان می‌داد که pH مناسب برای حذف این ماده ۳ می‌باشد، در حالی که در pH مساوی ۱، به دلیل عدم تولید رادیکال $^{\circ}OH$، تجزیه مواد انجام نشد(۳). یون و کیونگ یوب در سال ۲۰۰۰ با هدف کاهش آلودگی پساب حاوی COD به میزان ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، یک پایلوت آزمایشگاهی تهیه نمودند. نتایج آنها حاکی از آن بود که بیشترین میزان حذف COD در pH برابر ۳/۵ بوده است که این میزان حذف در pH با مقدار ۶ به شدت کاهش یافته است. همچنین با افزایش مقدار نمک $FeSO_4$ تا مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف COD افزایش نشان می‌داد(۴). بنی تز و همکاران در سال ۲۰۰۱ با هدف حذف پارا هیدروکسی فنیل اسید استیک (p-hydroxy phenylaceticacid) سامانه‌ای آزمایشگاهی شامل رآکتور مجهز به همزن با ظرفیت ۵۰۰ میلی‌لیتر تهیه کردند. نتایج نشان‌دهنده آن بود که با افزایش غلظت یون‌های آهن Fe^{2+} و H_2O_2 میزان تخریب مواد آلی افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش غلظت مواد آلاینده، میزان تخریب کاهش می‌یابد. در این واکنش مقدار pH مناسب، ۳ می‌باشد(۵). ریواس و همکاران در سال ۲۰۰۱ با هدف حذف پارا هیدروکسی بنزوئیک اسید (p-hydroxybenzoic acid) رآکتوری با ظرفیت ثابت ۱۱ میلی‌لیتر آماده نمودند. نتایج نشان از آن داشت که افزایش غلظت یون های آهن و آب‌اکسیژنه، منجر به افزایش حذف مواد آلی و افزایش pH از ۳ به ۷ موجب کاهش میزان تخریب می‌شود. غلظت بهینه برای یون آهن نیز ۵ میلی مول بود(۶). بیات و همکاران در سال ۱۳۹۱ با هدف حذف آلاینده رنگزای اسید رد ۲۰۶ از آبهای آلوده به وسیله نانوفوتو کاتالیست $ZnFe_2O_4$/Bentonite در راکتور ناپیوسته، تحقیقی را به انجام رساندند. در شرایط بهینه با pH برابر ۵، مقدار آب اکسیژنه یک میلی‌لیتر، مقدار نانوفوتوکاتالیست ppm ۷۵و دما ۲۹۳ درجه کلوین، بیشترین راندمان مشاهده گردید(۷). اندازه‌گیری BOD با استفاده از استانداردهای ISO5815:2003 (۸) و ISO5815-2:2003 و بر اساس تفاوت میزان اکسیژن محلول قبل و بعد از انکوباسیون انجام می‌شود(۹). الحرباوی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با هدف تصفیه پساب بیمارستان (شامل: COD، BOD_5، NH_3، NO_3^-، PO_4^{3-}، Color) تحقیقی را به انجام رساندند. نتایج ایشان نشان داد که کاهش میزان pH به کمتر از ۳، موجب حذف بهتر کربن غیر آلی به دلیل پوشش رادیکال OH شده است و افزایش نسبت مولی آب اکسیژنه به یون آهن به میزان ۱/۲ به ۱، بیشترین کارائی را در حذف مواد آلی دارد، اما افزایش بیش از حد آن به دلیل واکنش آب اکسیژنه اضافی

با رادیکال OH موجب کاهش بازده حذف مواد آلی گردید. همچنین میزان حذف COD و BOD_5 با واکنش فنتون ۹۵٪ شد(۱۰). بیگلری و همکاران در سال ۱۳۹۱ با هدف حذف هیومیک اسید از محیط‌های آبی توسط فرآیند اکسیداسیون فنتون پژوهشی را انجام دادند. نتایج نشان داد که کمترین غلظت باقی مانده هیومک اسید، در نسبت ۴۰ به ۴ پراکسید هیدروژن به سولفات آهن در pH مساوی ۳ می‌باشد و فرآیند فنتون قادر است غلظت هیومک اسید را به میزان بالا از محیط های آبی کاهش دهد(۱۱). موسوی و همکاران در سال ۱۳۸۸ با هدف بررسی کارایی فرآیند اکسیداسیون فنتون در کاهش آلودگی مواد شوینده از آب، تحقیقی را به انجام رساندند. نتایج نشان داد افزایش در غلظت اکسیدان و کاتالیست، کارایی حذف را افزایش می‌دهد. نسبت BOD/COD در زمان ۶۰ دقیقه در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر H_2O_2 و ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر یون فرو، ۰/۲۲۵ بهبود یافت. با اندازه‌گیری pH بعد از واکنش مشاهده شد که pH به علت تولید مواد حد واسط اسیدی از ۳ به ۲/۶ کاهش می‌یابد که می‌تواند برای کنترل فرآیند مورد بررسی قرار گیرد(۱۲). یونسی و همکاران در سال ۱۳۹۴ با هدف بهینه‌سازی تصفیه شیرابه کمپوست با استفاده از فرآیند اکسیداسیون پیشرفته H_2O_2/UV تحقیقی را انجام دادند. شرایط بهینه، در pH اولیه ۷/۵، در آب اکسیژنه و زمان تماس با اشعه UV در ۹۵ دقیقه حاصل شد. میزان کاهش COD، رنگ و کدورت شیرابه در شرایط بهینه حذف با روش پاسخ سطحی توسط فرآیند H_2O_2/UV به ترتیب ٪۱۲/۳۲، ٪۲۰/۸۳ و NTU ۶۸/۸ به دست آمد. نتایج نشان داد فرآیند H_2O_2/UV در کاهش کدورت موفق‌تر بوده است ولی در حذف COD کارایی چندانی نداشته است(۱۳). یوسف و همکاران در سال ۲۰۱۶ با هدف کاهش آلودگی زیست محیطی بر روی تجزیه متیل اورانژ تحقیق نمودند. نتایج نشان می‌داد تاثیر پارامترهای غلظت اولیه رنگ، pH و میزان H_2O_2 برای حذف رنگ توسط این روش ۹۷/۸ درصد بوده است(۱۴). فرناندز و همکاران در سال ۲۰۱۸ فرآیند تجزیه رنگ‌های آزو (RED343) توسط فرآیند فنتون را بررسی نموده اند. نتایج بیانگر آن بود که غلظت کاتالیست آهن و میزان H_2O_2 اولیه به کار رفته در این فرآیند بسیار موثر بوده است(۱۵). ستین‌کایا و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای مقایسه‌ای بین روش‌های کلاسیک و نوین فنتون، با استفاده از امواج آلتراسونیک بر روی پساب صنایع نساجی انجام دادند. پارامترهای pH، مقدار آهن و H_2O_2 و زمان واکنش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد علی رغم کاهش مصرف مواد شیمیایی، رنگ زدایی در فرآیند فنتون آلتراسونیک افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از این فرآیند باعث کاهش زمان واکنش و هزینه ماده شیمیایی شده و آب رنگ زدایی (تصفیه) شده قابلیت استفاده مجدد خواهد داشت(۱۶). ورما و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر روی تجزیه آموکسی سیلین با استفاده از فرآیند فنتون و سایر فرآیندهای هیبریدی فنتون نظیر فوتو-فنتون، سولار فوتو-فنتون، سونو-فنتون و سونو-فوتو-فنتون تحقیق کرده اند. در این تحقیق اثر پارامترهای یون آهن (Fe^{2+}) و پر اکسید هیدروژن و pH مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد هنگامی که فرآیند کلاسیک فنتون با تابش اشعه UV یا نور خورشید همراه شود، واکنش‌ها افزایش محسوسی یافته و راندمان تجزیه افزایش پیدا می‌کند(۱۷).

