

Treatability of Carwash Wastewater by Application of Combined Chemical Coagulation and UV/H₂O₂ Processes

M. Mohammadian Fazli¹, Sh. Zabihi², A. Assadi¹

1. Assoc. prof., Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
2. MSc of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
3. Assoc. prof., Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
(Corresponding Author) assadi@zums.ac.ir

(Received July 7, 2017 Accepted Nov. 26, 2017)

To cite this article :

Mohammadian Fazli, M., Zabihi, Sh., Assadi, A., 2018, "Treatability of carwash wastewater by application of combined chemical coagulation and UV/H₂O₂ processes." *Journal of Water and Wastewater*, 30(1), 77-85.
Doi: 10.22093/wwj.2017.77993.2351 (In Persian)

Abstract

In recent years, the increase in car production, population growth, urbanization and significant expansion of the use of private vehicles has led to the development of more and more carwash facilities in all cities. Regarding the carwash wastewater pollutants, treatment of such wastewater can be a big help in protecting surface and groundwater resources. The wastewater needed for this research was taken from the output of carwash using hand washing method and composite sampling. The aim of this study was to determine the efficiency of combined chemical coagulation and UV/H₂O₂ processes in treatment of carwash wastewater. To reduce the settleable solids, samples underwent a 2-hour settlement. Then in the first step of coagulation process, the optimum conditions for pH and the ferric chloride dose were obtained using jar test. The effluent of coagulation stage was introduced to UV/H₂O₂ reactor under the influence of ultraviolet radiation. Finally, required parameters such as COD and BOD₅ in the effluent of oxidation process were measured at the designated times. Results showed that the COD removal efficiency of 70% and 93.2% was achieved in coagulation and UV/H₂O₂ process, respectively. The overall efficiency of this system based on COD and BOD₅ removal was obtained as 98% and 97.5%, respectively. Overall, the recommended combined system is effective and robust to treat carwash wastewater to meet the standards of effluent discharge.

Keywords: Carwash, Effluent, Chemical Coagulation, UV/H₂O₂.



بررسی تصفیه پذیری فاضلاب کارواش با کاربرد فرایندهای ترکیبی انعقاد و UV/H_2O_2

مهران محمدیان فضل^۱، شیوا ذبیحی^۲، علی اسدی^۳

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران
(نویسنده مسئول) assadi@zums.ac.ir

(دریافت ۹۶/۱۶، پذیرش ۹۶/۹/۵)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

محمدیان فضل^۱، م.، ذبیحی، ش.، اسدی، ع.، ۱۳۹۷، بررسی تصفیه پذیری فاضلاب کارواش با کاربرد فرایندهای ترکیبی انعقاد و UV/H_2O_2
مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۱)، ۷۷-۸۵. Doi: 10.22093/wwj.2017.77993.2351

چکیده

با توجه به آلاینده‌های موجود در فاضلاب کارواش‌ها، تصفیه فاضلاب ناشی از این صنعت کمک بزرگی به حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی است. این پژوهش با هدف تعیین کارایی سیستم انعقاد و UV/H_2O_2 در تصفیه فاضلاب کارواش انجام شد. فاضلاب استفاده شده در این پژوهش از خروجی نهایی کارواش خودروهای سبک با روش شست و شوی دستی تهیه شد و نمونه برداری به صورت مرکب انجام شد. به منظور مطالعه تصفیه پذیری فاضلاب، ابتدا نمونه به منظور ته نشینی و کاهش TSS به مدت ۲ ساعت به حال سکون نگه داشته شد. در مرحله اول تصفیه با انجام فرایند انعقاد با کمک دستگاه جارتست، بهینه سازی pH و دز کلورفریک انجام شد. سپس نمونه‌ها وارد راکتور UV/H_2O_2 شد و تحت تأثیر پرتوی فرابنفش قرار داده شد. نهایتاً مقادیر پارامترهای مورد نظر مانند COD و BOD_5 در پساب خروجی از فرایند اکسیداسیون در زمان‌های تعیین شده سنجش شد. یافته‌ها نشان داد که راندمان حذف COD در فرایند انعقاد و UV/H_2O_2 به ترتیب برابر با ۷۰ و ۹۳/۲ درصد بود. راندمان کلی سیستم تصفیه ترکیبی بر مبنای COD و BOD_5 به ترتیب برابر با ۹۸ و ۹۷/۵ حاصل شد و مشخص شد که سیستم پیشنهاد شده یک روش مؤثر در تصفیه فاضلاب کارواش و تأمین استانداردهای تخلیه پساب است.

