

کاربرد عملیات اسیدکراکینگ و فرآیند فنتون در تصفیه پساب روغن زیتون

مجید علی آبادی^۱ شهرزاد فاضل^۲ فرزانه وهاب زاده^۳

(دریافت ۸۴/۱۱/۲۳ پذیرش ۸۵/۱/۱۹)

چکیده

گسترش صنایع استخراج روغن از زیتون در سالهای اخیر، مسائل و مشکلات زیست محیطی بسیاری را به دنبال داشته است. پساب حاصل از عملیات استخراج روغن از زیتون به دلیل بار آلایندهی بسیار بالا ($BOD \approx 30-100$ g/L, $COD \approx 50-220$ g/L) و همچنین حضور ترکیبات فنلیک، اسیدهای چرب فرار، کتچین ها و سایر بازدارنده ها به طور طبیعی تخریب پذیر نمی باشند. در سالهای اخیر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که معطوف به تشکیل رادیکالهای فعال هیدروکسیل هستند و به منظور تخریب آلایندهها به کار می روند، مورد توجه ویژه محافل علمی، تحقیقاتی و صنعتی قرار گرفته اند. در مطالعه حاضر ترکیبی از عملیات اسیدکراکینگ در همراهی با فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون (H_2O_2/Fe^{2+}) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند عملیات اسیدکراکینگ می تواند به ترتیب ۹۷، ۴۷، ۳۰، ۶۳ و ۵۷ درصد از کدورت، COD، کل ترکیبات فنلیک، رنگ و آروماتیسیتی پساب را حذف نماید. فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون در $pH=3$ و در شرایط بهینه قادر است به ترتیب ۵۷، ۹۷، ۱۸ و ۳۲ درصد از COD، کل ترکیبات فنلیک، رنگ و آروماتیسیتی پساب را حذف نماید. زمان مورد نیاز جهت تکمیل فرآیند، ۴ ساعت و غلظت بهینه هیدروژن پروکساید و یونهای آهن به ترتیب ۰/۵ و ۰/۰۲ مولار تعیین گردید. نتایج آزمایشها نشان می دهند نوع نمک آهن و همچنین افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی گراد تا ۳۵ درجه سانتی گراد تأثیر قابل توجهی در راندمان فرآیند ندارد.

واژه‌های کلیدی: پساب روغن زیتون، ترکیبات فنلیک، اسیدکراکینگ، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته، فرآیند فنتون.

Application of Acid Cracking and Fenton Processes in Treating Olive Mill Wastewater

Majid Aliabadi¹, Shahrzad Fazel², Farzaneh Vahabzadeh³

(Received Feb. 12, 2006 Accepted Apr. 8, 2006)

Abstract

In recent years, the growth in the industries of olive oil extraction has brought about a number of environmental problems. The waste water resulting from olive oil extraction can not be naturally degraded due to the presence of phenol, volatile fatty acids, catchin, and other recalcitrants. In recent years advanced oxidation processes based on hydroxyl radical are paid special attention by scientific, research and industrial centers to degrade the pollutants. In this study, a combination of acid cracking and advanced oxidation process in terms of Fenton process have been studied. Results showed that acid cracking can remove 97, 47, 30, 63 and 57 percent of Turbidity, COD, Total Phenols, Color and Aromaticity, respectively. Fenton process in $pH=3$ at optimal conditions can remove 57, 97, 18 and 32 percent of COD, Total Phenols, Color and Aromaticity, respectively. Necessary time of reaction was 4 hrs and optimum concentration of H_2O_2 and Fe^{2+} ions was determined 0.5 M and 0.02 M, respectively. Increasing temperature in the range of 25-35°C and type of iron used (ferric or ferrous) has no considerable effect in the efficiency of the process.

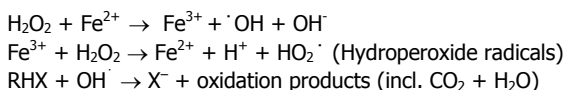
Keywords: Olive Mill Wastewater, Phenolic Compounds, Acid Cracking, Advanced Oxidation Process, Fenton Process.