هدف از این تحقیق، بهبود فرآیند تصفیه پساب پالایشگاهی حاوی COD، BOD و O & G که دارای ماهیت سمی با قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتا کم می‌باشد، به روش اکسیداسیون پیشرفته و با استفاده از فرآیند ترکیبی فنتون – ماوراءبنفش است که وجه تمایز آن با فرآیند فنتون کلاسیک، به کارگیری تابش اشعه UV به عنوان یکی از فرآیندهای نوین فنتون و نیز استفاده از پساب غیر سنتزی (غیر آزمایشگاهی) و واقعی پالایشگاهی می‌باشد. از آن جایی که این فرآیند هر دو مزیت رفع آلودگی و ضد عفونی کنندگی را با هم دارا می‌باشد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول جهت ارتقای بهداشت و حفظ محیط زیست، با در نظر گرفتن استانداردها و دستورالعمل های جدید زیست‌محیطی باشد. مطابق یافته های جدید فرآیندهای نوین فنتون باعث کاهش زمان انجام واکنش و هزینه ماده شیمیایی و در نتیجه افزایش راندمان واکنش شده و در برخی موارد آب تصفیه شده قابلیت استفاده مجدد نیز خواهد داشت.

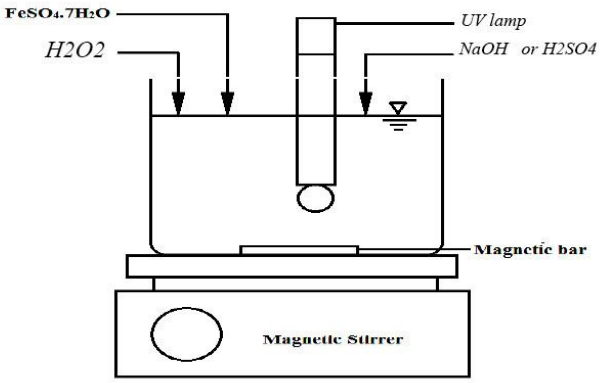
۱. مشخصات پساب و سامانه آزمایشگاهی

اطلاعات پساب استفاده شده در آزمایش ها در جدول ۱ آورده شده است. مواد شیمیایی و دستگاه‌های مورد استفاده شامل ویال COD (۱۵۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر) تهیه شده از شرکت HACH، دستگاه DR 2400 ساخت شرکت HACH، انکوباتور Thermostat cabinet ساخت شرکت lovibond جهت آزمایش BOD، مجموعه معرف‌ها و افزودنی‌ها شامل هیدروکسید لیتیوم (Lithium hydroxide) و بافر تغذیه (Nutrient buffer)، دستگاه HORIBA جهت اندازه‌گیری O & G، حلال S-316 جهت دستگاه اندازه‌گیری O & G، نمک آهن ($FeSO_4.7H_2O$)، آب اکسیژنه (H_2O_2) ساخت شرکت MERCK، همزن مغناطیسی با قابلیت تنظیم دمایی و لامپ UV قلمی ساخت شرکت Analytik jena می‌باشد. شکل ۱ شماتیک سامانه (SET UP) آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج آزمایش های اولیه پساب صنعتی مورد استفاده

Table 1. Results of initial industrial wastewater experiments that were used

آزمایش	نتیجه	واحد
pH	۷/۵۱	---
TDS	۱۴۸۱	میلی‌گرم بر لیتر
E.C	۲۱۳۲	میکرو زیمنس بر ثانیه (µS/cm)
T.S.S	۱۷۱	میلی‌گرم بر لیتر
M alkalinity as $CaCO_3$	۱۸۸/۴	میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم(mg/L as $CaCO_3$)
T.H as $CaCO_3$	۵۱۰	میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم(mg/L as $CaCO_3$)
turbidity	۱۰۷	NTU
COD	۶۲۵	میلی‌گرم بر لیتر
BOD	۲۰۸	میلی‌گرم بر لیتر
O & G	۱۱۰	میلی‌گرم بر لیتر
DO	۲۰۸	میلی‌گرم بر لیتر



شکل۱- شماتیک کلی فرآیند واکنش فنتون

Figure 1. A schematic diagram of the Fenton reaction proces

۲. روش کار و بهینه کردن شرایط واکنش

آزمایش ها در حالت ناپیوسته (Batch) جهت بررسی اثر متغیّرهای مختلف شامل pH، زمان اختلاط و پرتودهی، دما و میزان آب اکسیژنه بر فرآیند انجام شد که در ابتدا زمان بهینه به دست آمد و سپس pH، دما و میزان آب اکسیژنه در سه سطح مختلف بهینه گردید. هدف از بهینه نمودن پارامترهای ذکر شده، بررسی میزان افزایش راندمان فرآیند نوین فنتون نسبت به سایر فرآیندها می‌باشد. پس از انجام آزمایش ها، غلظت آلاینده‌ها اندازه گیری و مقادیر بهینه به دست آمد و در ادامه طراحی آزمایش، با نرم‌افزار Qualitec-4 و الگوریتم های روش تاگوچی (۱۰) با دریافت پارامترها و سطوح مربوطه و با استفاده از آزمون های پیشنهادی و پاسخ های به دست آمده از خواص آنها با هدف کاهش تعداد آزمایش های مورد نیاز و کمترین زمان ممکن برای رسیدن به نتایج مطلوب صورت پذیرفت که با توجه به ۴ متغیر و ۳ سطح برای هر متغیر، تعداد ۹ آزمایش توسط نرم‌افزار پیش‌بینی گردید. پس از انجام این آزمایش ها در شرایط مذکور، مقادیر بهینه پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار به دست آمد. نرم‌افزار پیش‌بینی نمود در صورت انجام آزمایش ها در شرایط بهینه، میزان حذف کلی COD، BOD و O & G به ترتیب برابر ۶۶/۸۲ ، ۸۲/۴۹ و ۸۹/۸ درصد خواهد بود. در پایان جهت تأیید کار، آزمایش ها در شرایط بهینه و مؤثرترین سطوح پارامترها در یکی از آزمایشگاه های معتبر پالایشگاهی کشور دارای گواهینامه ISO-17025 (آزمایشگاه مرجع) انجام گرفت. مقایسه نتایج به دست آمده از انجام آزمایش ها با مقادیر پیش بینی شده توسط نرم افزار نشان می دهد پارامتر های بهینه به دست آمده از آزمایش ها معتبر بوده و دارای صحت و دقت قابل قبول می باشند.