واژه‌های کلیدی: کارواش، فاضلاب، انعقاد شیمیایی، UV/H_2O_2

۱- مقدمه

دیگر به علت این که فاضلاب کارواش‌ها دارای مقادیر زیادی آلاینده از جمله جامدات، دترجنت‌ها، فسفات، روغن و گریس، هیدروکربن‌ها و فلزات سنگین، مواد شیمیایی مضر و سایر آلاینده‌ها می‌باشد، تصفیه فاضلاب کارواش‌ها کمک بزرگی به حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌نماید (Zaneti et al., 2011).
پدیده اتریفیکاسیون در اثر ورود بی رویه مواد شوینده حاوی فسفر به منابع آب‌های سطحی ایجاد می‌شود (Zaneti et al., 2012, Panizza et al., 2005).
اکثر این مواد دیر تجزیه پذیر بوده و در تصفیه‌خانه‌های متعارف

با توجه به افزایش روزافزون خودروها در کشور در سال‌های اخیر، استفاده از کارواش برای شست و شوی وسایل نقلیه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل تعداد کارواش‌ها در سطح شهرهای کشور افزایش چشمگیری داشته است و تصفیه فاضلاب این واحدها ضروری به نظر می‌رسد. نوع فاضلاب کارواش با فاضلاب بهداشتی متفاوت است و قبل از رهاسازی به شبکه فاضلاب شهری باید تصفیه صورت گیرد. این در حالی است که فاضلاب این واحدها بدون هیچ گونه تصفیه وارد منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی یا شبکه فاضلاب شهری می‌شود. از سوی



شيوه‌های اکسیداسیون ترکیبات آلی معرفی شده‌اند (Esplugas et al., 2002). این فرایندها که پتانسیل زیادی برای حذف انواع آلودگی‌ها دارند، منجر به تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل (OH^*) می‌شوند و به دلیل قدرت اکسیداسیون بالا و غیر انتخابی بودن، بیشترین کارایی را در حذف ترکیبات آلی دارند. این رادیکال‌ها بعد از فلونور بیشترین قدرت اکسیدکنندگی را دارند (Kestioslu et al., 2005). در فرایند UV/H_2O_2 ، رادیکال هیدروکسیل زمانی تشکیل می‌شود که H_2O_2 توسط اشعه فرابنفش در طول موج ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر تجزیه شود. در واقع اشعه ماوراء بنفش در اکسیداسیون مواد آلی نقش کاتالیست را به عهده دارد، به طوری که با جذب انرژی اشعه به وسیله ترکیبات آلی، پیوندهای ترکیبات شیمیایی شکسته شده و آماده اکسیداسیون شیمیایی می‌شوند. همچنین اشعه UV باعث ایجاد رادیکال‌های OH^* از H_2O_2 می‌شود که این رادیکال‌ها در اکسید کردن مواد موجود در فاضلاب قوی‌تر از H_2O_2 عمل می‌کنند (Shemer and Linden, 2007a).

با عنایت به این که در کشور ایران بسیاری از کارواش‌ها فاضلاب تولیدی خود را بدون هیچ‌گونه پیش تصفیه‌ای مستقیماً وارد فاضلابروهای شهری و چاه‌های جذبی می‌کنند، این پژوهش با هدف جلوگیری از آلودگی آب‌های سطحی، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و تحقق استانداردهای تصفیه و نهایتاً به منظور راه‌اندازی یک روش جدید در کشور انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش کار

فاضلاب مورد نیاز برای انجام این پژوهش در هر فصل از محل کارواش خودروهای سبک با شست و شوی دستی و روش نمونه‌برداری مرکب از کانال خروجی از کارواش در شهر زنجان تهیه شد. نمونه مرکب در یک روز کاری در تواتر زمانی یک ساعت در ظرف پلاستیکی ۲۰ لیتری تهیه شد و تا زمان آزمایش در یخچال نگهداری شد. به منظور مطالعه تصفیه‌پذیری، ابتدا نمونه به منظور ته‌نشینی مواد معلق به مدت ۲ ساعت به حال سکون نگه داشته شد. در مرحله اول تصفیه، فرایند انعقاد با استفاده از دستگاه جارتست برای تعیین pH و دز مناسب کلرورفریک بهینه‌سازی شد. برای این منظور pH در محدوده ۵ تا ۱۰ و کلرور فریک در

حذف نمی‌شوند. به این ترتیب که در حوض هوادهی و اختلاط، حجم زیادی کف تولید می‌کنند، فرایند تصفیه را مختل می‌کنند و نیز باعث ایجاد مخاطراتی برای کارگران تصفیه‌خانه‌ها می‌شود. بنابراین تصفیه فاضلاب‌های حاوی فسفر و دترجنت به دلیل جلوگیری از آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و بهبود عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از اهمیت خاصی برخوردار است (Rostami, 2003).