1- Graduate Student, Chemical Engineering Department, Amirkabir University of Technology- far@aut.ac.ir
2- Faculty Member of Chemical Engineering Department, Amirkabir University of Technology
3- Professor of Chemical Engineering Department, Amirkabir University of Technology

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر far@aut.ac.ir
۲- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

آنجایی که روشهای مذکور، تنها آلودگی را از فاز آبی به شبکه جامد منتقل می کنند و فرآیندهای تخریبی نیستند، تکنیک‌هایی فراگیر به حساب نمی آیند. از این رو در سالهای اخیر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که بر مبنای تولید رادیکال‌های آزاد و فعال به ویژه OH متمرکز می باشند به دلیل قدرت بالای اکسایش با پذیرش علمی نسبتاً گسترده‌ای روبرو شده اند [۷].

در تحقیق حاضر نقش محلول فنتون به عنوان یک روش از انواع فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته در ترکیب با عملیات اسیدکراکینگ^۴، در کاهش COD، ترکیبات فنلیک، رنگ و ترکیبات آروماتیکی^۵ پساب حاصل از استخراج روغن از میوه زیتون (روش سانتریفوژی استخراج) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. اصول بنیادی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته با به کارگیری محلول فنتون را می توان به شرح مختصر زیر بیان نمود [۱۰]



اجرای واکنشهای شیمیایی زیر ناشی از حضور رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل است: اضافه گردیدن OH به ترکیب آلی (غیر اشباع آلیفاتیک و آروماتیک) و تشکیل محصول آلی رادیکال آزاد، جذب هیدروژن، انتقال و جابجایی الکترون که با تشکیل یون‌هایی با ظرفیت الکترونی بالاتر و احیای رادیکال آزاد هیدروکسیل و نیز برخورد و واکنش میان رادیکال‌های آزاد منجر به تشکیل ترکیباتی پایدار می گردد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- پساب مصرفی

پساب مصرفی در این تحقیق، از کارخانه روغن زیتون بهپاک واقع در شهرک صنعتی لوشان که از روش استخراج سانتریفوژ سه فازی استفاده می کند، تهیه گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه در ظرفهای پلی اتیلنی با حجم ۵۰۰ CC بسته‌بندی و جهت انجام آزمایشها در فریزر نگهداری گردید. برخی مشخصه‌های فیزیکی - شیمیایی پساب در جدول ۱ قابل مشاهده است.

۲-۲- عملیات اسیدکراکینگ

به منظور انجام عملیات اسیدکراکینگ، نمونه پساب تا pH=۲/۵ به کمک اسید سولفوریک غلیظ، اسیدی شده و سپس به یک استوانه مدرج انتقال یافته و به مدت یک ساعت ته نشین گردید. محلول فوقانی دکانته شده و به منظور انجام آزمایشهای

افزایش روزافزون تولیدات صنعتی، حضور مولکول‌های مقاوم و ترکیبات تخریب ناپذیر زیستی در پساب صنایع گوناگون را به دنبال داشته است که بسیاری از این ترکیبات، با فرآیندهای معمول در پساب زدایی قابل تصفیه نیستند [۱]. تحقیقات جدید به منظور تبدیل مولکول‌های پیچیده و مقاوم به مولکول‌های ساده تر، منجر به معرفی روشهای جدید تصفیه تحت عنوان فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته^۱ گردید. این فرآیندها به منظور تصفیه پسابهای صنعتی از جمله پساب کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی، پالایشگاهها، صنایع لاستیک، صنایع کاغذسازی و بسیاری از صنایع دیگر، با موفقیت به کار گرفته شده‌اند [۲]. در فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته از هیدروژن پروکساید، ازن یا هوا به عنوان اکسیدکننده و از امواج ماورای بنفش نور خورشید، به عنوان انرژی خارجی استفاده می شود. از میان فرآیندهای مختلف اکسیداسیون پیشرفته، استفاده از فرآیند فنتون^۲ (H₂O₂/Fe²⁺) به دلیل سهولت اجراء، امکان به کارگیری آن در مقیاسهای مختلف و ملاحظات اقتصادی، تیماری مناسب شناخته شده است [۳].