۱،۲. بهینه کردن زمان پرتودهی

برای بهینه نمودن زمان پرتودهی در ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب، سایر پارامترها مطابق جدول ۲ ثابت در نظر گرفته شده است (جدول۳). هدف از بهینه‌سازی زمان تماس، رسیدن به کمترین زمان مطلوبی است که بیشترین حذف در آن اتفاق می‌افتد. با توجه به این که آهن در pH های بازی تشکیل رسوب می‌دهد، مقدار pH اسیدی اختیار شد که با توجه به مقالات مطالعه شده (۱-۱۷) و دریافت نتایج مطلوب در pH بین ۳ تا ۴ ، مقدار pH برای شروع ۳ انتخاب گردید. همچنین دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به عنوان دمای شروع واکنش انتخاب شد. با توجه به بیست برابر گرفتن مقدار آب اکسیژنه به مقدار نمک آهن در مقالات، در این تحقیق مقادیر ۱۳، ۱۷ و ۲۱ برابر یعنی ۵ گرم نمک آهن و ۶۵، ۸۵ و ۱۰۵میلی‌لیتر به عنوان مقادیر ثابت آب اکسیژنه و مقدار میانی ۸۵ میلی‌لیتر جهت بهینه‌سازی زمان پرتودهی انتخاب گردید. با توجه به مقادیر نهایی COD، BOD و O&G بر حسب زمان، می‌توان از شکل۲ این گونه نتیجه‌گیری نمود که زمان بهینه برای حذف COD، BOD و O&G به ترتیب ۳۰، ۲۰ و ۲۰ دقیقه به دست آمده است.

جدول ۲- شرایط اولیه جهت بهینه نمودن زمان پرتودهی

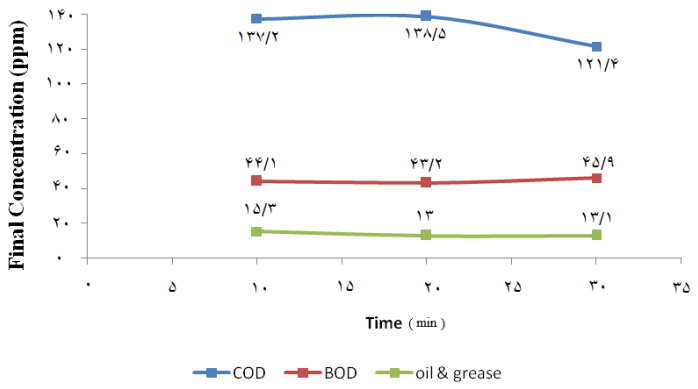
Table2.Initial time for optimization of Irradiation time

pH میزان	دمای انجام واکنش	میزان آب اکسیژنه مصرفی	میزان نمک آهن
۳	۲۵ درجه سانتی‌گراد	۸۵ میلی لیتر	۵ گرم

جدول ۳- نتایج قبل و بعد از فرآیند پرتو دهی

Table3. Results related to before and after Irradiation process

مدت زمان تابش UV	COD (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب	BOD (میلی‌گرم برلیتر)		درصد جذب	O&G (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب
	قبل	بعد		قبل	بعد		قبل	بعد	
۱۰ دقیقه	۶۲۵	۱۳۷/۲	۷۹/۰۴	۲۰۸	۴۴/۱	۷۸/۸	۱۱۰	۱۵/۳	۸۶/۱
۲۰ دقیقه	۶۲۵	۱۳۸/۵	۷۷/۸۴	۲۰۸	۴۳/۲	۷۹/۲۳	۱۱۰	۱۳/۰	۸۸/۲
۳۰ دقیقه	۶۲۵	۱۲۱/۴	۸۰/۵۸	۲۰۸	۴۵/۹	۷۷/۹۳	۱۱۰	۱۳/۱	۸۸/۲



شکل ۲- مقادیر نهایی COD، BOD، O & G بر حسب سه زمان متغیر جهت بهینه‌سازی زمان پرتودهی

Figure 2. Final COD، BOD، O & G values via three variable times for optimization of irradiation

۲،۲. بهینه کردن pH محلول

بهینه نمودن pH در ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب با ثابت در نظرگرفتن پارامترهای جدول ۴ انجام شده است (جدول۵). هدف از بهینه‌سازی pH دستیابی به مقداری از pH است که میزان حذف حداکثری پارامترهای آلاینده را به دنبال دارد. جهت تنظیم pH از محلول‌های اسید سولفوریک ۵ نرمال و هیدروکسید سدیم ۵ نرمال استفاده شده است. با توجه به مقادیر نهایی COD، BOD و O&G بر حسب pH، می‌توان از شکل۳ این گونه نتیجه‌گیری کرد که pH بهینه برای حذف COD، BOD و O&G به ترتیب ۳، ۴ و ۳ می‌باشد.

جدول ۴- شرایط اولیه برای بهینه نمودن pH محلول

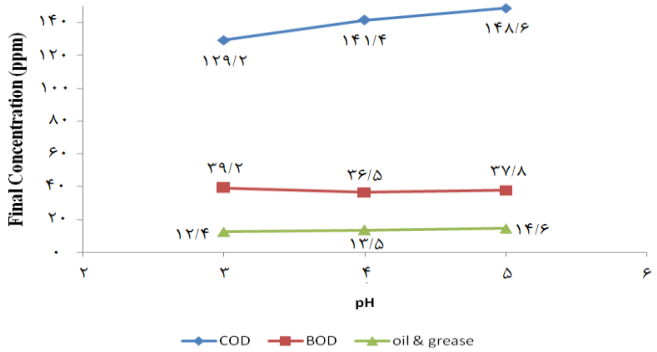
Table4. Initial time for optimization of pH

مدت زمان تابش اشعه UV	دمای انجام واکنش	میزان آب اکسیژنه	میزان نمک آهن
۳۰ دقیقه	۲۵ درجه سانتی‌گراد	۸۵ میلی لیتر	۵ گرم

جدول ۵- نتایج قبل و بعد از فرآیند پرتو دهی (pH)

Table5. Results related to before and after Irradiation process (pH)

pH	COD (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب	BOD (میلی‌گرم برلیتر)		درصد جذب	O&G (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب
	قبل	بعد		قبل	بعد		قبل	بعد	
۳	۶۲۵	۱۲۹/۲	۷۹/۳۳	۲۰۸	۳۹/۲	۸۱/۱۵	۱۱۰	۱۲/۴	۸۸/۷۳
۴	۶۲۵	۱۴۱/۴	۷۷/۳۸	۲۰۸	۳۶/۵	۸۲/۴۵	۱۱۰	۱۳/۵	۸۷/۷۳
۵	۶۲۵	۱۴۸/۶	۷۶/۲۲	۲۰۸	۳۷/۸	۸۱/۸۳	۱۱۰	۱۴/۱	۸۶/۷۳



