

## A comparison between advanced O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV oxidation processes for the treatment of municipal solid waste leachate

Mostafaii GhR<sup>1</sup>, Dehghani R<sup>1</sup>, Hasanzadeh M<sup>1\*</sup>, Mousavi GA<sup>2</sup>

1- Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

2- Trauma Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

Received August 6, 2011; Accepted October 23, 2011

### Abstract:

**Background:** The solid-waste leachate is a type of wastewater with high concentration of mineral and organic compounds. There is little information about the effect of the advanced oxidation processes for the treatment of municipal solid-waste leachate. Thus, this study aimed to evaluate the effectiveness of processing advanced oxidation method as a biological pre-treatment for municipal solid waste.

**Materials and Methods:** This bench-scale experimental study was conducted in a closed batch system on leachate samples of Kahrizak landfill (Tehran). After obtaining the optimal conditions for the O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV processes, the effect of each process on 20 leachate samples was assessed and for each sample, 4 different reaction times were studied for the removal of BOD<sub>5</sub>, COD, TS and color. The results were compared using the mixed-design ANOVA model.

**Results:** The BOD<sub>5</sub>, COD and TS in raw leachate were 2500, 21910 and 29347 mg/l, respectively. The O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV processes removed 87% and 73% of COD, respectively. The BOD<sub>5</sub>/COD ratio in the O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV processes increased from 0.11 to 0.33 and 0.11 to 0.12, respectively. Moreover, the color in the O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV processes decreased from 82 to 67.25% and 81.65%, respectively.

**Conclusion:** The O<sub>3</sub>/UV process can be used as a biological pre-treatment. The optimum pH for this process is 8.5, the optimum ozone concentration is 60.1 g/kg of decreased COD and the best reaction time which increases the BOD<sub>5</sub>/COD ratio more than 0.25 and less expensive than other reaction times, is 10 minutes.

**Keywords:** Solid waste leachate, Advanced oxidation, Pretreatment, BOD<sub>5</sub>/COD ratio

### \*Corresponding Author.

**Email:** hasanzade1986@yahoo.com

**Tel:** 0098 361 555 0111

**Fax:** 0098 361 555 0111

Conflict of Interests: *No*

Feyz, *Journal of Kashan University of Medical Sciences* March, 2012; Vol. 16, No 1, Pages 71-78

Please cite this article as: Mostafaii GhR, Dehghani R, Hasanzadeh M, Mousavi GA. A comparison between advanced O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV oxidation processes for the treatment of municipal solid waste leachate. *Feyz* 2012; 16(1): 71-8.

# مقایسه روش‌های اکسیداسیون پیشرفته $H_2O_2/UV$ و $O_3/UV$ در تصفیه شیرابه زباله

## نمونه

غلامرضا مصطفایی<sup>۱</sup>، روح ا. دهقانی<sup>۲</sup>، مجتبی حسن زاده<sup>۳\*</sup>، سید غلامعباس موسوی<sup>۴</sup>

خلاصه:

**سابقه و هدف:** شیرابه زباله، فاضلابی با غلظت بالا از ترکیبات آلی و معدنی است. اطلاعات کمی در مورد تاثیر اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه شیرابه زباله وجود دارد. برای بررسی امکان استفاده از اکسیداسیون پیشرفته به عنوان پیش تصفیه برای تصفیه بیولوژیکی، این تحقیق انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه تجربی روی شیرابه زباله محل دفن کهریزک تهران در مقیاس آزمایشگاهی در سیستم بسته انجام شد. ابتدا شرایط بهینه برای روش‌های  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$  به دست آمد. سپس، تاثیر هر روش بر روی ۲۰ نمونه و برای هر نمونه ۴ زمان واکنش مختلف در حذف  $BOD_5$ ،  $COD$ ،  $TS$  و رنگ بررسی شد و نتایج با روش Mixed design ANOVA model مقایسه شد. نتایج:  $BOD_5$ ،  $COD$  و  $TS$  در شیرابه خام به ترتیب ۲۵۰۰، ۲۱۹۱۰ و ۲۹۳۴۷ میلی‌گرم در لیتر بود. روش‌های  $O_3/UV$  و  $H_2O_2/UV$  در زمان ۶۰ دقیقه به ترتیب ۸۷ و ۷۳ درصد  $COD$  را حذف کردند. نسبت  $BOD_5/COD$  در روش  $O_3/UV$  از ۰/۱۱ به ۰/۳۳ و در روش  $H_2O_2/UV$  از ۰/۱۱ به ۰/۱۲ افزایش یافت. رنگ نیز در روش  $O_3/UV$  از شدت ۸۲ به ۶۷/۲۵ درصد و در روش  $H_2O_2/UV$  به ۸۱/۶۵ درصد کاهش یافت.

