

## بررسی کارایی فرایند پروکسون در راکتور با بستر آکنده در حذف سورفاکتانت آنیونی و COD از فاضلاب واحد شستشوی خودرو

مهدی مختاری<sup>۱</sup>، محمد حسن احرامپوش<sup>۲</sup>، اصغر ابراهیمی<sup>۱</sup>، پروانه طالبی<sup>۳</sup>، حسن ترابی<sup>۴</sup>

### چکیده

**مقدمه:** کارواش صنعتی است که میزان زیادی آب مصرف کرده و فاضلاب آن حاوی انواع آلاینده‌ها می‌باشد. هدف از انجام مطالعه، بررسی کارایی فرایند پروکسون به عنوان روشی برای حذف سورفاکتانت و COD از تصفیه فاضلاب حاصل از شستشوی اتومبیل در کارواش بود.

**روش‌ها:** مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در مجموع ۵۴ نمونه به صورت روزانه از یکی از کارواش‌های شهر یزد جمع‌آوری شد و درصد حذف پارامترهای اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD) با روش ویال استاندارد و سورفاکتانت آنیونی با روش مواد فعال متیلن آبی (MBAS) تعیین گردید. آزمایش به ترتیب در دز ازن ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه، غلظت ۲۰،۱۰ و ۴۰ میلی‌مول در لیتر  $H_2O_2$ ، زمان ۶۰، ۳۰ و ۹۰ دقیقه و pH ۹، ۷ و ۱۱ و در یک راکتور استوانه‌ای شکل انجام شد. از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ و آزمون ANOVA برای آنالیز داده‌ها استفاده گردید.

**نتایج:** نتایج نشان داد راندمان حذف COD و سورفاکتانت‌های آنیونی با افزایش pH و زمان تماس افزایش می‌یابد، به طوری که در دز ازن ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه، غلظت ۴۰ میلی‌مول  $H_2O_2$ ، pH=۱۱ و زمان واکنش ۹۰ دقیقه، میزان حذف COD و سورفاکتانت‌های آنیونی به ترتیب ۷۴/۷۷ و ۷۴/۲۷ درصد به دست آمد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** فرایند پروکسون دارای توانایی خوبی در حذف COD و سورفاکتانت‌های آنیونی می‌باشد. مطالعات مشابه نیز یافته‌های حاصل از این تحقیق را تأیید می‌کند. ضمن این‌که انجام روش‌های پیش تصفیه برای بررسی کارایی بیشتر این فرایند پیشنهاد می‌گردد.

**واژگان کلیدی:** کارواش، پروکسون، سورفاکتانت آنیونی، COD، راکتور بستر آکنده

### مقدمه

ناشی از این صنعت می‌تواند کمک بزرگی به حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی نماید (۱). در فاضلاب کارواش‌ها آلاینده‌های مهمی همچون دترجنت‌ها، اسید هیدروفلوئوریک، بنزن، فلزات سنگین (مانند سرب، روی، کروم و آرسنیک)، بقایای بنزین، مواد آلی و ذراتی مانند گردوغبار، کربن و نمک وجود دارد (۲).

واحدهای کارواش که در واقع می‌توان از آن‌ها به‌عنوان صنعت کارواش نام برد، به علت تنوع فعالیت‌هایی که در این واحدها صورت می‌گیرد، شامل شستشو، پولیش و واکس اتومبیل‌ها و بعضاً تعویض روغن و پنچرگیری، یکی از صنایعی است که میزان زیادی آب مصرف کرده و تصفیه فاضلاب

۱- استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۳- کارشناس، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۴- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email: hasan.torabi68@yahoo.com

نویسنده‌ی مسئول: حسن ترابی

آدرس: یزد، پردیس دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، دانشکده بهداشت تلفن: ۰۳۵۳۸۲۰۹۱۱۰ فاکس: ۰۳۵۳۸۲۰۹۱۱۹

از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب کارواش‌ها، دترجنت‌ها (از انواع سورفاکتانت‌ها) هستند (۳). مصرف سورفاکتانت‌ها به خصوص دترجنت‌ها در کشورهای در حال توسعه و اجتماعات شهری به سرعت در حال رشد است (۴). سورفاکتانت‌ها یکی از بزرگ‌ترین گزنوبیوتیک‌های موجود در فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌باشند. طی یک دهه گذشته مقادیر زیادی از سورفاکتانت‌ها به علت افزایش استفاده از دترجنت‌های مصنوعی در مصارف صنعتی و خانگی وارد محیط‌زیست شده‌اند که موجبات آلودگی به این مواد دیرتجزیه‌پذیر را فراهم آورده است. سورفاکتانت‌های آنیونی بزرگ‌ترین و پرمصرف‌ترین گروه پاک‌کننده‌ها می‌باشند. کاربرد روزافزون سورفاکتانت‌ها در مصارف مختلف و افزایش مصرف سرانه آن‌ها منجر به افزایش مقادیر این ترکیبات در فاضلاب‌ها گردیده است. تخلیه به سیستم‌های فاضلاب‌رو، مهم‌ترین راه ورود این ترکیبات به محیط‌زیست است (۳). از طرفی به دلیل نامناسب بودن و کارایی پایین فرآیندهای تصفیه در حذف سورفاکتانت‌ها، غلظت بالایی از آن‌ها در پساب تصفیه‌خانه‌ها وجود دارد (۵). در ایران بسیاری از کارواش‌ها فاضلاب تولیدی خود را بدون هیچ‌گونه پیش‌تصفیه‌ای مستقیماً وارد فاضلاب‌روهای شهری و یا چاه‌های جذبی می‌کنند.

مشکلات زیست‌محیطی مواد پاک‌کننده به دو دسته عمده مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سورفاکتانت‌ها و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از فسفر و مواد سازنده تقسیم می‌شوند. مواد فعال سطحی مثل آلکیل بنزن‌های شاخه‌ای یا خطی در سطح تماس مایع-جامد مانند سدی در مقابل پخش اکسیژن به داخل آب قرار می‌گیرند و سرعت انتقال اکسیژن را کاهش