از سوی دیگر پساب کارخانه‌های استخراج روغن از زیتون نیز از جمله پسابهایی است که با توجه به بار آلودگی بسیار بالا و وجود ترکیبات فنلیک، اسیدهای چرب فرار، کتچین‌ها و سایر بازدارنده‌ها به طور طبیعی تخریب پذیر نمی باشند [۴ و ۵]. COD این پساب در حدود ۲۲۰-۵۰ گرم بر لیتر، غلظت کل ترکیبات فنلیک^۳ در آن تا ۱۰ گرم بر لیتر و میزان جامدات معلق در آن تا حدود ۱۹۰ گرم بر لیتر گزارش شده است [۵ و ۶]. رهاسازی این پساب در محیط زیست، باعث آثار زیانباری همچون رنگ دادن به آبهای طبیعی، به خطر انداختن زندگی آبزیان، آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی، تغییر در خواص خاک، ایجاد سمیت و پخش بوی بد در محیط اطراف می شود [۷]. تاکنون روش اقتصادی مناسب و جامعی جهت تصفیه این پساب معرفی نگردیده است و روشهای متعدد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که غالباً به منظور کاهش بار آلودگی و حذف رنگ از پسابهای مختلف صنعتی به کار می روند، در حذف آلودگی این نوع پساب با موفقیت اندکی همراه بوده‌اند [۸ و ۹]. روشهای مختلف فیزیکی - شیمیایی نظیر اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی و جذب روی مواد مختلف نظیر کربن فعال، زغال، تراشه‌های چوب و سیلیکاژل، به منظور حذف رنگ و COD از پساب به کار گرفته شده‌اند که در حوزه کاربردی بودن، از موفقیت نسبی برخوردار بوده‌اند. ولی از

¹ Advanced Oxidation Processes (AOPs)

² Fenton Process

³ Total Phenols

⁴ Acid Cracking

⁵ Aromaticity

جدول ۱- مشخصه‌های پساب استخراج سانتریفوژی روغن از زیتون

مقدار	شاخص آلاینده‌گی
۵/۴	pH
۷۴۴۰۰ (mg/L)	COD
۲۶۶۵ (NTU)	کدورت*
۱/۸۳(g/L)	کل ترکیبات فنلیک

* (رقیق سازی به نسبت ۱:۵ صورت گرفته است.)

بعدی کنار گذاشته شد.

استات در نسبت حجمی برابر در دمای محیط استخراج گردید و توسط سولفات سدیم جامد آگیری شد. در یک تبخیر کننده چرخشی، اتیل استات خارج گشت و مخلوط باقیمانده استخراج، در متانول ۶۰ درصد حل شد. سپس با افزودن محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد و معرف فولین، جذب این مخلوط پس از ۶۰ دقیقه در طول موج ۷۲۵ نانومتر نسبت به محلول شاهد اندازه گیری شد و با مقایسه با منحنی استاندارد، غلظت ترکیبات فنلیک تعیین گردید [۱۲].

۳- بررسی و تحلیل نتایج

۳-۱- اسید کراکینگ

پساب روغن زیتون به دلیل آلاینده‌گی بسیار بالای آن و وجود ذرات بسیار ریز روغن، تشکیل یک امولسیون پایدار می دهد. شکستن امولسیون‌های پایدار اغلب به وسیله اضافه کردن مواد شیمیایی، عملیات حرارتی و یا تنظیم pH توسط اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک صورت می پذیرد. در این میان تعیین pH بهینه و مصرف کمترین مقدار اسید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور تعیین pH بهینه، نمونه‌های پساب تا pH های ۳، ۳/۵، ۴، ۲/۵ و ۱/۵ به وسیله اسید سولفوریک غلیظ، اسیدی شدند. نتایج آزمایشها نشان می دهند به منظور تکمیل عملیات اسیدکراکینگ، بایستی پساب حداقل تا pH=۲/۵ اسیدی گردد. کاهش بیشتر pH در راندمان عملیات بی تأثیر بوده و حجم NaOH مصرفی جهت تنظیم مجدد pH برای تیمارهای تکمیلی را افزایش می دهد. اسید سولفوریک مورد نیاز جهت عملیات اسیدکراکینگ ۱/۵ میلی لیتر به ازای هر لیتر پساب بوده و زمان مورد نیاز جهت تکمیل فرآیند حدود یک ساعت می باشد. تأثیر عملیات اسیدکراکینگ در کاهش شاخصهای آلاینده‌گی، در جدول ۲ آمده است.