**نتیجه‌گیری:** روش  $O_3/UV$  می‌تواند به عنوان پیش تصفیه برای تصفیه بیولوژیکی شیرابه استفاده شود. pH بهینه برای این روش ۸/۵ و بهترین غلظت ازن ۶۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم کاهش  $COD$  و بهترین زمان واکنش که هم نسبت  $BOD_5/COD$  را به بالاتر از ۰/۲۵ افزایش می‌دهد و هم هزینه کم‌تری نسبت به سایر زمان‌ها دارد، ۱۰ دقیقه می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** شیرابه زباله، اکسیداسیون پیشرفته، پیش تصفیه، نسبت  $BOD_5/COD$

دو ماه‌نامه علمی-پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۱، صفحات ۷۸-۷۱

## مقدمه

شیرابه زباله نوعی فاضلاب با غلظت بالایی از ترکیبات آلی و معدنی است و گاهی اوقات فاضلابی با سطح بالایی از آلاینده‌های سمی تعریف شده است [۲،۱]. دفن پسماندها در مکان‌های دفن زباله شهری مرسوم‌ترین روش دفع نهایی در کشورهای مختلف دنیا است. پس از دفن، تغییرات و واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی بر روی پسماند صورت می‌گیرد. این فعل و انفعالات و تجزیه‌ی قسمت آلی پسماند و نیز نفوذ رطوبت ناشی از بارندگی به لایه‌های دفن، مایعی بسیار آلوده به نام شیرابه تولید می‌کند [۳].

غلظت  $COD$  (Chemical Oxygen Demand) شیرابه‌های تازه ۳۶ برابر بیش‌تر از فاضلاب خام خانگی است. شیرابه تثبیت شده ممکن است از این نظر با فاضلاب خانگی برابری کند، ولی حاوی ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه بیولوژیکی می‌باشد [۲،۱]. شیرابه تولید شده در مرحله اسیدی تجزیه زباله حاوی مقدار زیادی از اسیدهای چرب فرار است. این مواد که از وزن ملکولی کوچکی برخوردارند، بخش اعظم مواد آلی موجود در شیرابه را تشکیل داده و از لحاظ بیولوژیکی نیز به آسانی تجزیه پذیر هستند. نسبت اکسیژن خواهی بیوشیمیایی به اکسیژن خواهی شیمیایی شیرابه تازه در مرحله اسیدی ۰/۴ تا ۰/۵ است و از آنجا که  $BOD$  (Biochemical Oxygen Demand) بسیار سریع‌تر از  $COD$  کاهش می‌یابد، این نسبت در شیرابه تثبیت شده کم‌تر از ۰/۱ می‌باشد [۳]. شیرابه می‌تواند مشکلات زیادی مانند تجمع فلزات سنگین در خاک، اثر بر آب‌های زیرزمینی و اثرات پاتوژنی به وجود آورد [۴]. هم‌چنین، تحقیقات نشان داده است که اگرچه گاهی اورانیوم نیز در شیرابه زباله وجود دارد، ولی مقدار آن نگران‌کننده نیست [۵]. تاکنون تحقیقات متعددی به منظور تصفیه شیرابه صورت گرفته است. این روش‌ها شامل روش‌های فیزیکی-شیمیایی، تبخیر پیشرفته، فناوری غشایی، راکتورهای

<sup>۱</sup> مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۴</sup> مربی، مرکز تحقیقات تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

## \*نشانی نویسنده مسئول:

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب راوندی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱ | دورنویس: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: hasanzade1986@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱۵ | تاریخ پذیرش نهایی: ۹۰/۸/۱

سوالات این تحقیق انجام گردید تا از نتایج آن برای مدیریت بهتر در شیرابه‌ی تولیدی از زباله‌های شهری استفاده گردد.