می‌دهند (۶،۷). این مواد به دلیل مهیا بودن شرایط به ویژه در حوض‌های هوادهی و اختلاط، می‌توانند کفی تولید کنند که به دلیل حجم زیاد، در فرایند تصفیه ایجاد اختلال کرده و باعث ایجاد مخاطراتی برای کارگران تصفیه‌خانه می‌شوند (۸، ۱). همچنین این مواد در مرحله تصفیه بیولوژیک از طریق کاهش سرعت تنفسی باکتری‌ها و ممانعت در واکنش‌های آنزیمی، سبب کاهش سرعت تجزیه و در نتیجه کاهش سرعت اکسیژن خواهی شیمیایی می‌شوند. بسیاری از سورفاکتانت‌ها قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتاً پایین و اغلب سمیت بالایی دارند (۶، ۷). همچنین کف حاصله از سورفاکتانت‌ها می‌تواند در اثر وزش باد جابه‌جا شده و باعث انتقال بیماری‌ها شود. مسمومیت و مرگ‌ومیر نوزاد برخی از ماهی‌ها نتیجه حساسیت آن‌ها به برخی از سورفاکتانت‌ها است. از طرفی وجود مواد پاک‌کننده در سیستم لجن فعال روی جمعیت بیولوژیکی پروتوزوآها و در نتیجه کیفیت پساب خروجی از این واحد تأثیر گذاشته و مقادیر بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مواد پاک‌کننده، کاهش قابل‌توجهی در جمعیت سیلیاته‌های تانک هوادهی پدید می‌آورد. ورود فاضلاب حاوی مواد پاک‌کننده به منابع آب‌های سطحی، مشکلات زیست‌محیطی دیگری مانند بد منظره شدن چشم اندازه‌ها، سواحل و اماکن تفریحی، مسمومیت و پیری زودرس رودخانه‌ها، آلودگی آب‌های زیرزمینی و بدبو شدن آب را به دنبال خواهد داشت. از دیگر آثار نامطلوب این مواد می‌توان جلوگیری از تشکیل لخته به وسیله کلوئیدها و در نتیجه مصرف بیشتر منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب و امولسیون‌سازی چربی‌ها و روغن‌ها را نام برد (۹).

بنابراین به دلیل این که فاضلاب کارواش‌ها در دسته

فاضلاب‌های صنعتی طبقه‌بندی می‌شوند و همچنین به دلیل سطح بالای آلودگی و تنوع مواد آلاینده موجود در این نوع از فاضلاب‌ها و حجم زیاد آب مصرفی آن‌ها، روش‌های متعددی از قبیل فیلتراسیون شنی، جذب سطحی، فرایندهای بیولوژیکی و فرایندهای الکتریکی برای تصفیه این نوع فاضلاب‌ها پیشنهاد شده‌اند. همچنین جهت حذف دترجنت‌ها از روش‌های مختلفی از جمله انعقاد و لخته‌سازی، انعقاد الکتریکی (۳)، انعقاد شیمیایی (۱۰)، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته فتون (۱۱)، فتوفتون،  $UV/H_2O_2$  (۶، ۱۲) ازن (۱۳، ۱۴)، اولترافیلتراسیون و تبادل یون (۱۵) استفاده شده است.

یکی از سودمندترین روش‌هایی که برای تخریب آلاینده‌های آب و فاضلاب مرسوم شده است اکسیداسیون شیمیایی می‌باشد که مؤثرترین طریقه زدایش برای آلاینده‌های آلی محسوب می‌شود، زیرا عمل اکسیداسیون این مواد را گاهی به فرآورده‌های بی‌ضرر تبدیل می‌کند. در حالی که با عملیات هوادهی، جذب با کربن فعال، اسمز معکوس و برخی روش‌های دیگر صرفاً آلاینده‌ها از فازی به فاز دیگر منتقل می‌شوند و گاه مشکلات جدیدی از نظر دفع لجن به وجود می‌آورند (۱۰، ۱۳). موسوی و همکاران نیز در مطالعه‌ای با عنوان «کارایی فرایند اکسیداسیون فتون در کاهش آلودگی مواد شوینده از آب» در سال ۱۳۸۸، نمونه‌های سنتتیک از سورفاکتانت آنیونیک  $ABS(Alkyl Benzene Sulphonate)$  و  $Linear LAS(Alkyl Benzene Sulphonate)$  تهیه کردند و تأثیر غلظت‌های مختلف سولفات آهن و پراکسید هیدروژن در زمان‌های مختلف روی حذف و تصفیه‌پذیری آن‌ها در محلول‌های آبی را مورد مطالعه قرار دادند (۱۱). همچنین موسوی و همکاران مطالعه

دیگری در مورد کارایی فرایند فتون در حذف دترجنت و بهبود تصفیه‌پذیری بیولوژیکی پساب صنایع شوینده و پاک‌کننده در سال ۱۳۸۶ انجام دادند، که پساب مورد نظر را از نظر پارامترهای فیزیکوشیمیایی  $Methylen\ Blue\ MBAS$  (Active Substances، BOD، COD، pH و دما)، مورد بررسی قرار دادند (۱۶).

یکی از روش‌های اکسیداسیون شیمیایی مطرح شده استفاده از ازن به تنهایی و در ترکیب با سایر مواد و ترکیبات است. ازن به عنوان یک اکسید کننده مؤثر در تصفیه آب و فاضلاب و همچنین هوا مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷). Rivera-Utrilla و همکاران در مطالعه‌ای حذف سورفاکتانت سدیم دو دسیل بنزن سولفونات از آب با استفاده از ازن و پودر کربن فعال و مقایسه آن با  $O_3$  و  $O_3/H_2O_2$  را مورد بررسی قرار دادند (۱۴). همچنین واعظی و همکاران مطالعه‌ای در مورد تهیه ازن و استفاده از آن در حذف دترجنت از آب و فاضلاب انجام دادند (۱۳).

ازن مواد آلی موجود در آب را از طریق دو مکانیسم: واکنش مستقیم مولکول ازن به صورت انتخابی با گروه‌های عامل خاص از قبیل پیوندهای دوگانه و جایگاه‌های هسته دوست و واکنش غیر مستقیم از طریق تجزیه ازن و تولید رادیکال هیدروکسیل (OH)، اکسید می‌کند (۱۸). تجزیه ازن در آب کاملاً به pH وابسته بوده و با بالا رفتن آن تسریع می‌گردد. ازن در شرایط قلیایی نسبت به شرایط اسیدی با سهولت بیشتری به رادیکال‌های هیدروکسیل تبدیل می‌شود، زیرا یون‌های هیدروکسید نقش آغاز کننده واکنش‌های زنجیره‌ای تجزیه ازن و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل را ایفا می‌کنند (۱۹). واکنش‌های زنجیره‌ای تجزیه ازن در آب پیچیده بوده و تحت

با توجه به دوز انتخابی ۰/۷ میلی گرم در دقیقه، ۳ زمان تماس (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)، pH مختلف (۷، ۹ و ۱۱)، ۳ غلظت مختلف  $H_2O_2$  (۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی مول در لیتر) و با احتساب دو بار تکرار آزمایش برای کاهش خطای احتمالی در مجموع ۵۴ نمونه برای انجام آزمایش‌ها برداشته شد.