فاضلاب کارواش‌ها حاصل شست‌وشوی بخش‌های مختلف اتومبیل‌ها مانند روشویی، موتورشویی و زیرشویی است. در میان انواع مختلف فاضلاب، فاضلاب واحدهای کارواش یکی از آلوده‌ترین فاضلاب‌ها با شدت ناخالصی بالا به شمار می‌رود. زیرا دارای شن و ماسه، ذرات، روغن و گریس، سورفکتانت، مواد شوینده، فسفات و حلال‌ها است. دفع مستقیم این فاضلاب باعث تشدید آلودگی آب‌های طبیعی و همچنین افزایش بار اضافی و تأثیر منفی بر روی بهره‌وری از فرایندهای تصفیه فاضلاب به دلیل وجود ناخالصی‌ها می‌شود. لذا رفع آلودگی محیط زیست کارواش‌ها امری ضروری و با اهمیت خاص است (Panizza and Cerisola, 2010; Hamada and Miyazaki, 2004).

به همین دلیل حذف پارامترهای مهم فاضلاب کارواش با روش‌های متعدد و با تأکید بر استفاده مجدد از پساب در مطالعات مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Nadzirah et al., 2015). هیچ قوانین و مقررات سختگیرانه‌ای برای آب مصرفی در کارواش‌ها وجود ندارد. بنابراین فاضلاب تولید شده از کارواش می‌تواند با ترکیب فرایند انعقاد و لخته‌سازی به عنوان پیش تصفیه و فرایند دیگر، مجدد مورد استفاده قرار گیرد (Lau et al., 2013). در این راستا استفاده از فرایندهای تلفیقی به دلیل افزایش کارایی حذف مواد آلی و کاهش هزینه‌های مرتبط بسیار مفید است (Arsene et al., 2011).

انعقاد و لخته‌سازی یکی از مراحل مهم در تصفیه فاضلاب است که با کمک منعقدکننده‌های شناخته شده نظیر سولفات آلومینیوم (آلوم) $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ ، سولفات فریک $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ و کلرور فریک $(FeCl_3 \cdot 7H_2O)$ انجام می‌شود (Mohamed et al., 2014).

فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته^۱ با استفاده از اشعه UV و یک ماده اکسیدکننده مناسب مانند H_2O_2 یکی از پر بازده‌ترین

^۱ Advanced Oxidation Process (AOPs)



(C 2540)، دترجنت (C 5540)، چربی و روغن (D 5520)، فسفات (P 4500)، pH و دما با دستگاه WTW آلمان مطابق روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد (APHA 2005). برای اطمینان از صحت و دقت آزمایش، از محلول‌های استاندارد COD با غلظت ثابت به منظور کنترل کیفی استفاده و سه بار آزمایش انجام شد. درصد بازیابی یا خطای نسبی استاندارد (RSE) در مورد آزمایش COD در این پژوهش کمتر از ۱۰ درصد بود که کمتر از مقدار پیشنهاد شده در کتاب استاندارد متد است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کیفیت فاضلاب خام کارواش

فاضلاب تولید شده در کارواش‌ها حاوی دترجنت، سوخت، روغن، مواد جامد و گل و لای است که منجر به تولید فاضلاب کدر و با ناخالصی زیاد می‌شود (Mohamed et al., 2014). برای تعیین کیفیت فاضلاب خام، میانگین و انحراف معیار پارامترهای فاضلاب کارواش، دوبار نمونه‌برداری در دو فصل تابستان و زمستان و در هر فصل سه نمونه‌برداری انجام شد.

نتایج در جدول ۱ گزارش شده است. در گام دوم برای انجام مطالعه تصفیه‌پذیری، قبل از فرایند انعقاد، ابتدا فاضلاب خام به مدت دو ساعت به منظور حذف جامدات قابل ته‌نشینی در یک ظرف بیست لیتری دهانه گشاد به حال سکون نگه داشته شد. بعد از مرحله ته‌نشینی میزان TSS ثانویه به حدود ۴۳۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. ته‌نشینی ساده باعث حذف ۴۳ درصدی میزان TSS اولیه شد. نمونه لازم برای انجام آزمایش‌های پایلوت از زیر سطح فاضلاب برداشت شد.

غلظت‌های محدوده ۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مطالعه شد. مرحله اختلاط سریع به مدت ۱ دقیقه با ۱۰۰ دور در دقیقه، اختلاط آرام به مدت ۱۰ دقیقه با ۴۰ دور در دقیقه و مرحله سکون به مدت ۳۰ دقیقه به منظور ته‌نشینی در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها وارد راکتور UV/H_2O_2 شد و نهایتاً مقدار پارامترهای مورد نظر مانند COD و BOD_5 به عنوان شاخص کارایی فرایند در خروجی مرحله اکسیداسیون مورد سنجش قرار گرفت.