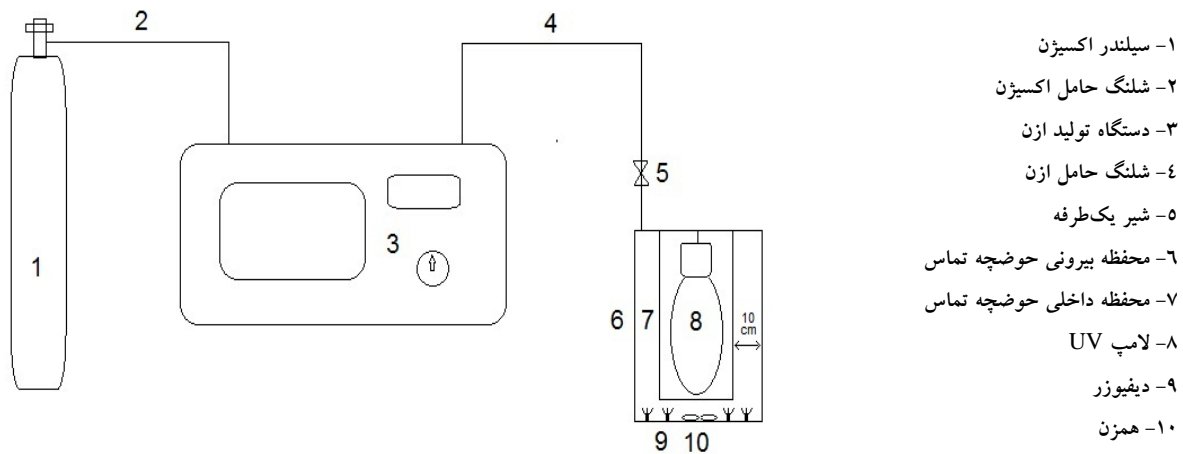
### مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی بر روی شیرابه زباله محل دفن کهریزک تهران در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم بسته انجام شد. نمونه‌های گرفته شده از محل دفن در دمای ۴ درجه سانتی-گراد به آزمایشگاه منتقل شده و مورد آزمایش قرار گرفت. رآکتور تصفیه به صورت مکعبی با سطح مقطع  $20 \times 20$  سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که مکعب دیگری با سطح مقطع  $10 \times 10$  سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در داخل آن جای گرفته بود، ساخته شد. درون محفظه داخلی لامپ UV قرار داشت و در محفظه خارجی نمونه شیرابه به حجم ۳ لیتر اضافه می‌شد. نازل‌هایی برای ورود گاز ازن در کف رآکتور تعبیه شده بود و برای انجام اختلاط کامل از یک هم‌زن در کف رآکتور استفاده می‌شد. در روش  $H_2O_2/UV$  آب اکسیژنه به صورت یک‌باره در ابتدای واکنش اضافه می‌شد. برای تولید ازن از دستگاه ازن ساز ساخت شرکت ARDA فرانسه با ظرفیت ۱۰/۵ گرم ازن در ساعت استفاده شد. اشعه UV نیز توسط لامپ UV با قدرت ۱۲۵ وات ساخت شرکت NARVA آلمان مدل NEF در طول موج ۲۵۴ نانومتر تابیده شد. شمای ساده‌ای از رآکتور در شکل شماره ۱ ارائه شده است. روش کار به این صورت بود که ابتدا pH بهینه برای تصفیه در دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$  به دست آمد. یعنی در غلظت ثابت آب اکسیژنه در روش  $H_2O_2/UV$  و دوز ثابت ازن در روش  $O_3/UV$  با تغییر دادن مکرر pH و اندازه‌گیری پارامترهای  $BOD_5$ ، COD، TS و رنگ بهترین pH برای تصفیه در هر روش تعیین شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر به شماره مدل pH262 استفاده شد. سپس در pH بهینه با تغییر دادن غلظت آب اکسیژنه در روش  $H_2O_2/UV$  غلظت بهینه آب اکسیژنه و با تغییر دادن دوز ازن در روش  $O_3/UV$  دوز بهینه ازن با توجه به نتایج آزمایشات فوق به دست آمد. برای اندازه‌گیری رنگ از دستگاه اسپکتروفوتومتر APEL با شماره مدل PD-UV ۳۰۳ استفاده شد. اندازه‌گیری رنگ طبق دستور استاندارد  $2120^\circ C$  کتاب استاندارد متود و به روش خواندن عبور نور در ۳۰ طول موج انجام شد. تصفیه شیرابه در شرایط بهینه با ۲۰ بار تکرار در چهار زمان تصفیه صفر، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه انجام شد که جمعاً برای هر دو روش تعداد ۱۴۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایشات  $BOD_5$ ، COD، TS (Total Solids) و رنگ نمونه فیلتر شده طبق روش‌های ارائه شده در

بیولوژیک مانند (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket; UASB)، فرآیند لجن فعال، رسوب دهی هیدروکسیدی با آهک و یا رسوب دهی شیمیایی با آلوم و یا کلرور فریک می‌باشد [۶،۳]. روش UASB در شهر استانبول در ترکیه برای تصفیه شیرابه استفاده شده است [۷]. در کره نیز تحقیقاتی مبنی بر تولید اتانول به‌عنوان سوخت پاک و جایگزین سوخت‌های فسیلی از شیرابه زباله به‌عمل آمده است [۸]. فرآیند اکسیداسیون پیشرفته عبارت است از اکسیداسیونی که برای تصفیه موثر فاضلاب به اندازه کافی رادیکال هیدروکسیل تولید کند [۹]. این فرایند برای تصفیه فاضلاب‌های دارای ترکیبات آلی مقاوم و به‌صورت موفق برای پیش تصفیه به‌منظور کاهش غلظت ترکیبات آلی سمی که مزاحم فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌شوند، استفاده می‌شود [۱۰]. این فرآیند باعث تولید رادیکال‌های آزاد OH می‌شود که می‌تواند آلاننده‌های آلی و غیر آلی را حذف کند [۱۱-۱۴]. ازن و رادیکال‌های هیدروکسیل در ردیف قوی‌ترین عوامل اکسید کننده قرار دارند. ازن می‌تواند به‌طور مستقیم با یک ترکیب شیمیایی واکنش دهد یا رادیکال هیدروکسیلی تولید نماید که بعداً با آن ماده واکنش دهد [۱۵]. رادیکال هیدروکسیل دارای پتانسیل اکسیداسیونی برابر ۲/۷۸ ولت است و از اکسید کننده‌های متداول بسیار سریع‌تر عمل می‌کند [۱۰]. انرژی حاصل از اشعه UV تولید رادیکال‌های هیدروکسیل توسط ازن را تشدید می‌کند [۱۶]. مطالعه Tuhkanen نشان داد که اکسیداسیون پیشرفته به‌روش ازن زنی می‌تواند ۵۰ درصد PCDD (Polychlorinated Dibenzo-dioxins) و ۴۰ درصد PCBs (Polychlorinated Biphenyls) را حذف کند [۱۷]. در مطالعه‌ای که توسط Kos و Perkowski بر روی فاضلاب کارخانه رنگ سازی انجام شده است، بر حذف کامل رنگ با اکسیداسیون پیشرفته ازن تاکید گردیده است [۱۸]. هم-چنین، Malhotra و همکاران نشان دادند که سیانید با اکسیداسیون توسط ازن، آب اکسیژنه و UV به‌طور کامل تجزیه می‌شود [۱۹]. Kidak و Ince نیز نشان دادند که اکسیداسیون توسط ازن و UV در pH قلیایی می‌تواند فنول را با راندمان ۱۰۰ درصد حذف کند [۲۰]. شکوهی و همکاران نتایج مشابهی را در مورد فنول به‌دست آوردند [۱۵]. اطلاعات کمی در مورد تاثیر روش اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه شیرابه زباله وجود دارد [۲۱]. به‌نظر می‌رسد که حتی اگر این روش نتواند شیرابه را تا حد قابل قبولی تصفیه کند، ولی می‌تواند ترکیبات پیچیده‌ای را که در شیرابه وجود دارد به ترکیبات قابل تصفیه بیولوژیکی تبدیل نماید. در این صورت می‌توان از این روش به‌عنوان پیش تصفیه‌ای برای تصفیه-های بیولوژیکی شیرابه استفاده نمود. برای پاسخ‌گویی به این

