

## اثر حلال و پراکسید هیدروژن بر فوتولیز روغن های PCB به منظور کاهش مواجهه شغلی

حسن اصیلیان<sup>1\*</sup>؛ رضا غلامنیا<sup>1</sup>؛ عباس رضایی<sup>1</sup>؛ احمد جنیدی جعفری<sup>2</sup>؛ علی خوانین<sup>1</sup>؛ المیرا دارابی<sup>3</sup>

### چکیده

زمینه: به دلیل نگرانی های ناشی از اثرات ناخوشایند PCB بر محیط زیست، تولید، استفاده و واردات آن در برخی کشورها ممنوع شده است. این ترکیبات بسته به راه ورود، سن، جنس، غلظت و سطح مواجهه، اثرات سوء بهداشتی به جا می گذارند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی نقش حلال و پراکسید هیدروژن در تجزیه روغن های آسکارل با استفاده از فرایند فوتولیز به منظور کاهش مواجهه کارگران است.

روش ها: راکتور فوتوشیمیایی بشر 500 میلی لیتری با لامپ کم فشار اشعه UV-C با طول موج 254 نانومتر بود. لامپ در داخل بشر به شکل غوطه ور قرار گرفت. pH نمونه ها و دما به طور مداوم پایش شد. آزمایش ها به صورت سه بار تکرار گردید. روغن های آسکارل با استفاده از دستگاه GC/ECD مورد تجزیه قرار گرفت. از نرم افزار SPSS 13.0 برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده گردید.

یافته ها: میانگین حذف برحسب عدم استفاده و بکارگیری از H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> به میزان 10 و 20 درصد از حجم کل محلول به ترتیب 41، 75 و 94 درصد بود. میانگین حذف برحسب نسبت حلال مورد استفاده به روغن آسکارل، به میزان 1:1، 1:2 و 1:3 به ترتیب 61، 75 و 94 درصد بود.

نتیجه گیری: با افزایش مقدار ایزواکتان، میزان حلالیت و اهدای الکترون افزایش یافت، لذا موجب افزایش بیشتر کلرزدایی مولکول PCB گردید. میزان تجزیه PCB با افزایش غلظت H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> افزایش یافت. فوتولیز در حضور حلال و اکسیدکننده قوی روی ترکیبات PCB منجر به کاهش میزان PCB در روغن می شود.

کلیدواژه ها: روغن آسکارل، ترکیبات PCB، فوتولیز، حلال، تجزیه

«دریافت: 1388/6/23 پذیرش: 1388/11/27»

1. گروه بهداشت حرفه ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

2. گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران

3. آزمایشگاه سازمان محیط زیست کشور، تهران

\*عهده دار مکاتبات: تهران، پل گیشا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه بهداشت حرفه ای و محیط، تلفن: 88013030 - 021

Email: asilia\_h@modares.ac.ir

فاکس: 88013030 - 021

### مقدمه

می شوند که مخلوط ایزومرهای چندگانه با درجه متفاوت از کلر هستند. سال های 1970-1930، بیش از 600 میلیون کیلوگرم PCB ها به تنهایی در امریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفت که 15/5 درصد از آنها از طریق استفاده، دفع و رها شدن اتفاقی وارد محیط شدند (3). از آنجایی که ترکیبات PCB مقاومت بالایی نسبت به تجزیه دارند، برای سال های زیادی در خاک و آب باقی می ماند و به واسطه این که ترکیبات لیپوفیلک یا چربی دوست

روغن های PCB (Polychlorinated Biphenyl) جزو یکی از دوازده ترکیب گروه POPs (Persistent Organic Pollutant) یا ترکیبات آلی پایدار محسوب می شود. ترکیبات آلی پایدار به واسطه مشخصه های خاص نظیر سمیت، پایداری، تجمع زیستی و پراکندگی آنها دور از منبع تولیدشان از دیگر ترکیبات شیمیایی متمایز هستند (1) و (2). این ترکیبات از کلرینه نمودن بی فنیل ها تولید

دارند و در نهایت این که مشکوک به سرطانزایی هستند (8-1 و 14). این ترکیبات از طریق پوستی، استنشاقی و گوارشی، جذب انسان و حیوان می‌شوند. وقتی که وارد بدن شدند از طریق جریان خون به کبد، ماهیچه‌های مختلف و بافت چربی انتقال یافته و تجمع می‌یابند. تحقیقات نشان می‌دهد که PCB سبب انواع مختلفی از اثرات بهداشتی می‌شود. این اثرات بسته به نوع مواجهه، سن، جنس و سطحی از بدن که PCB در آنجا متمرکز شده متفاوت است. مطالعات حیوانی، شواهد مستدل و قطعی دال بر سرطانزا بودن ترکیبات PCB نشان می‌دهد. آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا، PCB را به عنوان ماده احتمالی سرطانزای انسانی طبقه بندی کرده است (1 و 9).