در مرحله دوم برای انجام فرایند اکسیداسیون از یک راکتور استوانه‌ای شکل با حجم مفید یک لیتر و از جنس پلکسی گلس استفاده شد. پرتو UV مورد استفاده در این پژوهش توسط لامپ بخار جیوه کم فشار ۴۰۰ W ساخت کشور فرانسه تأمین شد. لامپ درون پوشش کوارتز بسیار شفاف، به قطر ۳ سانتی‌متر به صورت عمودی در داخل راکتور قرار داده شد. برای تأمین دمای ثابت واکنش اکسیداسیون، پوشش کوارتز داخل یک محفظه دیگر مجهز به ورود و خروج آب قرار داده شد. واکنش در pH خروجی واحد انعقاد به استثنای موارد تعیین اثر pH انجام شد. برای تنظیم pH از اسید سولفوریک و سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. غلظت اولیه H_2O_2 برای تعیین مقدار بهینه آن در دامنه ۰/۰۵ تا ۱ مولار قرار داشت. کلیه مواد شیمیایی دارای درجه آزمایشگاهی ساخت مرک آلمان در پژوهش استفاده شدند. درجه خلوص پراکسید هیدروژن و کلروفریک به کار رفته در این پژوهش به ترتیب برابر با ۳۰ و ۹۹ درصد بود.

۲-۲- آنالیز

اندازگیری پارامترها و روش به‌کار رفته در پژوهش شامل TDS، TSS (2540 D)، BOD_5 (5210 B)، COD (5220 C)

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار پارامترهای نمونه فاضلاب خام کارواش

Table 1. The characteristics of raw carwash wastewater

Parameter	Unit	Density Variation	X±SD
TSS	mg/L	380-1000.6	319.3±680.7
TDS	mg/L	202.2-1210	706.1±712.6
BOD_5	mg/L	198-1067	632.5±614.5
COD	mg/L	980-2050	1215±380.9
BOD_5/COD	-	0.2-0.7	0.55±0.2
Detergent	mg/L	3.5-29.2	16.35±18.17
Phosphate	mg/L	8.3-46.5	27.4±27
pH	-	6-9.3	7.65±2.3
Oil & Grease	mg/L	7.4-38.3	22.85±22

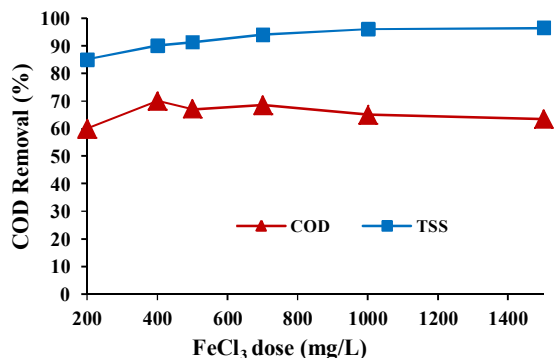


Fig. 2. Ferric chloride optimum dose for coagulation process

شکل ۲- تعیین دز بهینه کلرور فریک در فرایند انعقاد

نتایج به دست آمده نشان داد که دز بهینه کلرور فریک برابر ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. شاخص اصلی برای کسب این نتایج، بالاترین درصد حذف COD بود. شکل ۲ این اثرات را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن pH و دز بهینه کلرور فریک، درصد حذف COD و TSS به ترتیب به ۷۰ و ۹۶/۵ درصد رسید. کلرور فریک بعد از هیدرولیز شدن در آب بار مثبت تولید می‌کند و باعث خنثی‌سازی بار منفی ذرات کلوئید و مواد آلی موجود در فاضلاب می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که افزایش منعقد کننده باعث افزایش حذف COD می‌شود، ولی با ادامه این روند، حذف COD کاهش می‌یابد. زیرا در حضور مقادیر بالاتر منعقد کننده، پایدارسازی مجدد بار کلوئیدها اتفاق می‌افتد که باعث کاهش بازدهی نیز می‌شود (Assadi et al., 2013, Zulfiqar et al., 2011).

پژوهش‌های به دست آمده توسط سایر پژوهشگران نیز محدوده pH خنثی را برای کلرور فریک تأیید می‌نمایند که با یافته‌های به دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد (Stephenson and Duff, 1996).

پژوهش دیگری نیز نشان داده است که انعقاد فاضلاب کارواش با پلی‌آلومینیوم کلراید (PACl) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به حذف COD و TSS به ترتیب به مقدار ۸۳ و ۷۱ درصد شده است که با افزایش منعقد کننده، درصد حذف نیز افزایش یافته است (Bazrafshan et al., 2012). در پژوهش مشابه دیگری بر روی فاضلاب کارواش، آلوم و سولفات فرو به مقدار ۱۵۰

۳-۲- تأثیر فرایند انعقاد بر حذف COD

در مرحله اول انعقاد، pH بهینه به این شرح به دست آمد: در هر کدام از بشرهای دستگاه جارتست ۱ لیتر نمونه ته‌نشین شده ریخته شد. pH این ظرف‌ها با ثابت نگه داشتن دز منعقد کننده کلرور فریک بر روی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محدوده ۵ تا ۱۰ تنظیم شد. شکل ۱ تأثیر pH بر روی مرحله انعقاد با غلظت ثابت کلرور فریک را نشان می‌دهد. طبق پژوهش‌های انجام شده، محصولات ناشی از هیدرولیز از جمله Al^{3+} و Fe^{3+} در فرایندهای تشکیل لخته و حذف آن نقش دارند. امکان تشکیل ترکیبات متنوعی از محصولات هیدرولیز نیز وجود دارد که ممکن است یک یا تعدادی از آنها در انجام فرایند دخالت داشته باشند (Zaneti et al., 2012, Irdemez et al., 2006).