جدول شماره ۱ برگرفته از کتاب استاندارد متود بر روی شیرابه تصفیه شده به دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$  انجام گرفت [۲۲]. سپس نتایج به دست آمده با روش Mixed design ANOVA

جدول شماره ۱ برگرفته از کتاب استاندارد متود بر روی شیرابه تصفیه شده به دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$  انجام گرفت [۲۲]. سپس نتایج به دست آمده با روش Mixed design ANOVA



شکل شماره ۱- شمای ساده‌ای از رآکتور مورد استفاده.

در این جدول روش  $O_3/UV$ ، COD را در زمان ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب ۸۱، ۸۵ و ۸۷ درصد حذف کرده است. این در حالی است که راندمان حذف COD در روش  $H_2O_2/UV$  در این زمان‌های واکنش به ترتیب ۴۴، ۵۸ و ۷۳ درصد بوده است. روند تغییرات حذف COD در این دو روش در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود. نسبت  $BOD_5/COD$  در تصفیه پذیری بیولوژیکی پساب نقش کلیدی دارد. همان‌طور که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود این نسبت در روش  $O_3/UV$  از ۰/۱۱ به ۰/۳۳ رسیده است. حال آنکه در روش  $H_2O_2/UV$  در بالاترین زمان واکنش به ۰/۱۲ رسیده است. در حذف رنگ نیز بین این دو روش تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ( $P=0/001$ ) که نشان‌دهنده این است که روش  $H_2O_2/UV$  در حذف رنگ نمی‌تواند موثر باشد. ولی روش  $O_3/UV$  رنگ را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. شاخص‌های آماری عوامل آلودگی شیرابه زباله در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود.

#### بحث

با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق مشاهده می‌شود که روش  $O_3/UV$  نسبت به روش  $H_2O_2/UV$  موثرتر عمل کرده است. این برتری در حذف COD، حذف  $BOD_5$ ، بالا بردن نسبت  $BOD_5/COD$  و حذف رنگ دیده می‌شود. البته در این پژوهش میزان حذف TS نیز مورد تحلیل قرار گرفته است. اگرچه هر دو روش در حذف این پارامتر موثر بوده‌اند،

جدول شماره ۱- روش اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه بر اساس

روش‌های مندرج در کتاب استاندارد متود

پارامتر	روش اندازه‌گیری
COD	5220 C
BOD5	5210 B
TS	2540 B
رنگ	2120 C

#### نتایج

این تحقیق با ۲۰ بار تکرار در هر روش در چهار زمان واکنش صفر، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه انجام شد که تعداد کل نمونه‌ها ۱۴۰ عدد بود. pH شیرابه خام برابر ۷/۶۵ و  $BOD_5$ ، COD و TS آن به ترتیب ۲۵۰۰، ۲۱۹۱۰ و ۲۹۳۴۷ میلی‌گرم در لیتر بود. رنگ نمونه فیلتر شده نیز زرد با شدت ۸۲ درصد بود. در روش  $H_2O_2/UV$ ، pH معادل ۶/۵ و غلظت بهینه  $H_2O_2$  در سطح ۱۰ گرم در لیتر و pH برای روش  $O_3/UV$  برابر ۸/۵ و مقدار بهینه ازن مورد استفاده نیز برابر ۳/۵ گرم ازن در ساعت به ازای هر لیتر شیرابه در نظر گرفته شد. این مقدار در زمان‌های تصفیه ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب برابر ۶۰/۱، ۱۳۸/۵ و ۲۱۹/۳ گرم ازن به ازای هر کیلوگرم COD کاهش یافته می‌باشد. این pHها و غلظت‌ها بر اساس مطالعات مقدماتی بر روی نمونه‌ها و به منظور بهینه‌سازی اعمال شد. نتایج به دست آمده از تصفیه شیرابه با این دو روش در جدول شماره ۲ خلاصه شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده

مقایسه روش‌های اکسیداسیون پیشرفته  $H_2O_2/UV$  و ...