در این کارواش میزان آب مصرفی برای شستشوی هر ماشین بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ لیتر بود. از آنجایی که تعداد ماشین شسته شده در کارواش با توجه به ایام سال در تغییر می‌باشد یعنی در بیشترین حالت بین ۴۰ تا ۵۰ ماشین و در کمترین حالت بین ۱۰ تا ۱۵ ماشین در روز شسته می‌شود؛ بنابراین میزان فاضلاب تولیدی در کارواش محل تحقیق ۱۷ - ۳ متر مکعب در روز تعیین شد.

به منظور نمونه‌برداری از فاضلاب کارواش محل تحقیق، برداشت نمونه به صورت دستی و از عمق ۳۰ سانتی‌متری حوض ته‌نشینی که جهت ته‌نشینی اولیه فاضلاب در کارواش احداث شده بود، انجام گرفت. نمونه‌ها تحت شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل و جهت کاهش خطاهای احتمالی در کمترین زمان مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از تهیه نمونه فاضلاب خام، غلظت اولیه پارامترهای سورفاکتانت‌های آنیونی مطابق روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب تعیین شده و برای انجام فرایند پروکسون وارد راکتور شد (۲۲).

راکتور مورد استفاده برای انجام آزمایش از جنس پلکسی گلاس به ارتفاع ۱ متر و قطر داخلی ۵ سانتی‌متر بود که جریان گاز ازن تولید شده توسط ازن ژنراتور NedGas Mk 940 محصول کشور هلند با ظرفیت اسمی ۳ g/hr پس از عبور از محفظه حاوی سیلیکاژل، از پایین وارد راکتور گردید (نمودار

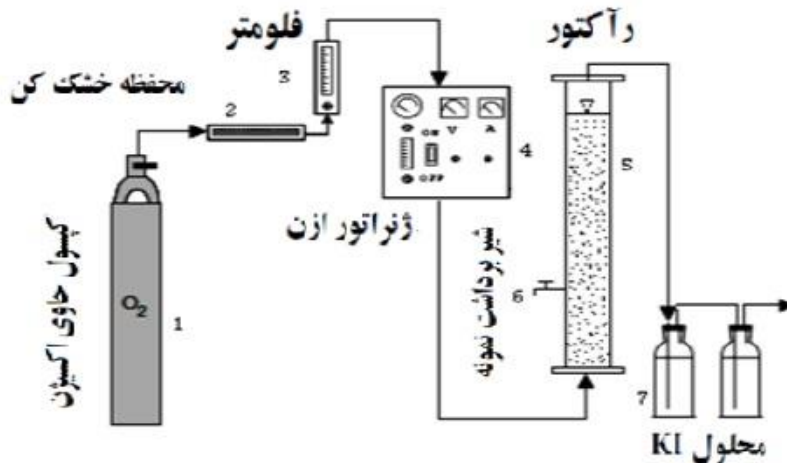
تأثیر عوامل فیزیکی و غلظت گونه‌های موجود قرار می‌گیرد (۲۰). راندمان فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته بر پایه ازن بستگی به نوع آغازگری دارد که با آن همراه است. استفاده از پراکسید هیدروژن در کنار ازن که به عنوان فرایند پروکسون شناخته می‌شود علاوه بر تقویت قدرت اکسیدکنندگی آن و کاهش میزان اکسنده موردنیاز جهت تصفیه ترکیبات مقاوم، از نقطه‌نظر اقتصادی نیز فرایند را توجیه می‌کند. پراکسید هیدروژن یک اکسید کننده ایمن و کارآمد با کاربری آسان برای تجزیه طیف وسیعی از آلاینده‌ها به شمار می‌رود. از طرفی ویژگی‌های منحصر به فرد رادیکال هیدروکسیل تولیدی در این فرایندها از جمله واکنش‌پذیری زیاد، عدم انتخاب‌گری و پتانسیل اکسیداسیونی ۲/۸۰ ولت، آن را از سایر اکسنده‌ها متمایز کرده و موجب شده تا تخریب ترکیبات آلی مقاوم مثل آروماتیک‌ها، فنول‌ها و ترکیبات کلردار به همراه ازن با سرعت مناسبی انجام گیرد (۲۱).

با توجه به مشکلات ذکر شده ناشی از سورفاکتانت‌ها و سایر آلاینده‌های موجود در فاضلاب کارواش‌ها و مشکل ویژه کشور در خصوص کمبود منابع آبی و استفاده مجدد از پساب کارواش‌ها، در این مطالعه کارایی فرایند پروکسون در حذف سورفاکتانت آنیونی و COD فاضلاب این واحدها مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی بود که در سال ۱۳۹۳ در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه روزانه از یکی از کارواش‌های سطح شهر یزد تهیه گردید.

سطح تماس گاز و فاضلاب به راکتور اضافه شد. برای تنظیم ازن ورودی به راکتور از روش استاندارد متد (آزمایش E2350) استفاده گردید (۲۲). لازم به ذکر است که مقدار  $H_2O_2$  موردنظر قبل از شروع ازن زنی به نمونه فاضلاب وارد شده و سریعاً نمونه وارد راکتور گردید.



نمودار ۱: شمایی از فرایند پروکسون در راکتور بستر آکنده

مانند  $H_2O_2$  در تعیین مقدار COD تداخل نموده و غلظت آن را بیشتر از مقدار واقعی نشان داد، لذا با روش‌های مختلف سعی شد قبل از اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی  $H_2O_2$  باقی مانده حذف گردد. به این ترتیب که pH نمونه‌ها در ۷ تنظیم شد. سپس نمونه‌ها با درپوش مناسب در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب قرار داده شدند (۲۳). در انتهای هر مرحله از فرایند پروکسون، غلظت نهایی پارامترهای موردنظر مطابق آزمایش‌های استاندارد آب و فاضلاب مورد سنجش قرار گرفت (۲۲).

در نهایت تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌های لازم که با انجام آزمایش‌ها و استفاده از وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی به دست آمد، با استفاده از نرم افزارهای Excel نسخه ۲۰۰۷ و SPSS نسخه ۱۸ انجام شد.

جهت تنظیم pH از اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید ۱ نرمال استفاده شد. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق، محصول شرکت مرک آلمان بود. برای آزمایش سورفاکتانت‌های آنیونی از روش استاندارد مواد فعال متیلن آبی (MBAS) بر حسب میلی‌گرم در لیتر و برای اندازه‌گیری از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/Visible SP-3000 Plus) در طول موج ۶۵۲ نانومتر استفاده گردید. همچنین برای تهیه نمونه‌های سنتتیک جهت رسم منحنی استاندارد از الکیل بنزن سولفونات با فرمول شیمیایی  $C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3Na$  استفاده شد. برای انجام آزمایش COD از روش ویال استاندارد و برای اندازه‌گیری مقدار COD نیز از دستگاه اسپکتروفتومتر Hach مدل DR 2000 استفاده شد.