۳-۲- فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون

تأثیر اکسیداسیون پیشرفته فنتون در کاهش بار آلاینده‌گی پساب پس از عملیات اسیدکراکینگ مورد بررسی قرار گرفت. دما

۲-۳- فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون

کلیه آزمایشهای مربوط به فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون به صورت ناپیوسته و در ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی لیتری صورت پذیرفت. برای این کار ابتدا نمونه پساب به درون ظرف منتقل شد و سپس سولفات آهن هفت آب و هیدروژن پروکساید به آن اضافه گردید و pH مخلوط تنظیم شد و نمونه داخل دستگاه همزن مجهز به تنظیم دما و دور (۲۵°C , ۹۰ rpm) قرار گرفت. نمونه‌های مورد آزمایش در زمانهای معین از همزن خارج شده و آنالیز گردیدند.

۲-۴- اندازه گیری COD

سنجش COD به کمک دستگاه ET108 ساخت شرکت Lovibond صورت پذیرفت. برای سنجش COD، حجم مشخصی از پساب را داخل ویال‌های مخصوص ریخته و پس از همزدن، به مدت دو ساعت در دستگاه هاضم در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از آن ویال‌ها را تا دمای محیط خنک کرده و مقدار COD آنها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد.

۲-۵- تعیین کدورت

تعیین کدورت کلیه نمونه‌های پساب، با دستگاه کدورت سنج 2100 ساخت شرکت Hach صورت گرفت.

۲-۶- تعیین رنگ و آروماتیسیتی

برای تعیین میزان رنگ و آروماتیسیتی، ابتدا نمونه پساب به میزان ۱۰۰ برابر رقیق گردید و سپس میزان جذب آن به ترتیب در طول موج ۲۸۸ و ۲۵۴ نانومتر تعیین شد [۱۱].

۲-۷- اندازه گیری کل ترکیبات فنلیک

برای اندازه گیری ترکیبات فنلیک (TP)، ابتدا نمونه پساب به کمک اسید کلریدریک تا pH=۲ اسیدی شده و سپس سه بار با اتیل

¹ Shaker

و pH بهینه فرآیند تعیین شد و غلظت هیدروژن پروکساید و یون‌های آهن بهینه گردید.

۳-۳- تأثیر غلظت یون‌های آهن

غلظت یون‌های آهن تأثیر بسزایی در بازدهی فرآیند فنتون دارد. بدون حضور یون‌های آهن، رادیکال‌های هیدروکسیل تشکیل نمی‌شوند و کاهش در سطح ترکیبات فنلیک صورت نمی‌گیرد. با اضافه کردن آهن، حذف مواد فنلیک تا نقطه‌ای شتاب می‌گیرد که افزایش بیشتر آهن، تأثیری در بازدهی فرآیند ندارد. به منظور بررسی تأثیر غلظت یون‌های آهن در بازدهی فرآیند، pH نمونه‌های پساب در مقدار ۳ و غلظت هیدروژن پروکساید در سطح ۰/۵ مولار تنظیم شد و سپس غلظت یون‌های آهن در مقادیر ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۵ مولار تنظیم شد. نمونه‌ها در دستگاه همزن قرار گرفت و دما و دور همزن به ترتیب در ۲۵ °C و ۹۰ rpm تنظیم شد. پس از گذشت ۴ ساعت، نمونه‌های آزمایشی خارج شدند و کاهش شاخصهای آلاینده‌گی پساب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این آزمایشها در شکل ۱ آمده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در غلظتهای کمتر از ۰/۰۱ مولار از یون‌های آهن، بازدهی حذف شاخصهای آلاینده‌گی نظیر TP در سطح نسبتاً پایینی قرار دارد. با افزایش غلظت یون‌های آهن بازدهی حذف آلاینده‌ها افزایش می‌یابد ولی افزایش غلظت یون‌های آهن بیش از ۰/۰۲ مولار تأثیر چندانی در بازدهی فرآیند نداشته و باعث کاهش بازدهی حذف COD می‌گردد.

۴-۳- تأثیر غلظت هیدروژن پروکساید

به منظور بررسی اثر غلظت هیدروژن پروکساید در بازدهی فرآیند، نمونه‌های مختلفی با غلظتهای ۰/۱۲، ۰/۲۵، ۰/۳۶ و ۰/۵ مولار هیدروژن پروکساید و غلظتهای مختلف یون آهن ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۵ مولار تهیه گردید. کلیه آزمایشها در pH=۳ و دمای ۲۵ °C صورت پذیرفت. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش میزان هیدروژن پروکساید، شاهد یک کاهش پایدار در میزان COD هستیم، در حالی که کاهش ترکیبات فنلیک چندان زیاد نیست. با افزایش غلظت هیدروژن پروکساید به ۰/۲۵ مولار، نرخ تخریب ترکیبات فنلیک به شدت افزایش یافته و قابلیت تخریب پذیری پساب بهبود می‌یابد.