واکنش ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه COD را به ترتیب ۸۱، ۸۵ و ۸۷ درصد حذف کرده است، ولی روش  $H_2O_2/UV$  در این زمان‌ها COD را به ترتیب ۴۴، ۵۸ و ۷۳ درصد حذف کرده است.

ولی تفاوت معنی‌داری بین دو روش مشاهده نشده است ( $P=0/276$ ). در تصفیه شیرابه مهم‌ترین عاملی که باید به‌طور موثر حذف گردد COD می‌باشد. روش  $O_3/UV$  در زمان‌های

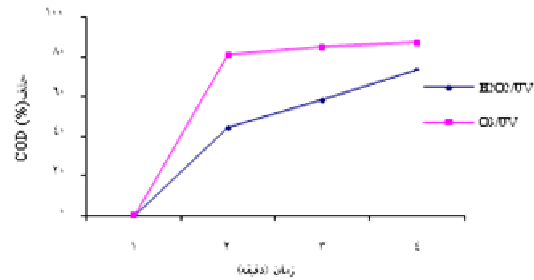
جدول شماره ۲- نتایج حاصل از تصفیه شیرابه با دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$

روش تصفیه زمان (دقیقه)	$H_2O_2/UV$	$O_3/UV$	پارامتر مورد مطالعه
(۰)	۲۵۰۰±۱۵۹	۲۵۰۰±۱۵۹	BOD <sub>5</sub> (mg/l)
۱۰	۹۹۵±۱۴۷	۱۳۳۵±۱۶۳	
۳۰	۸۳۵±۱۴۲	۱۰۸۰±۱۵۱	
۶۰	۷۲۰±۱۳۲	۹۲۰±۲۰۴	
(۰)	۲۱۹۱۰±۳۱۴	۲۱۹۱۰±۳۱۴	COD (mg/l)
۱۰	۱۲۲۶۰±۹۹۳	۴۲۳۰±۶۶۶	
۳۰	۹۲۸۰±۴۱۲	۳۳۲۰±۳۹۷	
۶۰	۵۹۵۰±۴۳۵	۲۷۶۰±۳۴۱	
(۰)	۲۹۳۴۷±۳۴۰	۲۹۳۴۷±۳۴۰	TS (mg/l)
۱۰	۲۱۰۷۵±۴۶۶	۲۱۲۹۶±۶۰۵	
۳۰	۲۱۱۱۳±۴۳۵	۲۱۲۰۷±۷۲۶	
۶۰	۲۰۹۳۰±۴۴۷	۲۱۰۳۶±۶۸۳	
(۰)	۸۲±۰	۸۲±۰	طول موج غالب (۵۸۰-۵۷۵ نانومتر) شدت رنگ (%)
۱۰	۸۱/۶۵±۰/۷۴	۸۱/۹±۰/۳۱	
۳۰	۸۱/۷±۰/۶۶	۷۵/۵۵±۶/۳	
۶۰	۸۱/۶۵±۰/۶۷	۶۷/۲۵±۹/۰۵	

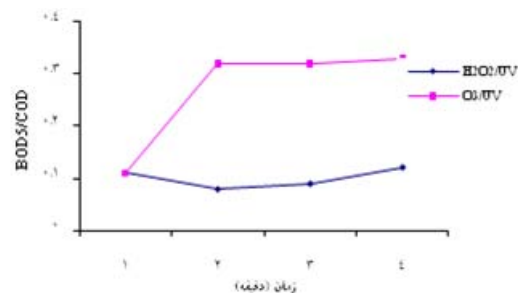
جدول شماره ۳- شاخص‌های آماری عوامل آلودگی شیرابه زیاله برحسب مدل‌های آنالیز واریانس و اندازه‌گیری‌های تکراری

شاخص	روش (Anova)	زمان (Greenhouse-Geisser)	روش و زمان (Greenhouse-Geisser)	پارامتر مورد مطالعه
dF	۱	۲/۱۴	۲/۱۴	BOD <sub>5</sub>
F	۳۸/۱۷	۱۱۹۲/۸۸	۱۰/۲۵	
P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
dF	۱	۱/۸۹	۱/۸۹	COD
F	۱۵۸۹/۷۲	۱۱۴۳۸/۷۷	۵۴۶/۷۹	
P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
dF	۱	۲/۳۷	۲/۳۷	TS
F	۱/۲۲	۲۷۶۸/۵۲	۰/۳۳	
P	۰/۲۸	<۰/۰۰۱	۰/۸	
dF	۱	۱/۱۸	۱/۱۸	رنگ
F	۳۶/۶۹	۴۴/۵۵	۴۲/۴	
P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	