در آزمایش‌هایی که انجام شد عوامل مداخله کننده‌ای

آزمون آماری مورد استفاده ANOVA دو طرفه برای بررسی اثر pH و زمان بر روی COD و سورفاکتانت‌های آنیونی بود و برای بررسی جزئیات بیشتر از آزمون مقایسات جفتی Tukey استفاده شد.

در نهایت غلظت نهایی به دست آمده از پارامترهای مورد بررسی بعد از آزمایش با استاندارد تخلیه به منابع آبی مقایسه گردید (جدول ۱) (۲۴).

جدول ۱: استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (۲۴)

نوع ماده آلاینده	واحد	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به چاه جاذب	مصارف کشاورزی و آبیاری
دترجنت	mg/l	۱/۵	۰/۵	۰/۵
COD	mg/l	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰

محلول نمونه در داخل قیف‌های جدا کننده ریخته و با افزودن NaOH ۱ نرمال و با به کار بردن ۱۰ قطره فنل فتالین، محلول قلیایی شد. رنگ صورتی با افزودن H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ۱ نرمال از بین رفت. ۱۰ میلی لیتر کلروفرم و ۲۵ میلی لیتر ماده متیلن آبی و ۱۰ میلی لیتر ایزوپروپیل الکل جهت جلوگیری از تشکیل امولسیون به نمونه اضافه شد و قیف به مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده و اجازه داده شد که فازها جدا شوند. با کج کردن قیف و باز کردن لحظه‌ای شیر هرگونه فشار جمع شده آزاد گردید. بعضی از نمونه‌ها بیشتر از بقیه برای جدا شدن وقت لازم داشت. قبل از خالی کردن لایه کلروفرم، نمونه‌ها به آرامی تکان داده شد تا کاملاً ته‌نشین شوند. بدین ترتیب فاز کلروفرم در پایین و فاز آبی در قسمت بالا قرار گرفت.

ایجاد نشد. پس از ته‌نشین شدن محتویات تکان داده شد و سپس لایه کلروفرم جدا شده از فاز آبی به بالن حجمی ۱۰۰ میلی لیتر منتقل گردید. محلول شستشو دوباره با ۱۰ میلی لیتر کلروفرم استخراج شده و حاصل استخراج به بالن حجمی قبلی اضافه شد. این عمل جهت دقیق بودن آزمایش یکبار دیگر نیز تکرار گردید و کلرو فرم استخراج شده پس از ریختن در بالن حجمی، با کلرو فرم به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسید. سرپوش بالن گذاشته شد و برای جلوگیری از نشت به مقدار جزئی چرخانده شد. سپس با چندین بار وارونه کردن محتویات بالن قبل از اندازه‌گیری مخلوط گردید. میزان جذب نمونه در مقابل شاهد کلروفرم در ۶۵۲ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. با داشتن میزان جذب و غلظت استاندارد تهیه شده، منحنی کالیبراسیون ترسیم گردید. پس از به دست آوردن منحنی استاندارد، با روش کار گفته شده، نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت و سپس با به دست آوردن میزان جذب و استفاده از رگرسیون خطی به دست آمده در منحنی، میزان LAS بر حسب mg/l به دست آمد (۲۲).

پس از جدا شدن لایه‌ها، لایه کلروفرم را به داخل قیف جداساز دیگری ریخته و لوله قیف اول با مقدار کمی کلروفرم شستشو داده شد. سپس با استفاده از ۱۰ میلی لیتر کلروفرم در هر نوبت، سه بار عمل استخراج تکرار شد. همه مواد حاصل از استخراج کلروفرم در قیف دوم ریخته شد و سپس ۵۰ میلی لیتر محلول شستشو اضافه گردید و به شدت برای ۳۰ ثانیه تکان داده شد. در این مرحله امولسیون

جدول ۲ محدوده غلظت، میانگین و انحراف معیار پارامترهای فاضلاب خام کارواش مورد مطالعه را

نشان می‌دهد. یافته‌های حاصل از بررسی اثر فرآیند پروکسون بر میزان حذف COD و سورفاکتانت‌های آنیونی نشان می‌دهد که در دز ازن ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه و مقدار H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برابر با ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مول در لیتر، میانگین راندمان حذف COD به ترتیب، ۴۳/۹۳، ۴۷/۶۲ و ۵۴/۴۳ درصد بود. همچنین میانگین راندمان حذف سورفاکتانت‌های آنیونی در شرایط مشابه به ترتیب در حدود ۴۷/۱۴، ۴۸/۷۷ و ۵۵/۳۲ درصد بود.

اثر تغییرات زمان و pH بر میزان حذف COD و سورفاکتانت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با ثابت نگه داشتن یکی از متغیرها تأثیر متغیر بعدی مورد بررسی و سنجش قرار گرفت که نتایج حاصل از آزمایش به صورت نمودار در ادامه آورده شد. در دز ازن ثابت ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه و غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰

میلی‌مول در لیتر بیشترین میزان حذف COD در زمان ۹۰ دقیقه و pH=۱۱ به ترتیب ۶۲، ۶۵/۵، ۷۴/۷۷ و کمترین میزان حذف COD در زمان ۳۰ دقیقه و pH=۱۱ به ترتیب به میزان ۲۸/۴، ۳۲، ۳۸/۹ به دست آمد. در ادامه با ثابت نگه داشتن یکی از متغیرها تأثیر متغیر بعدی بر حذف سورفاکتانت‌های آنیونی مورد بررسی و سنجش قرار گرفت که نتایج حاصل از آزمایش در نمودارهای ۲ آورده شد. همان‌گونه که در نمودارها آمده در دز ازن ثابت ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه و غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مول در لیتر بیشترین میزان حذف سورفاکتانت‌های آنیونی در زمان ۹۰ دقیقه و pH=۱۱ به ترتیب ۶۳، ۶۷/۴، ۷۴/۲۷ و کمترین میزان حذف COD در زمان ۳۰ دقیقه و pH=۷ به ترتیب به میزان ۳۲، ۳۱/۶، ۳۹/۵۹ به دست آمد. همه این یافته‌ها در نمودارهای ۲ آورده شد.