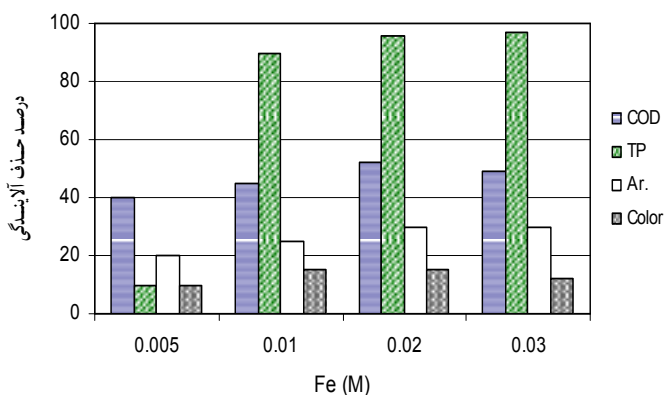
تعیین مقدار دقیق هیدروژن پروکساید در فرآیند تصفیه اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا باقیمانده هیدروژن پروکساید در پساب خروجی باعث افزایش COD می‌گردد. همچنین حضور هیدروژن پروکساید برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌ها مضر است و بازدهی کلی فرآیند تصفیه را، هنگامی که از فرآیند بیولوژیک پس از فرآیند فنتون استفاده می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر، حضور بیش از حد هیدروژن پروکساید نقش بازدارندگی از تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل را در پی دارد و بازدهی فرآیند را کاهش می‌دهد.

۳-۵- تأثیر pH

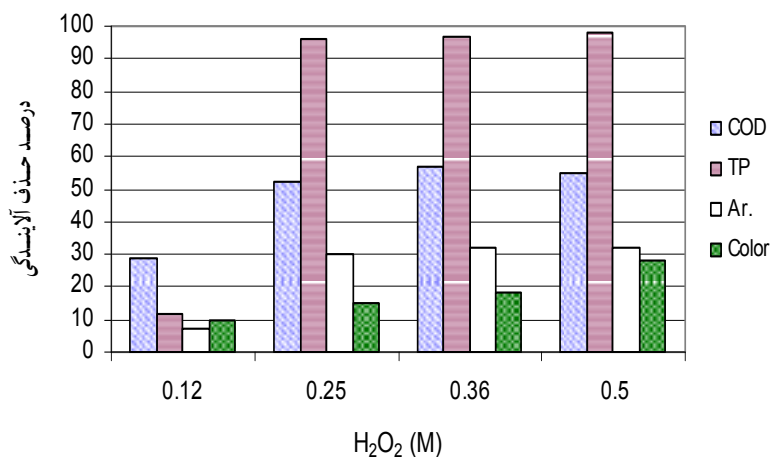
pH سیستم، به طور مشخص تخریب آلاینده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. pH بهینه در اغلب موارد در حدود ۵-۳ گزارش شده

جدول ۲- تأثیر عملیات اسیدکراکینگ در کاهش شاخصهای آلاینده‌گی

کدورت	COD	کل ترکیبات فنلیک	رنگ	آروماتیسیتی	شاخص آلاینده‌گی
۹۷	۴۷	۳۰	۶۳	۵۷	درصد حذف