بسیار موثر است. اگر نسبت  $BOD_5/COD$  در شیرابه از  $0/25$  پیش‌تر باشد تصفیه بیولوژیکی بر روی آن می‌تواند کارآمد باشد [22]. از این منظر همان‌طور که در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است روش  $O_3/UV$  در پیش تصفیه شیرابه در کل بهتر از روش  $H_2O_2/UV$  است. زیرا مشاهده شده است که این روش نسبت  $BOD_5/COD$  را از  $0/11$  به  $0/33$  رسانده است. با این نسبت شیرابه می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیز مورد تصفیه بیولوژیکی قرار بگیرد. اما روش  $H_2O_2/UV$  این نسبت را تنها تا  $0/12$  ارتقا داده است که نشان می‌دهد این روش به‌تنهایی نمی‌تواند به‌عنوان پیش تصفیه-ای برای تصفیه بیولوژیکی در نظر گرفته شود. همان‌طور که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌کنید نسبت  $BOD_5/COD$  در روش  $H_2O_2/UV$  در ابتدا کاهش یافته است. در این روش آب اکسیژنه در ابتدای واکنش و به‌صورت یک‌باره به شیرابه افزوده شده است. به‌دلیل اینکه  $BOD_5$  از  $COD$  بسیار سریع‌تر تجزیه می‌شود احتمالاً افت ناگهانی  $BOD_5$  قبل از تجزیه  $COD$  باعث کاهش این نسبت شده است. با آزمایش رنگ به روش اسپکتروفوتومتری بر روی خروجی هر یک از روش‌های تصفیه نیز روش  $O_3/UV$  برتری خود را نسبت به روش  $H_2O_2/UV$  اثبات کرد. رنگ از لحاظ زیبایی شناختی در تصفیه بسیار اهمیت دارد. با این آزمایش-ها مشخص شد که روش  $O_3/UV$  با زمان واکنش یک‌ساعت رنگ شیرابه را از زرد با شدت ۸۲ درصد به حدود ۶۷ درصد تقلیل داده است، ولی روش  $H_2O_2/UV$  تاثیر چندانی روی کاهش رنگ از خود نشان نداد. Ince توصیه نموده است که تصفیه  $O_3/UV$  نباید در شرایط اسیدی انجام شود؛ هم‌چنین، او بهترین pH را در تصفیه  $H_2O_2/UV$  بین ۶ تا ۷ بیان کرده است [25]. Yue و Legrini بیان کردند که به دو دلیل  $O_3/UV$  خیلی فعال‌تر از  $H_2O_2/UV$  است. اول پتانسیل جذب نور بالاتر ازن در باند UV در طول موج ۲۵۴ نانومتر و دوم تنوع زنجیره واکنش‌های تولیدکننده رادیکال هیدروکسیل و محصولات میانی [26]. هم‌چنین، Ince در آلمان تصفیه شیرابه را با استفاده از فرایند  $H_2O_2/UV$  مورد بررسی قرار داد. این محقق دریافت که با غلظت اولیه  $COD$  معادل ۱۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر ۵۹ درصد از  $COD$  حذف گردید [25]. حمیدی و همکاران نیز در تحقیقی عنوان کردند که پراکسید هیدروژن اکسیدکننده ضعیف‌تری نسبت به ازن است [27]. یافته‌های ما در این پژوهش با یافته‌های این محققین هم‌خوانی دارد. ولی Steensen که فرایند  $H_2O_2/UV$  را برای تصفیه شیرابه در نقطه-ای دیگر در آلمان به کار برد، با غلظت اولیه  $COD$  معادل ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن را ۹۰ درصد حذف کرد. این اختلاف ممکن است به خاطر این واقعیت باشد که Steensen تعداد لامپ UV



نمودار شماره ۱- درصد حذف COD نسبت به زمان در دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$



نمودار شماره ۲- تغییرات  $BOD_5/COD$  نسبت به زمان در دو روش  $H_2O_2/UV$  و  $O_3/UV$

این در حالی است که روش  $H_2O_2/UV$  در حذف  $BOD_5$  موثرتر بوده است. این روش در زمان‌های واکنش ذکر شده به-ترتیب  $BOD_5$  را ۶۰، ۶۷ و ۷۱ درصد حذف کرده است. ولی روش  $O_3/UV$  در حذف این پارامتر به ترتیب ۴۷، ۵۷ و ۶۳ درصد موثر بوده است. دلیل اینکه روش  $O_3/UV$  در pH ۸/۵ بهتر عمل می‌کند این است که در محدوده ۸ تا ۹ در حضور یون‌های OH ازن سریعاً به رادیکال‌های OH تجزیه می‌گردد که دارای پتانسیل اکسیداسیون ۲/۷۸ است که از پتانسیل اکسیداسیون ازن (۲/۰۸) پیش‌تر است [24, 23]. ولی آب اکسیژنه در شرایط اسیدی به دو رادیکال OH تجزیه می‌شود. دلیل اینکه در روش  $H_2O_2/UV$  بهترین عملکرد در pH ۶/۵ مشاهده شد، احتمالاً این است که در pH های پایین‌تر تولید کف مانع نفوذ نور UV به درون شیرابه شده است. در فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته پرتوتابی نه تنها ملکول‌های ازن و آب اکسیژنه را با جذب نور UV در طول موج ۲۵۴ نانومتر فعال می‌نماید بلکه سایر ترکیبات آلی را برای فرآیند اکسیداسیون مستعد می‌نماید [25]. به‌دلیل این که هدف از تصفیه شیرابه زباله به روش اکسیداسیون پیشرفته در این پژوهش آماده-سازی آن برای تصفیه بیولوژیکی می‌باشد، مقایسه حذف  $COD$  یا  $BOD_5$  به‌تنهایی نمی‌تواند به‌طور قطعی گویای برتری یک روش بر دیگری باشد. در این خصوص نسبت  $BOD_5/COD$  می‌تواند کمک کننده باشد. این نسبت در تصفیه پذیری بیولوژیکی شیرابه