جدول ۲: محدوده غلظت- میانگین و انحراف معیار پارامترهای فاضلاب

پارامتر	واحد	محدوده غلظت	میانگین غلظت
COD	mg/l	۱۱۵۰-۲۵۴	۶۵۰/۷۱ ± ۲۷۷/۵۳
سورفاکتانت‌های آنیونی	mg/l	۵۳/۴۶-۸/۸	۳۰/۱۵ ± ۱۴/۰۶
کدورت	NTU	۲۵۵-۵۳	۱۵۴/۵۴ ± ۶۳/۶۵
هدایت الکتریکی	μS/cm	۱۱۴۳-۸۶۳	۹۸۴/۳۶ ± ۹۷/۳۳
دما	°C	۲۵/۲-۱۹/۶	۲۱/۶ ± ۲/۰۴
pH	-	۸/۳۷-۷/۳۵	۸ ± ۰/۲۷

برای آنالیز بیشتر و بررسی میزان اثر زمان بر حذف پارامترهای COD و سورفاکتانت‌های آنیونی از آزمون ANOVA استفاده گردید. نتایج آزمون مشخص کرد که در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌مول در لیتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> میزان حذف COD بین زمان‌های ۶۰ و ۹۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (P=۰/۱۳۲)، ولی بین زمان ۳۰ دقیقه و دیگر سطوح زمان تفاوت معنی‌دار دیده می‌شود (P<۰/۰۵)؛ لذا

می‌توان زمان ۶۰ دقیقه را به عنوان زمان بهینه در نظر گرفت.

همچنین در غلظت ۴۰ میلی‌مول در لیتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> با انجام این آزمون مشخص شد که میزان حذف COD بین زمان‌های مختلف تفاوت معنی‌داری دارد (P<۰/۰۵).

نتایج آزمون ANOVA برای بررسی اثر pH بر حذف COD نشان داد که در غلظت ۱۰ و ۴۰ میلی‌

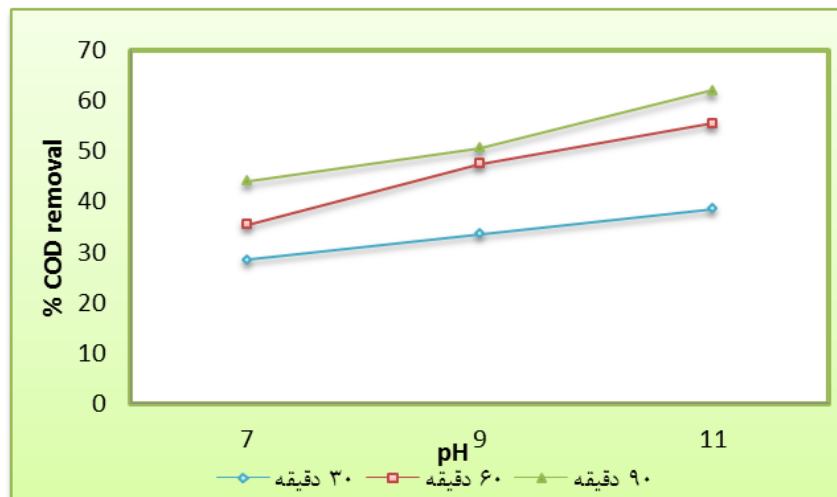
بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش pH مقدار حذف سورفاکتانت‌های آنیونی نیز افزایش می‌یابد. آزمون ANOVA مشخص نمود که میزان حذف سورفاکتانت‌های آنیونی در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$  در  $pH=11$  با دو سطح قبلی تفاوت معنی‌داری دارد ( $P<0/05$ ). همچنین نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که میزان حذف سورفاکتانت‌های آنیونی در غلظت ۴۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$  بین سطوح مختلف pH تفاوت معنی‌داری دارد ( $P<0/05$ ).

نمودارهای ۲ تأثیر دو متغیر زمان و pH را بر راندمان حذف COD و سورفاکتانت‌های آنیونی در فرایند پروکسون با دز ثابت ازن ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه و غلظت‌های مختلف  $H_2O_2$  نشان می‌دهد.

مول در لیتر  $H_2O_2$ ، مقدار حذف در  $pH=11$  با دو سطح قبلی تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ( $P<0/05$ ). همچنین در غلظت ۲۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ ، نتایج این آزمون نشان داد که میزان حذف COD در pH‌های مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارد ( $P<0/05$ ).

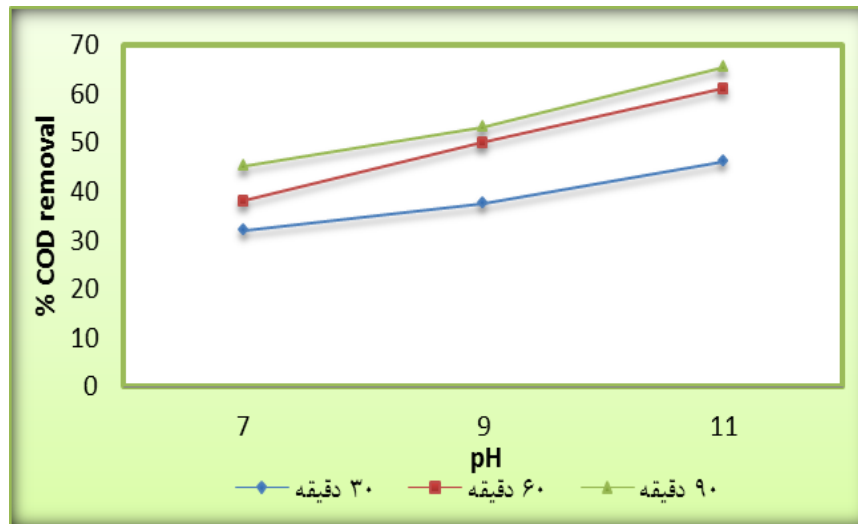
برای تفسیر نتایج حاصل از تأثیر زمان بر حذف سورفاکتانت‌های آنیونی نیز از آزمون ANOVA استفاده گردید. آزمون مشخص نمود که در تمام غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$  بین سطوح مختلف زمان در دز ازن ۰/۷ میلی‌گرم در دقیقه از نظر میزان حذف تفاوت معنی‌داری وجود دارد ( $P<0/05$ ).