شکل ۳- مقادیر نهایی COD، BOD، O & G بر حسب سه pH متغیر جهت بهینه‌سازی pH

Figure 3. Final COD، BOD، O & G values via three variable pH for optimization of pH

۳،۲. بهینه کردن دمای واکنش

بهینه نمودن دما در ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب با ثابت در نظرگرفتن پارامترهای جدول ۶ انجام شده است (جدول۷). هدف از بهینه‌سازی دما، یافتن شرایط دمایی است که می‌توان آلایندگی را با صرف هزینه کمتر، به پایین‌ترین مقدار ممکن رساند. با توجه به مقادیر نهایی COD، BOD و O&G بر حسب دما، از شکل ۴ این گونه نتیجه گیری می‌شود که دمای بهینه برای حذف COD، BOD و O&G بترتیب ۳۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول ۶- شرایط اولیه برای بهینه نمودن دمای انجام واکنش

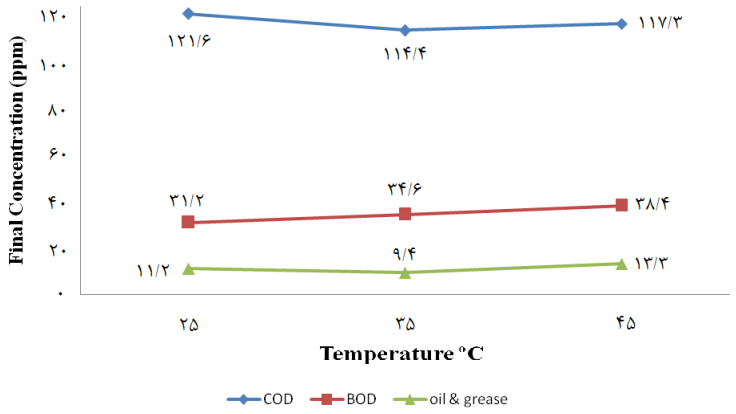
Table6.Initial time for optimization of reaction temperature

مدت زمان تابش اشعه UV	میزان pH	میزان آب اکسیژنه مصرفی	میزان نمک آهن
۳۰ دقیقه	۳	۸۵ میلی لیتر	۵ گرم

جدول ۷- نتایج قبل و بعد از فرآیند پرتو دهی (دما)

Table7. Results related to before and after Irradiation (Temperature)

میزان دما (سانتی‌گراد)	COD (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب	BOD (میلی‌گرم برلیتر)		درصد جذب	O&G (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب
	قبل	بعد		قبل	بعد		قبل	بعد	
۲۵	۶۲۵	۱۲۱/۶	۸۰/۵	۲۰۸	۳۱/۲	۸۵	۱۱۰	۱۱/۲	۸۹/۸۲
۳۵	۶۲۵	۱۱۴/۴	۸۱/۷	۲۰۸	۳۴/۶	۸۳/۴	۱۱۰	۹/۴	۹۱/۴۵
۴۵	۶۲۵	۱۱۷/۳	۸۱/۲	۲۰۸	۳۸/۴	۸۱/۵	۱۱۰	۱۳/۳	۸۷/۹۱



شکل ۴- مقادیر نهایی COD، BOD، O & G بر حسب سه دمای متغیر جهت بهینه‌سازی دما

Figure4. Final COD، BOD،O&G values via three variable temperature for optimization of temperature

۴،۲. بهینه کردن میزان آب اکسیژنه

بهینه نمودن میزان آب اکسیژنه در۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب با ثابت در نظرگرفتن پارامترهای جدول ۸ انجام شده است (جدول۹). هدف از بهینه‌سازی مقدار مصرف آب اکسیژنه، صرفه جویی و کاهش هزینه های تصفیه پساب است. با توجه به مقادیر نهایی COD، BOD و O&G بر حسب میزان مصرف آب اکسیژنه نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب، می توان از شکل ۵ این گونه نتیجه گیری نمود که میزان آب اکسیژنه بهینه برای حذف COD، BOD و O&G به ترتیب ۸۵، ۶۵ و ۶۵ میلی‌لیتر می‌باشد.

جدول ۸- شرایط اولیه برای بهینه نمودن آب اکسیژنه مصرفی

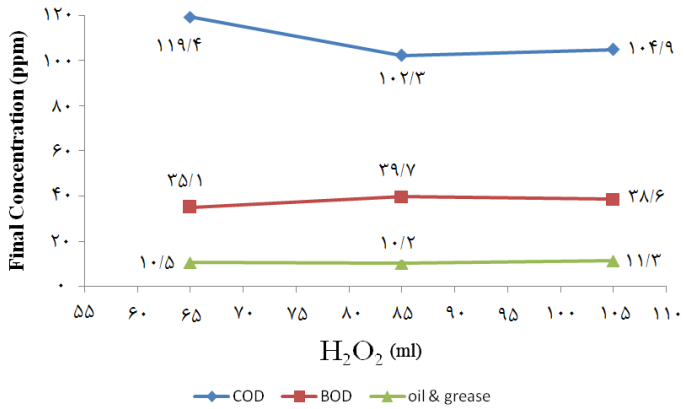
Table8.Initial time for optimization of H_2O_2 consumption

مدت زمان تابش اشعه UV	میزان pH	دمای انجام واکنش	میزان نمک آهن
۳۰ دقیقه	۳	۲۵ درجه سانتی‌گراد	۵ گرم

جدول ۹- نتایج قبل و بعد از فرآیند پرتو دهی (آب اکسیژنه)

Table9. Results related to before and after Irradiation process (H_2O_2)

میزان آب اکسیژنه (میلی لیتر)	COD (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب	BOD (میلی‌گرم برلیتر)		درصد جذب	O&G (میلی‌گرم بر لیتر)		درصد جذب
	قبل	بعد		قبل	بعد		قبل	بعد	
۶۵	۶۲۵	۱۱۹/۴	۸۰/۹	۲۰۸	۳۵/۱	۸۳/۱۲	۱۱۰	۱۰/۵	۹۰/۴
۸۵	۶۲۵	۱۰۲/۳	۸۳/۶	۲۰۸	۳۹/۷	۸۰/۹	۱۱۰	۱۰/۲	۹۰/۷
۱۰۵	۶۲۵	۱۰۴/۹	۸۳/۲	۲۰۸	۳۸/۶	۸۱/۴	۱۱۰	۱۰/۳	۸۹/۷



شکل ۵- مقادیر نهایی COD، BOD، O & G بر حسب میزان مصرفی H_2O_2 جهت بهینه‌سازی آب اکسیژنه مصرفی

Figure 5.Final COD، BOD، O & G values via H_2O_2 consumption for optimization of H_2O_2 consumption

۳. طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec–4

جهت بررسی هر کدام از ۴ پارامتر نامبرده شده، ۳ سطح در نظر گرفته شد و آزمایش ها با توجه به طراحی آزمایش صورت گرفته توسط نرم‌افزار، انجام شد که نتایج در جداول ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. نرم‌افزار طراحی آزمایش با استفاده از الگوریتم های روش تاگوچی با دریافت پارامترها و سطوح مربوطه، تعداد محدودی آزمایش را پیشنهاد می‌دهد که با صرف کمترین زمان ممکن نتایج مطلوب به دست آمده و از انجام تعداد زیاد آزمایش جلوگیری می نماید. این نرم‌افزار با استفاده از آزمون های پیشنهادی و پاسخ های به دست آمده از خواص آنها، شرایط بهینه را پیشنهاد می نماید. بدیهی است شرایط بهینه، پس از انجام آزمایش و دریافت نتایج جذب مشخص خواهد شد.