تأثیر pH بر روی انعقاد شیمیایی و لخته‌سازی را می‌توان به عنوان موازنه دو نیروی رقابتی در نظر گرفت: نیروی اول، رقابت بین H^+ و محصولات هیدرولیز منعقد کننده برای برهمکنش با لیگندهای آلی و نیروی دوم، رقابت بین یون هیدروکسید و آنیون‌های آلی برای برهمکنش با محصولات هیدرولیز منعقد کننده (Stephenson and Duff, 1996).

در ادامه، با در نظر گرفتن pH بهینه برابر ۷ که بالاترین بازدهی حذف COD و TSS (حدود ۵۰ درصد) را دارد، تأثیر غلظت‌های اولیه منعقد کننده مصرفی مورد بررسی قرار گرفت.

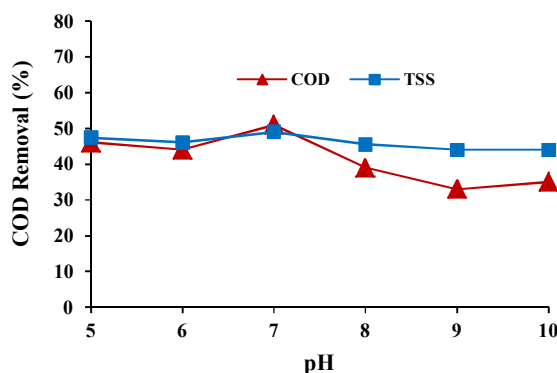
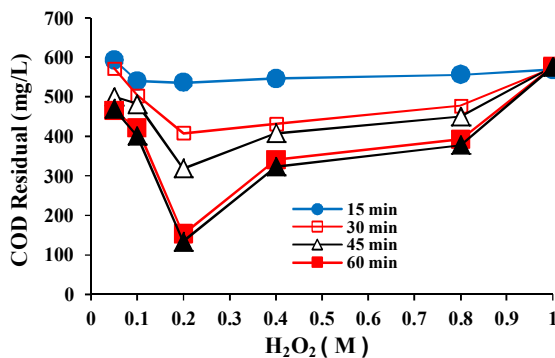


Fig. 1. Optimum pH for coagulation process in the presence of 500 mg/L of coagulant (ferric chloride)

شکل ۱- pH بهینه فرایند انعقاد در حضور کلرور فریک با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر

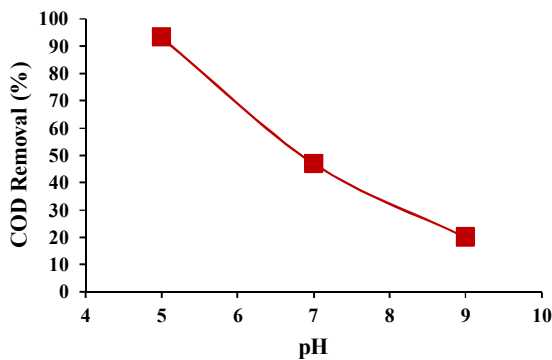


پراکسید هیدروژن برابر ۰/۲ مولار و زمان بهینه ۶۰ دقیقه تعیین شد. برای رسیدن به این هدف، pH نمونه‌ها در محدوده اسیدی، خنثی و قلیایی تنظیم شد. در زمان بهینه ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری صورت گرفت و میزان حذف BOD₅ و COD اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده در حذف COD در شکل ۴ آورده شده است. نتایج آزمایش‌های شاهد نشان داد که استفاده از اشعه فرابنفش و پراکسید هیدروژن به تنهایی بعد از گذشت ۶۰ دقیقه میزان COD را به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۴ درصد کاهش می‌دهد. در صورتی که در فرایند UV/H₂O₂ در حضور ۰/۲ مولار پراکسید هیدروژن و زمان تابش یک ساعت منجر به کاهش ۹۳ درصدی از میزان COD ورودی به این راکتور در pH اسیدی برابر با ۵ می‌شود (شکل ۴).