با توجه به هزینه‌های بالای این واکنش [۳۱،۲۵] بهترین زمان واکنش برای این روش ۱۰ دقیقه می‌باشد. زیرا در این زمان COD به میزان ۸۱ درصد حذف می‌شود و نسبت  $BOD_5/COD$  به ۰/۳۲ می‌رسد. با بالا بردن زمان واکنش تا ۶۰ دقیقه میزان حذف COD به ۸۷ درصد رسیده و نسبت  $BOD_5/COD$  از ۰/۳۲ تنها به ۰/۳۳ ارتقاء می‌یابد که این افزایش زمان واکنش به صرفه اقتصادی نخواهد بود.

#### نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش  $O_3/UV$  می‌تواند تجزیه‌پذیری بیولوژیکی شیرابه را افزایش دهد و از این رو می‌تواند به‌عنوان پیش تصفیه‌ای برای تصفیه بیولوژیکی شیرابه استفاده شود. بهترین شرایط برای این روش pH ۸/۵ و دوز ازن به میزان ۳/۵ گرم به ازای هر لیتر شیرابه در ساعت می‌باشد و بهترین زمان واکنش برای این روش از لحاظ راندمان و هزینه ۱۰ دقیقه می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله تشکر و قدردانی خود از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان به‌واسطه تامین اعتبارات لازم جهت اجرای طرح تحقیقاتی فوق را اعلام می‌داریم. هم چنین این پژوهش بخشی از یافته‌های پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد می‌باشد.

#### References:

- [1] Farrokhi M, Kouti M, Mousavi GR, Takdastan A. The study on biodegradability enhancement of landfill leachate by Fenton oxidation. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2009; 2(2): 114-23. [in Persian]
- [2] Kouti M, Farrokhi M, Mousavi GR, Takdastan A. Study improvement of  $BOD_5/COD$  rate mature leachate by oxidation fenton. *12<sup>th</sup> Environmental health conference*, 2009, Tehran, Iran.
- [3] Mohtashami SR, Karimie A, Bidokhti T. Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Landfill Leachate Treatment. *Water and Wastewater* 2008; 66: 10-8. [in Persian]
- [4] Ogundiran OO, Afolabi TA. Assessment of the phisicochemical parameters and heavy metals toxicity of leachates from municipal solid waste open dumpsite. *Int J Environ Sci Technol* 2008; 5(2): 243-50.
- [5] Leman H, Behera SK, Park HS. Optimization of operational parameters for ethanol production from

بیشتری برای فعال کردن ملکول‌های مواد آلی به کار برد. بنابراین آنها را مستعدتر به فرایند اکسیداسیون نمود. هم‌چنین Steensen در مقایسه با ما انرژی پیش‌تری به‌کار برده بود. مصرف بیش‌تر انرژی برای تابش UV تجزیه ترکیبات مقاوم به تجزیه موجود در شیرابه را بهبود می‌بخشد [۲۸]. روش  $O_3/UV$  در مقایسه با  $H_2O_2/UV$  محدودیت‌هایی دارد. اولاً ازن یک گاز ناپایدار است که باید در محل تولید و فوراً مصرف گردد. ثانیاً باید یک تماس دهنده ازن-آب برای انتقال ازن گازی به فاز مایع وجود داشته باشد. ثالثاً این فرآیند نیاز به مهارت‌های تکنیکی دارد تا بتواند ازن را تا حد ممکن به فاز مایع وارد نماید و چون UV مهم‌ترین نقش را در فرایند دارد، باید ذرات معلق موجود در شیرابه در حداقل باشد. هم‌چنین، تولید کف در اثر ازن زنی شیرابه باعث جلوگیری از نفوذ UV به درون شیرابه شده و بنابراین بازده حذف COD کاهش می‌یابد. با وجود این محدودیت‌ها بزرگ‌ترین برتری استفاده از فرایند  $O_3/UV$  این است که بعد از اکسیداسیون در پساب تولیدی هیچ‌گونه تری هالومتانی تولید نمی‌شود و برعکس فرآیند  $H_2O_2/UV$  هیچ‌گونه دفع لجنی نیاز ندارد [۲۹]. روش  $H_2O_2/UV$  نیز دارای یک محدودیت مهم می‌باشد. غلظت بالای  $H_2O_2$  به‌عنوان مصرف کننده رادیکال عمل نموده و سرعت واکنش فرآیند اکسیداسیون را کاهش می‌دهد. از طرفی غلظت پایین  $H_2O_2$  نیز مقدار ناکافی رادیکال OH در شیرابه تولید می‌کند که سرعت پایین‌تر اکسیداسیون را سبب می‌شود [۳۰]. در روش  $O_3/UV$  در زمان واکنش ۶۰ دقیقه نسبت به زمان واکنش ۱۰ دقیقه پیشرفت زیادی در تصفیه شیرابه دیده نمی‌شود. بنابراین