جدول ۱۰- پارامتر و سطوح مربوط جهت طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4

Table 10. Parameters and related levels for designing the test using Qualitec-4 software

پارامترها	سطوح		
زمان پرتودهی (دقیقه)	۱۰	۲۰	۳۰
pH	۳	۴	۵
دما (سانتی‌گراد)	۲۵	۳۵	۴۵
میزان آب اکسیژنه محلول (میلی لیتر)	۶۵	۸۵	۱۰۵

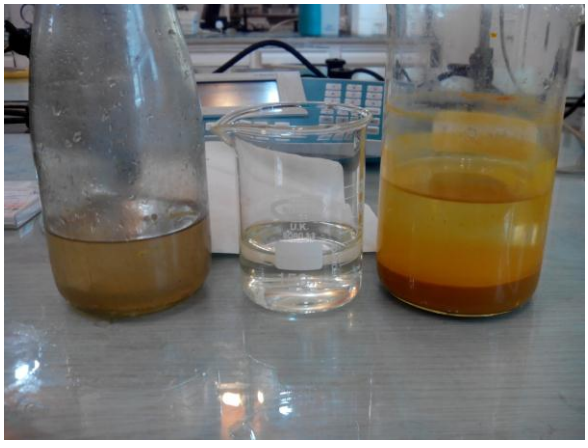
جدول ۱۱- آرایه L-9 نرم‌افزار Qualitec-4 همراه با مقادیر نهایی و درصد جذب شده COD، BOD، O & G آزمایش ها

Table11.L-9 array Qualitec software with final values and percentage of adsorbed COD,BOD,Oil&grease

شماره آزمایش	زمان پرتودهی	pH	دما (سانتی گراد)	میزان آب اکسیژنه (میلی لیتر)	COD		BOD		O & G	
					پس از پرتودهی (ppm)	درصد جذب	پس از پرتودهی (ppm)	درصد جذب	پس از پرتودهی (ppm)	درصد جذب
۱	۱۰	۳	۲۵	۶۵	۱۰۴/۳۸	۸۳/۳	۲۰/۴	۹۰/۲	۵/۳۹	۹۵/۱
۲	۱۰	۴	۳۵	۸۵	۱۲۸/۱۳	۷۹/۵	۳۱	۸۵/۱	۷/۵۹	۹۳/۱
۳	۱۰	۵	۴۵	۱۰۵	۷۷/۵	۸۷/۶	۱۱/۲	۹۴/۶	۹/۶۸	۹۱/۲
۴	۲۰	۳	۳۵	۱۰۵	۱۲۳/۷۵	۸۰/۲	۱۹/۸	۹۰/۵	۵/۹۵	۹۴/۶
۵	۲۰	۴	۴۵	۶۵	۹۱/۲۵	۸۵/۴	۱۹/۱	۹۰/۸	۹/۵۷	۹۱/۳
۶	۲۰	۵	۲۵	۸۵	۶۶/۲۵	۸۹/۴	۳۲/۹	۸۴/۲	۱۰/۵۶	۹۰/۴
۷	۳۰	۳	۴۵	۸۵	۱۸۶/۸۸	۷۰/۱	۲۸/۳	۸۶/۴	۶/۶	۹۴
۸	۳۰	۴	۲۵	۱۰۵	۱۷۱/۸۸	۷۲/۵	۱۱/۲	۹۴/۶	۸/۲۵	۹۲/۵
۹	۳۰	۵	۳۵	۶۵	۱۶۵	۷۳/۶	۱۳/۷	۹۳/۴	۴/۸۴	۹۵/۶

تجزیه و تحلیل نتایج

شکل ۶، از راست به چپ، نمونه پساب پس از اضافه نمودن آب اکسیژنه، نمک آهن، تنظیم pH و فرآیند پرتو دهی، سپس نمونه سرریز شده پس از گذشت زمان ماند و ته نشینی و در نهایت نمونه اولیه پساب را نشان می‌دهد.

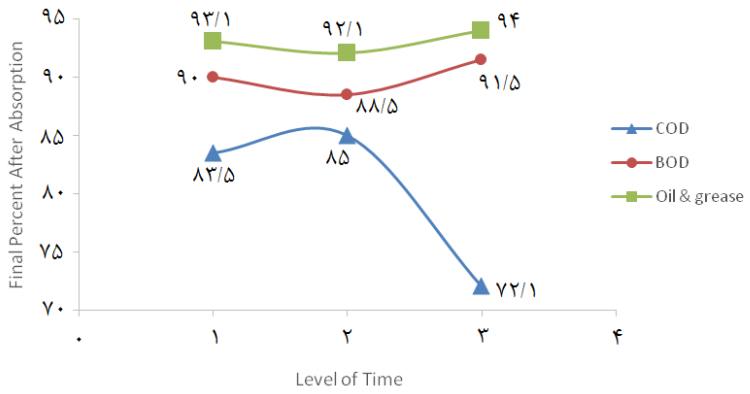


شکل ۶- شکل ظاهری نمونه ها طی فرآیند

Figure 6 - Appearance of the samples during the process

پس از تجزیه و تحلیل توسط نرم‌افزار Qualitec-4، پیش‌بینی شرایط بهینه جهت آزمایش های حذف COD، BOD و O&G عبارت اند از : زمان پرتودهی به ترتیب برابر ۳۰، ۲۰ و ۲۰ دقیقه، pH برابر ۳، ۴ و ۳، دما برابر ۳۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و میزان آب اکسیژنه استفاده شده برابر ۸۵، ۶۵ و ۸۵ میلی‌لیتر نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب. طبق

پیش‌بینی نرم‌افزار در شرایط بهینه، درصد جذب COD، BOD و O&G به ترتیب برابر با ۶۶/۸۲، ۸۲/۴۹ و ۸۹/۸ خواهد شد. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها برای زمان پرتودهی و ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر بر حسب زمان، از شکل ۷ می توان نتیجه گرفت که زمان بهینه برای حذف COD، BOD و O&G، ۳۰، ۲۰ و ۲۰ دقیقه بوده که طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 نیز این مطلب را تایید می نماید.