شکل ۳- درصد حذف COD در غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن در فرایند UV/H₂O₂

Fig. 3. Initial hydrogen peroxide effects on COD removal in UV/H₂O₂ process



شکل ۴- بررسی اثر pH بر درصد حذف COD در فرایند UV/H₂O₂ با دز ۰/۲ مولار پراکسید هیدروژن و زمان تابش ۶۰ دقیقه

Fig. 4. COD removal as a function of the pH value in UV/H₂O₂ process (H₂O₂ = 0.2 M; t = 60 min)

میلی‌گرم در لیتر منجر به حذف به ترتیب ۷۴ و ۷۱ درصد COD و ۸۷ و ۷۷ درصد TSS شده است (Mohamed et al., 2014). همچنین کاربرد انعقاد الکتریکی برای تصفیه فاضلاب کارواش با الکترودهای آهن و آلومینیوم در pH اسیدی برابر با ۳ منجر به حذف حدود ۹۰ درصد COD شده است که افزایش pH بازدهی حذف را به‌طور چشمگیر کاهش داده است (Takdastan et al., 2011).

۳-۳- تأثیر فرایند UV/H₂O₂ بر حذف COD

در مرحله دوم فرایند ترکیبی، قابلیت فرایند اکسیداسیون پیشنهاد شده برای حذف باقیمانده COD مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا برای بهینه کردن فرایند، تأثیر غلظت‌های اولیه واکنش‌گر پراکسید هیدروژن تعیین شد. برای تعیین دز بهینه ماده اکسید کننده (H₂O₂) مورد نیاز در فرایند اکسیداسیون، نمونه‌های خروجی از فرایند انعقاد با شرایط بهینه (pH = ۷ و FeCl₃ = ۴۰۰ mg/L) وارد راکتور UV/H₂O₂ شدند. دزهای پراکسید هیدروژن از ۰/۵ تا ۱ مولار انتخاب شدند. نمونه‌برداری در زمان‌های صفر تا ۱۲۰ دقیقه از راکتور صورت گرفت. نتایج به دست آمده در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج فرایند UV/H₂O₂ نشان می‌دهد که هنگامی که رادیکال هیدروکسیل به اندازه کافی وجود داشته باشد، اکسیداسیون منحصراً به دلیل حمله رادیکال‌های هیدروکسیل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۳ تجزیه مواد آلی به شدت وابسته به غلظت اولیه پراکسید هیدروژن است. در این شرایط راهبری، مقدار بهینه H₂O₂ برابر با ۰/۲ مولار باعث رسیدن به فاضلابی با COD باقیمانده حدود ۱۳۳ میلی‌گرم در لیتر در ۶۰ دقیقه تابش اشعه UV می‌شود. در حالی که با افزایش غلظت H₂O₂ مشاهده می‌شود که COD فاضلاب در زمان واکنش یکسان تا ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد. به هر حال، غلظت اولیه H₂O₂ دو اثر متضاد بر کاهش COD دارد. با افزودن H₂O₂، فرایند اکسیداسیون تا یک نقطه معین مؤثر است ولی بعد از آن، پراکسید هیدروژن باعث کاهش تجزیه مواد آلی و افزایش غلظت COD باقیمانده فاضلاب می‌شود. محتمل‌ترین توصیف برای این تغییرات این است که خود پراکسید به‌عنوان رابیننده رادیکال آزاد در غلظت اولیه بالا عمل می‌نماید (Assadi and Eslami, 2010).

در ادامه pH بهینه فرایند اکسیداسیون UV/H₂O₂ با دز بهینه

۹۰ دقیقه در حضور ازن به مقدار ۱/۱ میلی گرم در دقیقه بازدهی حذف به ترتیب برابر با ۶۷/۵۷ و ۷۷/۷۱ درصد حاصل شده است (Torabi et al., 2016). تأثیر بنتونیت به عنوان نانورس در اصلاح غشاهای اولترافیلتر از جنس استات سلولز و پلی اتر سولفون برای تصفیه فاضلاب کارواش بررسی شده است. نتایج نشان داده است که بالاترین درصد حذف COD برابر با ۶۰ درصد برای غشای استات سلولز بوده و فقط ۴۷ درصد حذف برای غشای پلی اتر سولفون مشاهده شده است (Kiran et al., 2015).

پژوهشی در زمینه استفاده مجدد از فاضلاب کارواش با فرایندهای تصفیه انعقاد شیمیایی و بیوراکتور غشایی نشان داده است که بیوراکتور غشایی بهتر از انعقاد شیمیایی با کمک آلوم و پلی آلومینیوم کلراید عمل می‌نماید و درصد حذف TSS و COD به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۹۹/۲ درصد برای بیوراکتور غشایی است (Boluarte et al., 2016).