- korean food waste leachate. *Environ Sci Technol* 2009; 7(1): 157-64.
- [6] Sahandjorfi S, Jaafarzadeh N, Rezaeekalantary R, Hashempour Y. Leachate Treatment by Batch Decant Activated Sludge Process and Powdered Activated Carbon Addition. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2009; 2(1): 16-27. [in Persian]
- [7] Torabian A, Hassani AH, Moshirvaziri S. Physicochemical and biological treatability studies of urban solid waste leachate. *Int J Environ Sci Technol* 2004; 1(2): 103-7.
- [8] Oygard JK, Gjengedal E. Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *Environ Res* 2009; 3(1): 61-8.
- [9] Morais JL, Zamora PP. Use of Advanced Oxidation Processes to Improve the Biodegradability of Mature Landfill Leachates. *J Hazard Mater* 2005; 123: 181-6.
- [10] Stasinakis AS. Use of selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for wastewater

- treatment-a mini review. *Global Nest J* 2008; 10(3): 376-85.
- [11] Al-kdasi A, Idris A, Saed K, Guan CT. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes-a review. *Int J Global Nest* 2004; 6(3): 222-30.
- [12] Khorasani H, Bina B, Amin MM. Removal of humic substances from water by advanced oxidation process using UV/TiO<sub>2</sub> photo catalytic technology. *Water and Wastewater* 2009; 68: 25-32. [in Persian]
- [13] Mohajerani M, Mehrvar M, Ein-mozaffari F. An overview of the integration of advanced oxidation technologies and other processes for water and wastewater treatment. *Int J Eng* 2009; 3(2): 120-46.
- [14] Movahedyan H, SeidMohammadi AM, Assadi A. Comparison of different advanced oxidation processes degrading P-Chlorophenol in aqueous solution. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2009; 6(3): 153-60.
- [15] Shokoohi R, Ebrahimzadeh L, Rahmani AR, Ebrahimi SJ, Samarghandi MR. Comparison of the Advanced Oxidation Processes in Phenol Degradation in Laboratory Scale. *Water and Wastewater* 2009; 4: 30-5. [in Persian]
- [16] Wu JJ, Yang JS, Muruganandham M, Wu CC. The oxidation study of 2-propanol using ozone-based advanced oxidation processes. *Sep Purif Technol* 2008; 62(1): 39-46.
- [17] Tuhkanen T. Advanced oxidation of PCDD/FS, PCBS and PAHS in contaminated soil/ash matrix. *Geological Survey of Finland* 2001; 32: 129-33.
- [18] Perkowski J, Kos L. Decolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes. *Fibres Text East Eur* 2003; 11(3): 67-71.
- [19] Malhotra S, Pandit M, Tyagi DK. Degradation of ferrohexacyanide by advanced oxidation processes. *Indian J Chem Technol* 2005; 12: 19-24.
- [20] Kidak R, Ince NH. Catalysis of advanced oxidation reactions by ultrasound: A case study with phenol. *J Hazard Mater* 146(3): 630-5.
- [21] Jamali HA. The survey of increasable of biological treatment of Tehran solid waste leachate by ozone [Dissertation]. Tehran. Tehran University of Medical Science. 2009.
- [22] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21<sup>st</sup> ed. Washington DC, USA: American Public Health Association; 2005.
- [23] Baig S, Liechti PA. Ozone treatment for biorefractory COD removal. *Water Sci Technol* 2001; 43(2): 197-204.
- [24] Rema T, Parivallal B, Ramanujam RA. Studies on degradation of Syntan used in leather tanning process using ozone. *Int J Environ Sci Develop* 2010; 1(3): 264-7.
- [25] Ince NH. Light-enhanced chemical oxidation for tertiary treatment of municipal landfill leachate. *Water Environ Res* 1998; 70(6): 1161-9.
- [26] Yue PL, Legrini O. Photochemical degradation of organics in water. *Water Qual Res J Can* 1992; 27: 123-37.
- [27] Hamidi AA, Adlan MN, Zahari MSM, Alias S. Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>3</sub>) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limeston. *Waste Manage Res* 2004; 22: 371-5.
- [28] Steensen M. Chemical oxidation for the treatment of leachate process comparison and results from full-scale plants. *Water Sci Technol* 1997; 35(4): 249-56.
- [29] Benitez FJ, Heredia JB, Acero JL, Pinilla ML. Simultaneous photodegradation and ozonation plus UV radiation of phenolic acids-major pollutants in agro-industrial wastewaters. *J Chem Technol Biotechnol* 1999; 70(3): 253-60.
- [30] Benitez FJ, Beltran-Heredia J, Acero JL, Rubio FJ. Oxidation of several chlorophenolic derivatives by UV irradiation and hydroxyl radicals. *J Chem Technol Biotechnol* 2001; 76(3): 312-20.
- [31] Tsagarakis KP, Mara DD, Angelakis AN. Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water Air Soil Pollut* 2003; 142(1-4): 187-210.