شکل ۷- متوسط تاثیر زمان پرتودهی بر کاهش مقدار COD، BOD و O & G

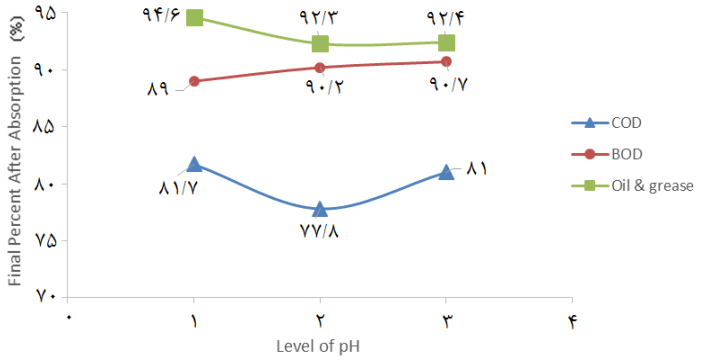
Figure 7. The average effect of irradiation time on reducing the amount of COD، BOD، O & G

مطابق شکل ۸ از نتایج به دست آمده از آزمایش ها جهت اندازه‌گیری pH بهینه و با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر نتیجه گرفتیم که pH بهینه برای کاهش میزان COD برابر با ۳ بوده که طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 نیز این مطلب را تایید نمود. علت کاهش راندمان حذف مواد آلی در pH های بالاتر از ۵، تبدیل فرم یون فرو به یون فریک است که موجب کاهش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل در فرآیند فنتون و در نتیجه کاهش راندمان حذف می‌گردد.

در pH های اسیدی واکنش بین پراکسید هیدروژن و یون فرو اتفاق می‌افتد که موجب تجزیه بسیاری از آلاینده‌های آلی می‌گردد. در pH های بالاتر از ۱، یون فریک به شکل $Fe(OH)_3$ رسوب کرده و پراکسید هیدروژن نیز به اکسیژن و آب تجزیه می‌شود.

همچنین نتیجه گرفتیم که pH برابر ۴ برای کاهش میزان BOD مناسب بوده اما با طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 مقدار بهینه‌ای برابر با ۳ داشته است. نتیجه این که مقادیر pH بین ۳ تا ۴ مقدار مناسبی جهت کاهش میزان BOD می‌باشد. علت این موضوع آن است که در pH های اسیدی واکنش بین پراکسید هیدروژن و یون فرو اتفاق می‌افتد که موجب تجزیه بسیاری از آلاینده‌های بیولوژیکی می‌گردد. همان طور که گفته شد در pH های بالاتر از ۱، یون فریک به شکل $Fe(OH)_3$ رسوب کرده و پراکسید هیدروژن نیز به اکسیژن و آب تجزیه می‌شود. علاوه بر تشکیل کمپلکس‌های یون فرو در pH های قلیائی و کاهش غلظت یون فرو، در محیط قلیائی از تشکیل مجدد یون فرو توسط واکنش بین Fe^{3+} و H_2O_2 جلوگیری می‌شود. همچنین در محیط‌های قلیایی تشکیل عواملی مانند کربنات‌ها موجب خاموش شدن رادیکال‌های هیدروکسیل می شوند. در pH های کمتر از ۱ نیز با توجه به تشکیل گونه‌های کمپلکس $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ واکنش اکسیداسیون کاهش می‌یابد، زیرا در مقایسه با گونه $[Fe(OH)(H_2O)_5]^{2+}$ واکنش کندتری با پراکسید هیدروژن دارند. pH های اسیدی تشکیل یون پایدار اکسینیوم $[H_3O_2]^{+}$را افزایش می‌دهند، از طرف دیگر در حضور غلظت‌های بالای یون H^+ خاصیت الکترون‌دوستی پراکسید هیدروژن، پایداری یون‌های اکسینیوم را افزایش می‌دهد و همچنین موجب کاهش واکنش‌پذیری پراکسید هیدروژن با یون های فرو می شود.

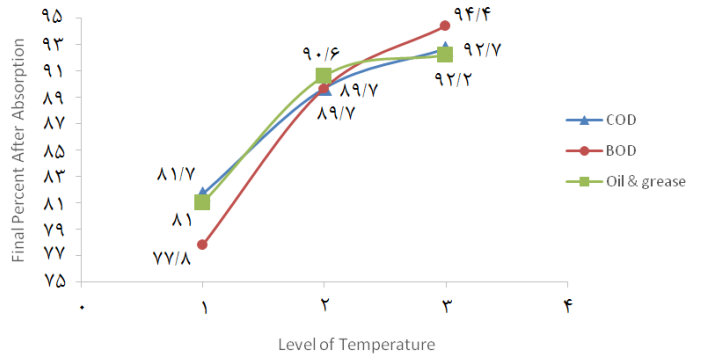
به همین ترتیب نتیجه گرفتیم که pH بهینه برای کاهش میزان O&G برابر با ۳ بوده اما با طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 مقدار بهینه‌ای برابر با ۴ داشته است. نتیجه این که مقادیر pH بین ۳ تا ۴ مقدار مناسبی جهت کاهش میزانO & G می‌باشد. در این جا نیز علت کاهش راندمان حذف مواد آلی در pH های بالاتر از ۵ تبدیل فرم یون فرو به یون فریک است که موجب کاهش تولید رادیکال های هیدروکسیل در فرآیند فنتون و در نتیجه کاهش راندمان حذف می‌گردد. دیگر علت آن را می توان به قابلیت مواد آلی در کاهش فرم یون فریک به فرم یون فرو در محیط های آبی نسبت داد.



شکل۸- متوسط تاثیر pH بر کاهش مقدار BOD،COD وO & G

Figure 8. The average effect of pH on reducing the amount of COD ،BOD ،O & G

اندازه‌گیری دمای بهینه با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر مطابق شکل ۹ نشان داد که مقدار دمای بهینه برای کاهش میزان COD و BOD به ترتیب در ۳۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد حاصل گردیده است که طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec -4 هم این مطلب را تایید نمود. و دمای بهینه برای کاهش میزان O&G، در ۳۵ درجه سانتی‌گراد حاصل گردیده است، اما با طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec -4 مقدار بهینه برابر با ۴۵ درجه سانتی‌گراد شده است. نتیجه این که مقادیر بین ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد مقدار مناسبی جهت کاهش میزانO & G می‌باشد.



شکل ۹- متوسط تاثیر دما بر کاهش مقدار BOD،COD وO & G

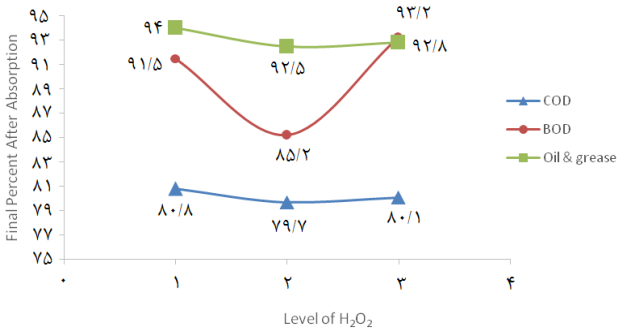
Figure 9. Average temperature effect on reducing the amount of COD، BOD، O & G

تحلیل نتایج میزان اضافه نمودن آب اکسیژنه مصرفی با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر مطابق شکل ۱۰ نشان داد که برای کاهش میزان COD مقدار ۸۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب مورد نیاز است که طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 نیز این مطلب را تایید نمود. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که

فرآیند فنتون قادر است غلظت COD موجود در پساب را به میزان بالایی کاهش دهد.