شکل ۱- تأثیر غلظت یون‌های آهن در کاهش شاخصهای آلاینده‌گی



شکل ۲- اثر غلظت هیدروژن پروکساید در کاهش شاخصهای آلاینده‌گی پساب

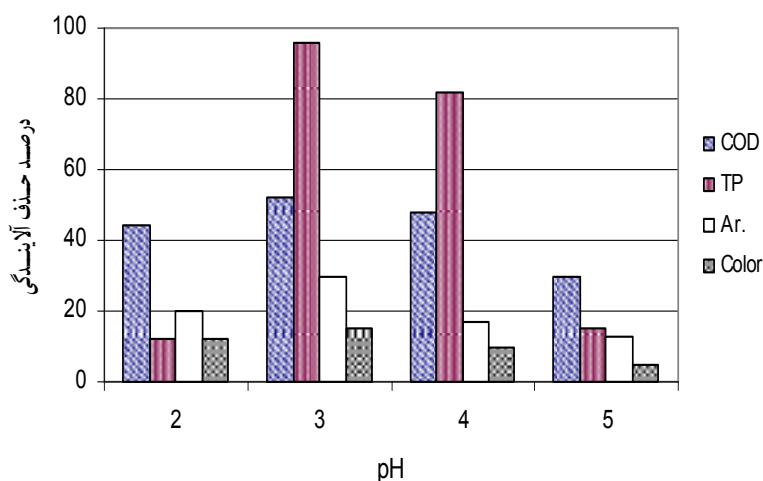
محلول کاهش یافته و به تدریج از چرخه کاتالیستی خارج شده که منجر به کاهش راندمان فرآیند در حذف آلاینده‌ها می‌شود. تأثیر pH در حذف شاخصهای آلاینده‌گی در شکل ۳ آمده است.

۳-۶- تأثیر دما

به منظور بررسی اثر دما یک سری آزمایشهای تکمیلی صورت پذیرفت. در این آزمایشها با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل قبل، غلظت آهن در نمونه‌های مورد آزمایش ۰/۰۲ مولار و غلظت هیدروژن پروکساید ۰/۵ مولار تنظیم گردید و فرآیند فنتون در دو سطح دمایی ۲۵ °C و ۳۵ °C صورت پذیرفت. نتایج آزمایشها نشان دادند افزایش دما از ۲۵ °C به ۳۵ °C تأثیر چندانی بر راندمان فرآیند نداشته و تنها سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. تأثیر دما بر راندمان حذف آلاینده‌ها در جدول ۳ آمده است.

است. در pH های پایین‌تر از ۲/۵، تشکیل $Fe(OH)^{2+}$ که با هیدروژن پروکساید به آرامی واکنش می‌دهد باعث کاهش مقدار رادیکال‌های OH شده و در نتیجه بازدهی فرآیند کاهش می‌یابد. در pH های قلیایی نیز Fe^{2+} به Fe^{3+} تبدیل شده و به صورت $Fe(OH)_3$ رسوب می‌کند و از چرخه کاتالیستی خارج می‌شود. این مسئله، خود باعث تجزیه هیدروژن پروکساید و کاهش بازدهی فرآیند می‌شود. همچنین تحقیقات نشان داده‌اند که پتانسیل اکسایشی رادیکال‌های هیدروکسیل نیز با افزایش pH کاهش می‌یابد [۱۰].

به منظور بررسی تأثیر pH در راندمان حذف آلاینده‌گی، غلظت یون آهن در مخلوط پساب ۰/۰۲ مولار و غلظت هیدروژن پروکساید ۰/۵ مولار تنظیم گردید و سپس فرآیند در pH های ۲، ۳، ۴ و ۵ انجام پذیرفت. نتایج حاصله نشان دادند که pH بهینه فرآیند، برابر ۳ می‌باشد. با افزایش pH، زمان نیمه عمر Fe^{2+}



شکل ۳- تأثیر pH بر راندمان حذف شاخصهای آلاینده‌گی

جدول ۳- تأثیر دما در کاهش شاخص آلاینده‌گی

شاخص آلاینده‌گی		درصد حذف آلاینده‌ها
پساب	۲۵ درجه سانتی‌گراد	۳۰ درجه سانتی‌گراد
COD	۵۲	۵۱
کل ترکیبات فنلیک	۹۶	۹۸
آروماتیسیتی	۳۰	۲۷
رنگ	۱۵	۱۸

۳-۷- تأثیر نوع آهن

طبق برخی تحقیقات انجام گرفته، در اغلب موارد نوع آهن (آهن دو ظرفیتی یا سه ظرفیتی) تأثیر چندانی در بازدهی فرآیند ندارد، ولی برخی محققان استفاده از آهن دو ظرفیتی را توصیه نموده‌اند. به منظور بررسی تأثیر نوع آهن بر بازدهی فرآیند، از نمکهای $FeCl_3$ و $FeSO_4$ استفاده گردید. نتایج نشان دادند نوع یون‌های آهن تأثیر قابل توجهی بر بازدهی فرآیند ندارد.