اثر pH بر حذف سورفاکتانت‌های آنیونی نیز

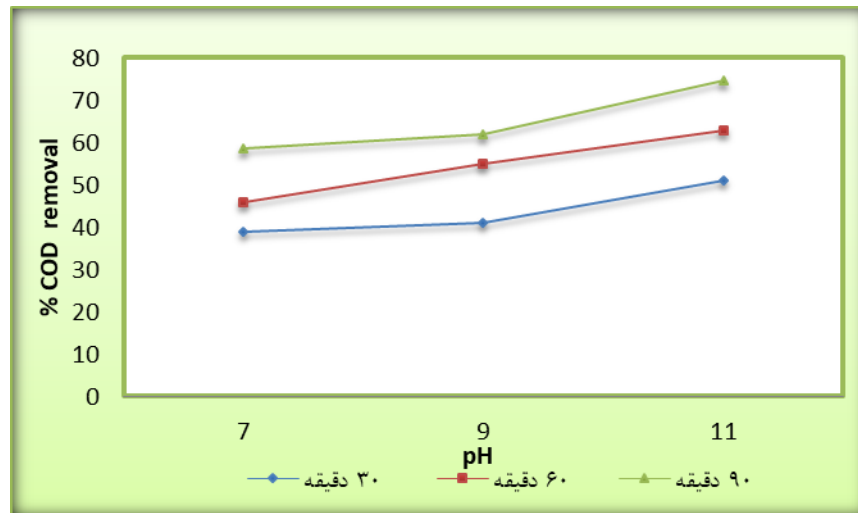


(الف)

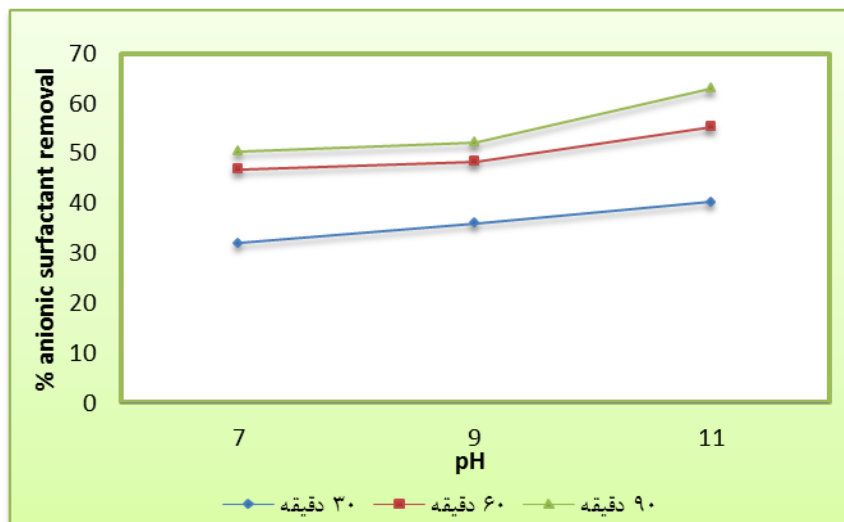




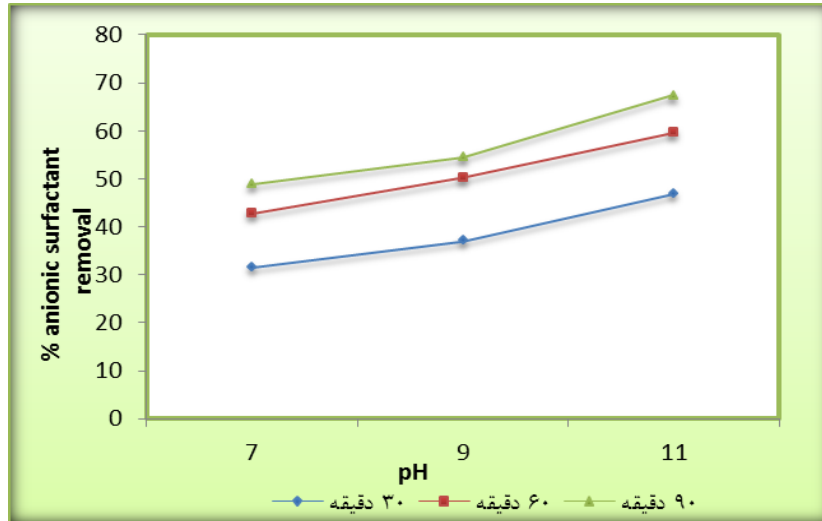
(ب)



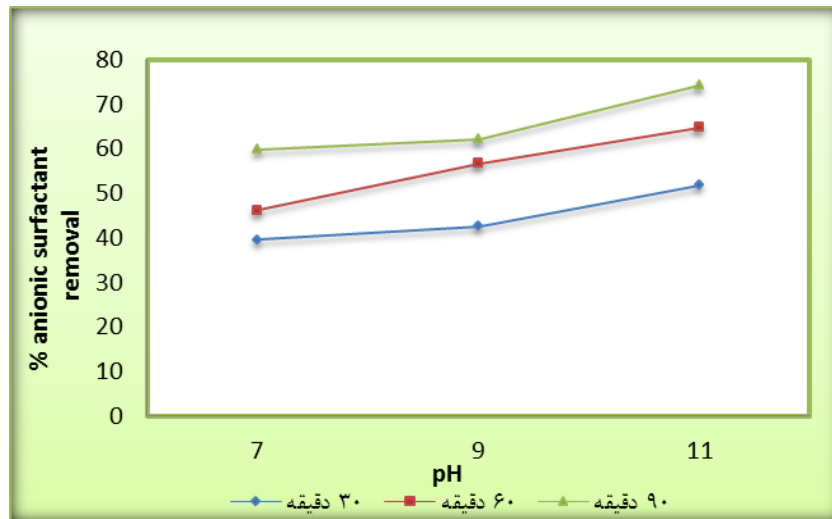
(ج)



(د)



(ه)



(و)

نمودار ۲: راندمان حذف COD در غلظت‌های مختلف  $H_2O_2$ . الف: در غلظت ۱۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ . ب: در غلظت ۲۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ . ج: در غلظت ۴۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ . و راندمان حذف سورفاکتانت‌های آنیونی در غلظت‌های مختلف  $H_2O_2$ . د: در غلظت ۱۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ . ه: در غلظت ۲۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ . و: در غلظت ۴۰ میلی مول در لیتر  $H_2O_2$ .

نتایج آنالیز نمودارهای ۲ نشان می‌دهد که با افزایش زمان تماس ازن با فاضلاب مقدار حذف COD نیز افزایش می‌یابد. همچنین این افزایش حذف با افزایش غلظت  $H_2O_2$  نیز کاملاً مشهود بود. Rivera- Utrilla و همکاران در مطالعه‌ای در مورد حذف سورفاکتانت سدیم دو دسیل بنزن سولفونات از آب با استفاده از ازن و پودر کربن فعال و مقایسه آن با  $O_3$

## بحث

از جمله پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر کارایی هر فرایندی زمان و pH واکنش می‌باشد. در این مطالعه که بر روی فاضلاب طبیعی با میانگین COD و سورفاکتانت آنیونی به ترتیب ۶۵۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر انجام شد، راندمان حذف با افزایش pH و زمان افزایش می‌یابد.

شاخه‌ای (ABS) در زمان ۸۰ دقیقه حذف گردید (۱۱).