تحلیل نتایج میزان اضافه نمودن آب اکسیژنه مصرفی با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر مطابق شکل ۱۰ نشان داد که برای کاهش میزان BOD مقدار ۶۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب مورد نیاز است، اما با طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec -4 مقدار بهینه‌ای برابر با ۸۵ میلی‌لیتر داشته است. همان طور که اشاره شد مقدار کمتر یعنی ۶۵ میلی‌لیتر جهت جلوگیری از مصرف بیش از حد آب اکسیژنه در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد تنظیم میزان آب اکسیژنه و نمک آهن پارامتر راهبردی و اقتصادی مهم و یک پارامتر کلیدی در کنترل فرآیند فنتون می‌باشند.

تحلیل نتایج میزان اضافه نمودن آب اکسیژنه مصرفی با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر مطابق شکل ۱۰ نشان داد که برای کاهش میزان O&G مقدار ۸۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول پساب مورد نیاز است که طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Qualitec -4 مقدار بهینه‌ای برابر با ۸۵ میلی‌لیتر داشته است. همان طور که از قبل ذکر شد با توجه به نزدیکی مقادیر نهایی حذف O & G در ۶۵ میلی‌لیتر و ۸۵ میلی‌لیتر مقدار کمتر یعنی ۶۵ میلی‌لیتر جهت جلوگیری از مصرف بیش از حد آب اکسیژنه در نظر گرفته می‌شود. افزایش بیش از حد آب اکسیژنه به دلیل واکنش آب اکسیژنه اضافی با رادیکال OH موجب کاهش بازده حذف مواد آلی می‌گردد.



شکل ۱۰- متوسط تاثیر میزان آب اکسیژنه بر کاهش مقدار BOD،COD و O & G

Figure 10 . The average effect of oxygen content on reducing the amount of COD، BOD، O & G

شکل ۱۱-۱ نمودار بیشترین تاثیرات و برهم‌کنش متقابل دو پارامتر بر کاهش مقدار COD را نشان می‌دهد. مطابق نتایج حاصل مشهود است که تاثیر همزمان دما و pH می‌تواند بیشترین تاثیر را بر کاهش COD پساب داشته باشد. پس از این پارامترها بیشترین تاثیر پارامترهای دوتایی را pH و زمان دارند و کمترین تاثیر دوتایی مربوط به دو پارامتر زمان و دما می‌باشد.

همچنین مطابق شکل ۱۱-۲ از نتایج حاصل مشهود است که تاثیر همزمان دما و زمان می‌تواند بیشترین تاثیر را بر کاهش BOD پساب داشته باشد. پس از این پارامترها بیشترین تاثیر پارامترهای دوتایی را pH و دما دارند و کمترین تاثیر دوتایی مربوط به دو پارامتر pH و غلظت پراکسید می‌باشد.

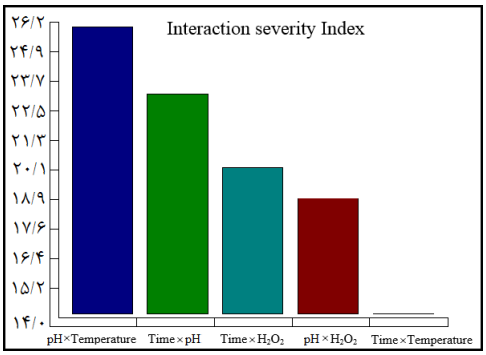
به همین ترتیب مطابق شکل ۱۱-۳ از نتایج حاصل مشهود است که تاثیر همزمان زمان و دما می‌تواند بیشترین تاثیر را بر کاهش O&G پساب داشته باشد. پس از این پارامترها بیشترین تاثیر پارامترهای دوتایی را pH و آب اکسیژنه و کمترین تاثیر دوتایی مربوط به دو پارامتر زمان و آب اکسیژنه می‌باشد.

طبق پیش‌بینی نرم‌افزار Qualitec-4 در شرایط بهینه، درصد حذف COD مقداری برابر با ۶۶/۸۲ خواهد داشت. در شرایط بهینه به دست آمده طی۲ نوبت، آزمایش کاهش میزان COD انجام شد و هر دو مرتبه درصد جذب برابر با ۷۰/۲۶ و ۷۴/۴۵ حاصل گردید که با توجه به درصد خطای انسانی و آزمایشگاهی جواب‌ها قابل قبول می‌باشند.

همچنین طبق پیش‌بینی نرم‌افزار Qualitec-4 در شرایط بهینه، درصد کاهش BOD مقداری برابر با ۸۲/۴۹ خواهد

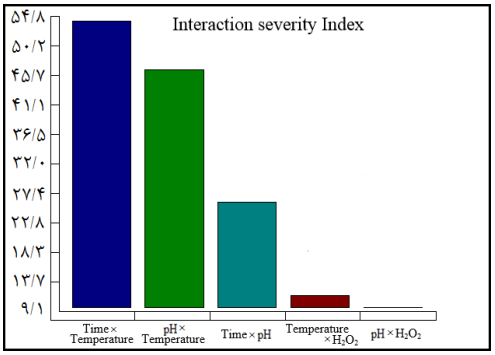
داشت. در شرایط بهینه به دست آمده طی ۲ نوبت، آزمایش کاهش میزان BOD انجام شد و هر دو مرتبه درصد جذب برابر با ۷۶/۵۷ و ۸۰/۱ بدست آمد که با توجه به درصد خطای انسانی و آزمایشگاهی جواب‌ها قابل قبول هستند.

به همین ترتیب پیش‌بینی نرم‌افزار Qualitec-4 در شرایط بهینه، درصد O & G مقداری برابر با ۸۹/۸ خواهد داشت. در شرایط بهینه به دست آمده طی ۲ نوبت، آزمایش کاهش میزان O & G انجام شد و هر دو مرتبه درصد جذب برابر با ۸۴/۱۸ و ۹۱/۴۴ شد که با توجه به درصد خطای انسانی و آزمایشگاهی جواب‌ها قابل قبول هستند.



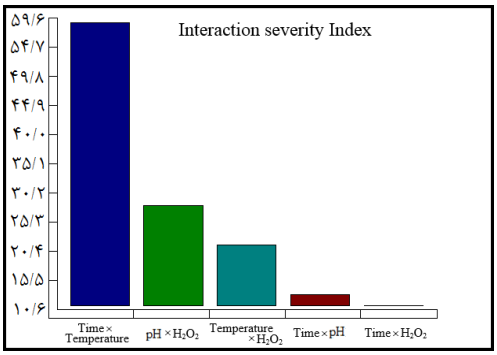
شکل ۱۱-۱- بیشترین تاثیرات و برهم کنش متقابل دو پارامتر بر کاهش مقدار COD

Figure 11-1.The most effects and interactions of the two parameters on the reduction of the COD value



شکل ۱۱-۲- بیشترین تاثیرات و برهم کنش متقابل دو پارامتر بر کاهش مقدار BOD

Figure 11-2.The most effects and interactions of the two parameters on the reduction of the BOD value



شکل ۱۱-۳- بیشترین تاثیرات و برهم کنش متقابل دو پارامتر بر کاهش مقدار O&G

Figure 1-3.The most effects and interactions of the two parameters on the reduction of the O&G value

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پژوهش انجام شده نشان می‌دهد که pH بهینه حاصل از تحلیل نتایج توسط نرم‌افزار طراحی آزمایش جهت بیشترین کاهش در COD برابر ۳ و برای BOD و O & G برابر ۴ می‌باشد که نشان از لزوم محیط اسیدی جهت کاهش و حذف مواد آلی می‌باشد و واکنش بین پراکسید هیدروژن و یون فرو سبب تجزیه و حذف مواد آلی می‌گردد.