۴- بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشگاهی به دست آمده بر روی پساب استخراج سانتریفوژی روغن از زیتون، عملیات اسیدکراکینگ می‌تواند به عنوان روشی مؤثر و اقتصادی در کاهش بار آلاینده‌گی این نوع پساب به کار گرفته شود. این روش از نظر سادگی اجرا و ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. عملیات اسیدکراکینگ می‌تواند به ترتیب ۹۷، ۴۷، ۳۰، ۶۳ و ۵۷ درصد از کدورت، COD، کل ترکیبات فنلیک، رنگ و آروماتیسیتی پساب را حذف نماید. اسید سولفوریک مورد نیاز، ۱/۵ میلی لیتر به ازای هر لیتر پساب و زمان مورد نیاز جهت تکمیل فرآیند، حدود یک ساعت است. جهت تکمیل عملیات تصفیه می‌توان از معرف فنتون استفاده نمود. فرآیند اکسیداسیون پیشرفته فنتون در $pH=3$ و در شرایط بهینه قادر است به ترتیب ۵۷، ۹۷،

۵- مراجع

- 1- Feigelson, L., Muszkat, L., Bir, L., and Muszkat, K.A. (2000). "Dye photo-enhancement of TiO_2 -photocatalyzed degradation of organic pollutants: The organobromine herbicide bromacil." *J. Water Sci. Technol.*, 42 (1-2), 275-279.
- 2- Gogate, P. R., and Pandit, A. B. (2004). "A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions." *J. Advances in Environmental Research*, 8(3-4), 501-551.
- 3- Ahmadi, M., Vahabzade, F., Mofarrah, E., and Aliabadi, M. (2004). "Application of advanced oxidation of dephenolization of olive oil mill wastewater processing by Fenton's reagent." *Proc., 9th National Congress of Chem. Eng. Iran, Tehran*, 23-25.

- 4- Hamdi, M. (1996). "Anaerobic digestion of olive oil wastewaters." *J. Process Biochem*, 31(2),105–110.
- 5- Zouari, N. (1998). "Decolourization of olive oil mill effluent by physical and chemical treatment prior to anaerobic digestion." *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 73, 297–303.
- 6- Mantzavinos, D., and Kalogerakis, N. (2005). "Treatment of olive oil mill effluents part I. organic matter degradation by chemical and biological processes-an overview." *J. Environmental International*, 31, 289-295.
- 7- Kestioğlu, K., Yonar, T., and Azbar, N. (2005). "Feasibility of physico-chemical treatment and advanced oxidation processes (AOPs) as a means of pretreatment of olive mill effluent." *J. Process Biochemistry*, 40, 2409 – 2416.
- 8- Balcioglu, I.A., and Arslan, I. (1997). "Treatment of textile wastewater by heterogeneous photocatalytic oxidation processes." *J. Environ. Technol.*, 18, 1053–9.
- 9- Wu, J., Eitaman, M.A., and Law, S.E. (1998). "Evaluation of membrane filtration and ozonation processes for treatment of reactive-dye wastewater." *J. Environ. Eng.*, 124, 272.
- 10- Parson, S. (2004). *Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment*, 1th Ed., IWA Publishing.
- 11- Peres, J., A., Heredia, J.B.D., and Dominguez, J. R. (2004). "Integrated fenton's reagent-coagulation/flocculation process for the treatment of Crock processing wastewater." *Journal of Hazardous Materials*, B 107, 115-121.
- 12- Box, J. D. (1983). "Investigation of the Folin-Ciocalteau phenol reagent for the determination of polyphenolic substances in natural waters." *J. Water Research*, 17(5), 511-525.
- 13- Gernjak, W., Maldonado, M.I., Malato, S., Caceres, J., Krutzler, T., and Glaser, A. (2003). "Degradation of polyphenolic content of olive mill wastewater (OMW) by solar photocatalysis." *Proc., 3rd International Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment*, Vogelphole, A., editor, 879-84.
- 14- Iyssides, A., Loukasis, H., Israilides, C., Barampouti, E.M., and Mai, S. (2003). "Detoxification of olive mill wastewater using a fenton process." *Proc., 2nd European Bioremediation*, Kalogerakis, N., editor, 531-4.
- 15- Rivas, F.J., Beltran, F.J., Gimeno, O., and Frades, J. (2001). "Treatment of olive mill wastewater by fenton's reagent." *J. Agric. Food Chem.*, 49, 1873-1880.