اثر pH نیز بر حذف سورفاکتانت‌های آنیونی نیز مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه واعظی و همکاران نشان دادند که با افزایش pH میزان حذف دترجنت نیز افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد (۱۳)؛ اما مطالعات دیگری که با این روش روی پارامترهای مورد نظر کار کرده باشد و قابل مقایسه با مطالعه حاضر باشد، یافت نشد.

علت این افزایش حذف با افزایش pH به این دلیل است که تجزیه ازن در آب کاملاً به pH وابسته بوده و با بالا رفتن آن تسریع می‌یابد. مطالعات مشابه نیز نشان می‌دهد که ازن در شرایط قلیایی کاربرد بهتری داشته و نسبت به شرایط اسیدی با سهولت بیشتری به رادیکال‌های هیدروکسیل تبدیل می‌شود، زیرا یون‌های هیدروکسید نقش آغاز کننده واکنش‌های زنجیره‌ای تجزیه ازن و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل را ایفا می‌کنند (۱۹). با توجه به محدوده COD و سورفاکتانت آنیونی فاضلاب مورد آزمایش، فرآیند پروکسون قادر به حذف COD در حد استاندارد تخلیه به منابع آبی می‌باشد؛ اما با وجود این که این فرآیند به میزان زیادی قادر به حذف سورفاکتانت‌های آنیونی می‌باشد، ولی این میزان حذف در حد استاندارد تخلیه به منابع آبی نمی‌باشد. با توجه به استاندارد تخلیه پساب به منابع آب سطحی و با توجه به پژوهش صورت گرفته و نتایج به دست آمده، استفاده از ازن بالاتر با زمان تماس کمتر یا یک روش پیش تصفیه می‌تواند محدودیت‌های این روش از جمله گرانی آن به دلیل نیاز به تأمین نیروی برق را به میزان قابل توجهی برطرف کرده و این روش را به عنوان یک روش

و  $O_3/H_2O_2$  انجام دادند، دریافتند که با افزایش زمان تماس میزان حذف نیز افزایش می‌یابد (۱۴). همچنین واعظی و همکاران در مطالعه‌ای که در مورد تهیه ازن و استفاده از آن در حذف دترجنت از آب و فاضلاب انجام دادند، این افزایش مقدار حذف که با افزایش زمان اتفاق می‌افتد را تأیید کردند (۱۳).

نتایج آنالیز نمودارها نشان می‌دهد که با افزایش pH مقدار حذف COD نیز افزایش می‌یابد. از نتایج به دست آمده مشخص است که هر چه pH به سمت قلیایی پیش می‌رود راندمان افزایش می‌یابد. در این آزمایش  $pH=11$  به عنوان pH بهینه در حذف COD در نظر گرفته شد. واعظی و همکاران در مطالعه خود این افزایش مقدار حذف که با افزایش pH اتفاق می‌افتد را نیز تأیید می‌کنند (۱۳). مطالعه موسوی و همکاران همچنین نشان داد طی فرایند اکسیداسیون، COD نمونه‌های حاوی آلکیل بنزن سولفونات شاخه‌ای (ABS) از ۴۷۰ میلی گرم در لیتر به ۱۸۷ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. نسبت BOD<sub>5</sub>/COD در زمان ۶۰ دقیقه در غلظت ۶۰۰ میلی گرم در لیتر  $H_2O_2$  و ۱۳۰ میلی گرم در لیتر یون فرو، ۰/۲۲۵ بهبود یافت (۱۱).

نمودارهای ۲ همچنین نشان می‌دهد که همانند مرحله حذف COD، با افزایش زمان تماس ازن با فاضلاب مقدار حذف سورفاکتانت‌های آنیونی نیز افزایش می‌یابد. همچنین این افزایش حذف با افزایش غلظت  $H_2O_2$  نیز کاملاً قابل مشاهده بود. نتایج مطالعه موسوی و همکاران نشان داد که افزایش در غلظت اکسیدان و کاتالیست کارایی حذف را افزایش می‌دهد. در غلظت  $H_2O_2$  برابر ۷۵۰ میلی گرم در لیتر و یون فرو برابر ۱۳۰ میلی گرم در لیتر بیش از ۸۶ درصد از آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS) و

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بین pH و زمان تماس با راندمان حذف پارامترهای COD و سورفاکتانت‌های آنیونی ارتباط مستقیم وجود دارد. به این ترتیب که هر چه pH به سمت قلیایی پیش می‌رود مقدار حذف افزایش می‌یابد. همچنین هر چه زمان تماس از ن با فاضلاب افزایش می‌یابد، مقدار حذف پارامترهای مذکور نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که فرایند پروکسون در ترکیب با یک روش پیش تصفیه ساده می‌تواند به عنوان یک روش مطمئن و مؤثر به منظور تصفیه پساب‌های صنایع کوچک مثل کارواش‌ها که حاوی ترکیبات آلی به خصوص دترجنت‌ها و COD است، مورد استفاده قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش همکاری کردند، تشکر می‌نمایند. این مقاله نتیجه پایان‌نامه شماره ۱۷۵۶۹۱/۱۷/۱/پ دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد.

تصفیه پیشرفته و نهایی توجیه‌پذیر نموده و آن را به عنوان یک روش مطمئن و کاربردی جهت تصفیه فاضلاب چنین صناعی معرفی نماید تا علاوه بر کاهش آلاینده‌های موجود در فاضلاب آن‌ها به ویژه سورفاکتانت‌ها به حد استاندارد تخلیه به محیط زیست، قابلیت استفاده مجدد جهت مصارف مورد نیاز را فراهم آورد (۸،۱۰).

از سایر محدودیت‌های این روش می‌توان نیاز به فراهم کردن بستر مناسب و متناسب با فاضلاب مورد تصفیه جهت جلوگیری از خروج کف از راکتور در مقیاس بزرگ‌تر اشاره کرد تا با این کار سطح تماس و زمان تماس از ن با فاضلاب افزایش یافته و کارایی سیستم افزایش یابد. همچنین با این روش نمی‌توان حجم فاضلاب زیادی را در زمان کم تصفیه نمود. به عبارتی، نیاز به زمان طولانی جهت تصفیه حجم خاصی از فاضلاب می‌باشد که بسته به ظرفیت دستگاه از ن ژنراتور متفاوت است که البته این محدودیت با استفاده از همان روش پیش تصفیه‌ای که ذکر شد تا حدود زیادی برطرف می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