دماهای بهینه حاصل از تحلیل نتایج توسط نرم‌افزار طراحی آزمایش جهت کاهش COD، BOD و O & G به ترتیب ۳۵، ۲۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. مقدار آب اکسیژنه نسبت به ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه پساب جهت کاهش COD، BOD و O & G به ترتیب برابر ۸۵، ۶۵ و ۸۵ میلی‌لیتر می‌باشد که با نتایج به دست آمده از نرم‌افزار طراحی آزمایش مطابقت دارد.

بیشینه مقدار کاهش COD برابر ۷۴٪ در آزمایش به دست آمد و نسبت به نتایج حاصل از نرم‌افزار که عدد حدود ۶۷٪ می‌باشد، اختلاف کمی دارد که می‌تواند مربوط به خطای انسانی، دستگاه‌ها و پارامترهای محیطی دیگر باشد. میزان حذف BOD و O & G حاصل از انجام آزمایش حدود ۸۰ و ۸۸ درصد می‌باشد که با نتایج به دست آمده توسط نرم‌افزار که به ترتیب ۸۲ و ۹۰ درصد می‌باشد اختلاف کمی دارد و نشان از خطای کم آزمایش‌های انجام شده دارد.

نتایج نشان می‌دهد که فرآیند اکسیداسیون پیشرفته انجام شده در این تحقیق به همراه تابش اشعه ماوراءبنفش که یکی از روش‌های نوین فرآیند فنتون می‌باشد، قادر بوده است با افزایش سرعت و حجم واکنش‌های تجزیه، راندمان حذف آلاینده‌های بیولوژیکی و هیدروکربنی حاوی ترکیبات آلی آروماتیکی از پساب خروجی شرکت پالایشگاهی را افزایش داده و میزان COD، BOD، O & G را به حد قابل توجهی کاهش دهد. خاصیت ضد عفونی کنندگی و رفع آلودگی، کاهش زمان انجام واکنش اکسیداسیون، کاهش هزینه‌های مصرف مواد شیمیائی مورد استفاده (نمک آهن) از مزایای استفاده از تابش اشعه UV در فرآیند نوین فنتون می‌باشد.

References

1. Dehghani, S., Jonidi jafari, A., Farzadkia, M., Gholami, M., 2012. Investigation of the efficiency of Fenton's advanced oxidation process in sulfadiazine antibiotic removal from aqueous solutions. Arak Medical University Journal , Vol.15, pp.19-29.(In Persian)
2. Sheng, H., Cho, C., 1997. Fenton process for treatment of desizing wastewater. Water Research, Vol.31, pp. 2050-2056.
3. Bum, G., Dong, S., Namgoo, K., Jeyong, Y., 1999. Characteristics of p-chlorophenol oxidation by Fenton's reagent. Water Research,Vol.33, pp.2110-2118.
4. Yun, W., Kyung-Yub, H., 2000. Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process, Water Research, Vol.34, pp.2786-2790.
5. Benitez, F., Acero, J., Real, F., Rubio, F., Leal, A., 2001. The role of hydroxyl radicals for the decomposition of p-hydroxy phenylacetic acid in aqueous solutions. Water Research, Vol.35, pp.1338-1343.
6. Rivas, F., Beltrán, F., Frades, J., Buxeda, P., 2001. Oxidation of p-hydroxybenzoic acid by Fenton's reagent. Water Research, Vol.35, pp.387-396.
7. Bayat Beed Koupeh, R., Ebrahimi, M., Keyvani, B., 2012. Removal of Acid red 206 Dye in Pollutant Water by $ZnFe_2O_4$/Bentonite as a Nanophotocatalyst in Batch Reactor Using Taguachi Method. Journal of Water & Wastewater, Vol.24, pp.128-136. (In Persian)

8. ISO 5815-1:2003, 2003. Water Quality, Determination of Biochemical Oxygen Demand after N Days (BODn), Part 1: Dilution and Seeding Method with Allylthiourea Addition. See Information in: https://www.iso.org/standard/31090.html
9. ISO 5815-2:2003, 2003. Water Quality, Determination of Biochemical Oxygen Demand after N Days (BODn), Part 2: Method for Undiluted Samples. See Information in: https://www.iso.org/standard/31091.html
10. Al-Harbawi, A.F.Q., Mohammed, M.H., Yakoob, N.A., 2013. Use of Fenton's Reagent for Removal of Organics from Ibn Al-Atheer Hospital Wastewater in Mosul City. College of Engineering- Environmental Department, Vol.21, pp.127-135.
11. Biglari, H., Joneidi Jafari, A., Kord Mostafapour, F., Bazrafshan, E., 2012. Removal of Dissolved Organic Carbon from aqueous solution by Fenton Oxidation Process. Journal of Birjand University of Medical Sciences, Vol.19, pp.70-80. (In Persian)
12. Mousavi, S.A., Mahvi, A.H., Mesdaghinia, A., 2009. Fenton Oxidation Efficiency in Removal of Detergents from Water. Water & Wastewater, Vol.4, pp.16-23. Persian
13. Younesi, H., Mahdad, F., Bahramifar, N., Hadavifar, M., 2017. Optimization of Compost Leachate Treatment Using Advanced Oxidation Process H2O2/UV. Modares Civil Engineering Journal, Vol.17, pp.247-258. In Persian
14. A.Yousef, N., A.Shaban, S., A.Ibrahim, F., S.Mahmoud, A., 2016. Degradation of methyl orange using Fenton catalytic reaction. Egyption Journal of petroleum, Vol.25, pp.317-321.
15. Fernandes, N.C., Brito, L.B., Costa, G.G., Taveira, S.F., Cunha-Filho, M.S.S., Oliveira, G.A.R., Marreto, R.N., 2018. Removel of azo dye using Fenton and Fenton-like processes: Evaluation of process factors by Box-Behnken design and ecotoxicity tests. Chemico-Biological Intractions, Vol.291, pp.47-54.
16. Cetinkaya, S.G., Morcali, M.H., Akarsu, S., Ziba, C.A., Dolaz, M., 2018. Comparison of classic Fenton with ultrasound Fenton process on industrial textile waste water. Sustainable Environment Research, Vol.28, pp.165-170.
17. Verma, M., Haritash, A.K., 2019. Degradation of amoxicillin by Fenton and Fenton-integrated hybrid oxidation processes. Journal of Environmental Chemical Engineering, In Press.