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد فرایند ترکیبی انعقاد و UV/H_2O_2 برای تصفیه فاضلاب کارواش ماشین‌های سبک با شست و شوی دستی بعد از حذف جامدات معلق توسط ته‌نشینی ثقلی ساده امکان‌پذیر است. یافته‌ها در مورد تصفیه‌پذیری نشان داد که بازدهی حذف COD در فرایند انعقاد و UV/H_2O_2 به ترتیب برابر با ۷۰ و ۹۳/۲ درصد بود. بازدهی کلی سیستم تصفیه ترکیبی بر مبنای COD و BOD_5 به ترتیب برابر با ۹۸ و ۹۷/۵ درصد حاصل شد. میزان حذف COD در فرایند انعقاد وابسته به pH و غلظت کلروفوریک بود و در فرایند اکسیداسیون بهترین عملکرد در شرایط اسیدی در حضور پراکسید هیدروژن در مقدار ۰/۲ مولار کسب شد. در کل، نتایج نشان داد که فرایند ترکیبی پیشنهاد شده توانایی تأمین استاندارد تخلیه فاضلاب بر مبنای حذف COD و BOD_5 با توجه الزامات ملی و بین‌المللی را دارد.

۵- قدردانی

به این وسیله از همکاری معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی زنجان در تأمین مالی این پروژه سپاسگزاری می‌شود.

محتمل‌ترین دلیل برای تأثیر pH در فرایند اکسیداسیون این است که تجزیه سریع رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن در pH بالاتر و واکنش سریع رادیکال‌ها در مقادیر pH پایین رخ می‌دهد (Alniazy and Akgerman, 2000).

یافته‌ها در مورد تصفیه‌پذیری نشان داد که بازدهی حذف COD در فرایند انعقاد و UV/H_2O_2 به ترتیب برابر با ۷۰ و ۹۳/۲ درصد بود. بازدهی کلی سیستم تصفیه ترکیبی بر مبنای COD و BOD_5 به ترتیب برابر با ۹۸ و ۹۷/۵ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که فرایند ترکیبی پیشنهاد شده توانایی تأمین استاندارد تخلیه فاضلاب با توجه به الزامات ملی سازمان حفاظت محیط زیست ایران را دارد (DOE, 1991). مقادیر پارامترهای فاضلاب کارواش تصفیه شده برای تخلیه در استانداردهای اتحادیه اروپا (EU) برای BOD_5 ، COD و TSS به ترتیب کمتر از ۲۵، ۱۲۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد شده است (Boussu et al., 2007).

در این فرایند، افزودن اشعه فرابنفش به دلیل تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل باعث تشدید قدرت اکسیداسیون پراکسید هیدروژن در تجزیه و تخریب ترکیبات آلی می‌شود. در ابتدای کار، آلاینده‌های آلی در حضور اکسیدان H_2O_2 اشعه فرابنفش را جذب می‌کنند. در مرحله دوم پرتو UV به عنوان کاتالیزور، پراکسید هیدروژن را به دو رادیکال هیدروکسیل می‌شکنند. در مطالعه انجام شده برای تجزیه ترکیبات هیدروکربن پلی آروماتیک (PAH) توسط لامپ فرابنفش کم فشار، مقدار بازدهی حذف ۶ تا ۱۵ درصد به دست آمده است و افزایش بیشتر H_2O_2 موجب کاهش بازدهی حذف در طی فرایند UV/H_2O_2 شده است (Shemer and Linden, 2007b).

نتایج پژوهش دیگری با فرایند UV/H_2O_2 نشان داد که میزان ۳۵ درصد COD و ۴۴ درصد BOD_5 از فاضلاب نساجی حذف شده است (Muhammad et al., 2008).

در پژوهش دیگری عملکرد فرایند ازن زنی در یک راکتور با بستر آکنده برای حذف COD و سورفکتانت آنیونی از فاضلاب کارواش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داده است که کارایی سیستم در حذف COD و سورفکتانت آنیونی با افزایش pH و زمان تماس افزایش می‌یابد. به طوری که در pH برابر ۱۱ و زمان واکنش