### References

1. Shahmansori MR, Roshani B. Evaluation of wastewater treatment of detergent industry using coagulation procession pilot scale. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services 2005;13(1):62-5. Persian
2. Illinois Environmental Protection Agency. How Do I Handle My Professional Car Wash Wastewater? [cited 2014 Aug 12]. Available from: <http://www.epa.state.il.us/small-business/car-wash/car-wash.pdf>
3. Dehghani MH, Nasser S, Ghaderpoori M, Mahvi AH, Nabizadeh Nodehi R. Investigating the Efficiency of UV/H2O2 Process for Removal of

- Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) in Aqueous Solutions. Iranian Journal of Health and Environment 2011;3(4):411-8. Persian
4. Abd El-Gawad HS. Aquatic environmental monitoring and removal efficiency of detergents. Water Science 2014;28(1):51-64.
5. Hanif NM, Adnasssn S, Latif M, Zakaria AM, Othman M. The composition of surfactants in river water and its influence to the amount of surfactants in drinking water. World Applied Sciences Journal 2012;17(8):970-5.
6. Ebrahimi A, Poor Moghadas H, Movahedian H, Amin MM, Vahid Dastjerdi M, Hosseini E. Determination of the removal efficiency of linear

- Alkyl Benzene Sulphonate Acids (LAS) in fixed bed aeration tank and conventional activated sludge. *Journal of Water and Wastewater* 2011;22(1):49-56. Persian
7. Perkowski J, Jozwiak W, Kos L, Stajszczyk P. Application of fenton's reagent in detergent separation in highly concentrated water solutions. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2006;14(5):59-64.
8. Takdastan A, Azimi A, Salari Z. The use of electrocoagulation process for removal of turbidity, COD, detergent and phosphorus from carwash effluent. *Journal of Water and WasteWater* 2011;22(3):19-25. Persian
9. Scott MJ, Jones MN. The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 2000;1508(1):235-51.
10. Bazrafshan E, Kord Mostafapour F, Soori MM, Mahvi AH. Application of combined chemical coagulation and electrocoagulation process to carwash wastewater treatment. *Fresenius Environmental Bulletin* 2012; 21(9):2694-701.
11. Mousavi SA, Mahvi AH, Mesdaghinia A, Nasser S, Honari HR. Fenton oxidation efficiency in removal of detergents from water. *Journal of Water and WasteWater* 2009 (4):16-23. Persian
12. Ahmadi Mousa Abad N, Moussavi GR. The removal of sodium dodecyl sulphate anionic surfactant from wastewater using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation process. *Modares Civil Engineering Journal* 2013;12(4):1-10.
13. Vaezi F, Mahvi A.H, Dehghanzade R. Ozone production and its use in removing detergents from water and wastewater. 2nd National Congress On Environmental Health; 1999 Nov 15-17; Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 1999. p. 128-36.
14. Rivera-Utrilla J, Mendez-Diaz J, Sanchez-Polo M, Ferro-Garcia MA, Bautista-Toledo I. Removal of the surfactant sodium dodecylbenzenesulphonate from water by simultaneous use of ozone and powdered activated carbon: comparison with systems based on O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Water Res* 2006;40(8):1717-25.
15. Kowalska I. Surfactant removal from water solutions by means of ultrafiltration and ion-exchange. *Desalination* 2008;221(1):351-7.
16. Mousavi AR, Mahvi AH, Mesdaghinia AR, Nasser S. Efficiency of the Fenton Process in detergent removal and improving biological treatability of wastewater of detergent - producing industries. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 2008;6(1):63-73. Persian
17. Nawrocki J, Kasprzyk-Hordern B. The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation. *Applied Catalysis B: Environmental* 2010;99(1):27-42.
18. Beltrán FJ, Rivas FJ, Montero-de-Espinosa R. Catalytic ozonation of oxalic acid in an aqueous TiO<sub>2</sub> slurry reactor. *Applied Catalysis B: Environmental* 2002;39(3):221-31.
19. Yang Y, Ma J, Qin Q, Zhai X. Degradation of nitrobenzene by nano-TiO<sub>2</sub> catalyzed ozonation. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 2007;267(1):41-8.
20. Bacardit J, García-Molina V, Bayarri B, Giménez J, Chamarro E, Sans C, et al. Coupled photochemical-biological system to treat biorecalcitrant wastewater. *Water Sci Technol* 2007;55(12):95-100.
21. Shahriyari Farfani AR, Mokhtari M, Ebrahimi A, Ghaneian M, Ehrampoush M, Dehghani A. Performance assessment of chemical coagulation together with advanced oxidation peroxone regarding dye wastewater treatment of appliance factories. *Toloo-e-behdasht* 2016;14(5):15-28. Persian
22. Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 1999.
23. Deng Y. Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *J Hazard Mater* 2007 19;146(1-2):334-40.
24. Shaeri AM, Rahmati A. *Human Environmental Laws, Regulation Criteria and Standards*. Tehran: Hak; 2012.

## The Efficiency of Peroxone Process in Packed Reactor for Removal of Anionic Surfactants and COD from Carwash Wastewater

Mehdi Mokhtari<sup>1</sup>, Mohammad Hasan Ehrampoush<sup>2</sup>, Asghar Ebrahimi<sup>1</sup>, Parvaneh Talebi<sup>3</sup>,  
Hasan Torabi<sup>4</sup>

### Abstract

**Background:** Carwash is an industry that consumes large amounts of water and its wastewater contains a variety of pollutants. The aim of this study was to investigate the efficiency of the Peroxone process as a method for wastewater treatment of carwashes.

**Methods:** This study was conducted at laboratory scale. A total of 54 samples were collected from a carwash in Yazd city and COD and anionic surfactants removal percentages were respectively determined by using the standard vial and anionic surfactants method and Methylene Blue Active Substances (MBAS). The process was conducted with an ozone dose of 0.7 mg per min, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrations of 10, 20 and 40 mmol per liter, reaction times of 30, 60 and 90 min and pH of 7, 9 and 11 in a cylindrical reactor respectively. Data were analyzed using ANOVA and through SPSS 18.

**Results:** The removal efficiencies of COD and anionic surfactants increased with increasing pH and reaction time; so that, at pH =11 and after a reaction time of 90 minutes for an ozone dose of 0.7 mg/min and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration of 40 mmol/l, removal efficiency of COD and anionic surfactants were respectively 74.77% and 74.27%.

**Conclusion:** The peroxone process has a good ability for removal of COD and anionic surfactants. Similar studies confirm the findings of this study. Meanwhile, pretreatment methods are recommended for further evaluation of this process.

**Keywords:** Carwash, Peroxone, Anionic surfactants, COD, Packed Reactor

1- Assistant Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

3- BSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

4- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

**Corresponding Author:** Hasan Torabi **Email:** hasan.torabi68@yahoo.com

**Address:** School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Alem Square, Yazd

**Tel:** 03538209100

**Fax:** 03538209119