References

- Alniazy, A. & Akgerman, A. 2000. Advanced oxidation of phenolic compound. *Advances in Environmental Research*, 4, 233-244.
- APHA, AWWA, WEF. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th Ed., New York.
- Arsene, D., Petronela Musteret, C., Catrinescu, C., Apopei, P., Brajoveanu, G., & Teodosiu, C. 2011. Combined oxidation and ultrafiltration processes for the removal of priority organic pollutants from wastewaters. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 10, 1967-1976.
- Assadi, A. & Eslami, A. 2010. Comparison of phenol photodegradation by UV/H₂O₂ and photo-fenton processe. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9, 807-812.
- Assadi, A., Nateghi, R., Bonyadinejad, G. R. & Amin, M. M. 2013. Application of coagulation process reactive blue 19 dye removal from textile industry wastewater. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2(1), 5.
- Bazrafshan, E., Kord Mostafapoor, F., Soori, M. M., & Mahvi, A. H. 2012. Application of combined chemical coagulation and electrocoagulation process to carwash wastewater treatment. *Fresenius Environmental Bulltein*, 21(9a), 2694-2701.
- Boluarte, I. A. R., Andersen, M., Pramanik, B. K., Chang, C. Y., Bagshaw, S., Farago, L. & Shu, L. 2016. Reuse of car washwastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 113, 44-48.
- Boussu, K., Kindts, C., Vandecasteele, C. & Van der Bruggen, B. 2007. Applicability of nanofiltration in the carwash industry. *Separation and Purification Technology*, 54(2), 139-146.
- DOE. 1991. *Rules and regulations for environmental protection in Iran*, Department of the Environment (DOE), Tehran, Iran. (In Persian)
- Esplugas, S., Gimenez, j., Contreras, S., Pascual, E. & Rodriguez, M. 2002. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, 36(4), 1034-1042.
- Hamada, T. & Miyazaki, Y. 2004. Reuse of carwash water with a cellulose acetate ultrafiltration membrane aided by flocculation and activated carbon treatments. *Desalination*, 169, 257-267.
- Irdemez, S., Demiricioglu, N., Yildiz, Y. S. & Bingul, Z. 2006. The effect of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electro coagulation using aluminum and iron plate electrodes. *Separation and Purification Technology*, 52 (2), 218-223.
- Kestioslu, K., Yonar, T., & Azbar, N. 2005. Feasibility of physico-chemical treatment and advanced oxidation processes (AOPs) as a means of pretreatment of olive mill effluent. *Journal of Process Biochemistry*, 40, 2409-2416.
- Kiran, S. A., Arthanareeswaran, G., Thuyavan, Y. L. & Ismail, A. F. 2015. Influence of bentonite in polymer membranes for effective treatment of car wash effluent to protect the ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 186-192.
- Lau, W. J., Ismail, A. F. & Firdaus, S. 2013. Carwash industry in Malaysia: Treatment of carwash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 104, 26-31.



- Mohamed, R., Saphira, R. M., Kutty, A. I., Mariam, N., Kassim, M. & Hashim, A. 2014. Efficiency of using commercial and natural coagulants in treating carwash wastewater treatment. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(16), 227-234.
- Muhammad, A., Shafeeq, A., Butt, M.A., Rizvi, Z.H., Chughtai, M.A. & Rehman, S. 2008. Decolorization and removal of COD and BOD from raw and biotreated textile dye bath effluent through advanced oxidation processes (AOPs)", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25 (3), 453-459.
- Nadzirah, Z., Nor Haslina, H. & Rafidah, H. 2015. Removal of important parameter from carwash wastewater-A review. *Applied Mechanics and Materials*, 773, 1153-1157.
- Panizza, M. & Cerisola, G. 2010. Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: Electrocoagulation and anodic oxidation integrated process. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 638, 236-240.
- Panizza, M., Delucchi, M. & Cerisola, G. 2005. Electrochemical degradation of anionic surfactants. *Journal of Applied Electrochemistry*, 35(4), 357-361.
- Rostami, A. 2003. Study of surfactant wastewater treatment and its recovery. MSc Thesis, Department of Chemistry, Sharif University of Technology, Tehran. (In Persian)
- Shemer, H. & Linden, K.G. 2007a. Photolysis oxidation and subsequent toxicity of a mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons in natural waters. *Journal of photochemistry and Photobiology A, Chemistry*, 187 (2-3), 95-186.
- Shemer, H. & Linden, K.G. 2007b. Aqueous photodegradation and toxicity of the polycyclic aromatic hydrocarbons fluorene, dibenzofuran, and dibenzothiophene. *Water Research*, 41(4), 853-861.
- Stephenson, R.J. & Duff, S.J.B. 1996. Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent: Removal of carbon, color and turbidity. *Water Research*, 30(4), 781-791.
- Takdastan, A., Azimi, A. A. & Salari, Z. 2011. The use of electrocoagulation process for removal of turbidity, COD, detergent and phosphorus from carwash effluent. *Journal of Water and Wastewater*, 22(3), 19-25. (In Persian)
- Torabi, H., Ehrampoush, M., Ebrahimi, A., Talebi, P. & Mokhtari, M. 2016. Removal of anionic surfactants and COD from carwash wastewater with ozonation process in a packed reactor. *Toloo-e-behdasht (TB)*, 15 (2), 23-33. (In Persian)
- Zaneti, R. N., Etchepare, R. & Rubio, J. 2012. Carwash wastewater treatment and water reuse—a case study. *Water Science and Technology*, 67(1), 82-88.
- Zaneti, R., Etchepare, R. & Rubio, J. 2011. Carwash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 953-959.
- Zulfiqar, A.B., Qaisar, M., Ifikhar, A.R., Amir, H.M., Muhammad, S.K. & Donglei, W. 2011. Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, 465-469.