روش‌های اصلی بی‌خطر کردن یا کم‌خطر کردن ترکیبات PCB مبتنی بر حذف یا کاهش اتم کلر در حلقه فیلی است (9-1). گرچه تکنولوژی اصلی برای انهدام این ترکیبات روش سوختن است ولی این روش علی‌رغم کارایی بالا هزینه‌بر است و به‌واسطه احتراق ناقص، محصولات فرعی ناخوشایندی نظیر دی‌کلرو دی‌بنزوفوران و پلی‌کلرینه دی‌بنزوفوران ایجاد می‌کند. در دو دهه گذشته راه‌کارهای انهدامی زیادی برای ترکیبات PCB پیشنهاد شده است. در هر حال، تا این تاریخ، به‌جای روش سوختن، روش‌های فنی شایسته‌ای که بتوان به‌طور تجاری از آن استفاده نمود، برای انهدام ترکیبات PCB وجود ندارد (4-1). هدف از این مطالعه تجزیه روغن‌های آسکارل به‌عنوان یکی از ترکیبات مهم روغن‌های PCB با استفاده از فرایند فوتولیز به‌منظور کاهش مواجهه کارگران است.

### مواد و روش‌ها

روغن ترانسفورمر مورد استفاده از شرکت برق منطقه‌ای تهیه شد. مواد مورد استفاده برای تجزیه عبارت بودند از روغن آسکارل، ایزواکتان (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)، استن (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)، هیدروکسید سدیم (NaOH) و پراکسید

هستند در سلول‌ها تجمع زیستی می‌یابند و وارد زنجیره غذایی می‌شوند (2).

به‌واسطه نگرانی‌های ناشی از اثرات ناخوشایند روغن‌های PCB روی محیط زیست، تولید، استفاده و واردات آن در برخی کشورها ممنوع و کاربردهای الکتریکی‌اش به مرور قطع شده و الزامات سختی برای بکارگیری، ذخیره و دفع آن مشخص گردیده است. اخیراً معاهده شیمیایی آلاینده‌های آلی پایدار (POPs)، PCBها را به‌عنوان ماده شیمیایی اولویت‌دار برای حذف تدریجی تا سال 2025 لیست کرده است (4-1).

خواصی همچون پایداری حرارتی بالا، بی‌اثر بودن شیمیایی، عدم اشتعال‌پذیری، مقاومت الکتریکی بالا (ثابت دی‌الکتریک بالا) و سمیت حاد پایین، روغن‌های PCB را جزو ترکیبات اساسی مورد نیاز صنعت مطرح کرده است (4-2، 8 و 9). کاربردهای صنعتی ترکیبات PCB شامل استفاده به‌عنوان روغن ترانسفورمر، دی‌الکتریک در خازن‌ها، مایعات هیدرولیک در ابزارهای هیدرولیکی و مایعات تجهیزات و مبدل‌های حرارتی است. همچنین PCBها در روان‌کننده یا لوبریکنت‌های توربین‌ها و پمپ‌ها، در تشکیل روغن‌های برش برای تصفیه فلزات و با مقادیر مصرف کم‌تری در پلاستیزرها، مواد پوشش‌دهنده سطح، چسب‌ها، آفت‌کش‌ها، کاغذهای کپی بدون کربن، جوهرها، موم‌ها و رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (4-1 و 9).

به‌دلایل اجتماعی و اقتصادی مختلف، مقادیر عمده‌ای از روغن ترانسفورمرهای آلوده به PCB، یا هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا در انبارها ذخیره شده‌اند (2 و 4). چهار دلیل اصلی، ما را مجبور می‌کند تا نسبت به دفع ایمن و جلوگیری از عدم بکارگیری این مواد، اقدامات شایسته‌ای انجام دهیم. در این مواد تجزیه زیستی (biodegradable) به‌راحتی رخ نمی‌دهد، همچنین این ترکیبات، خاصیت تجمع‌زیستی (bioaccumulation) بالایی در بافت چربی دارند، از طرفی پایداری بالایی در محیط به لحاظ تجزیه‌پذیری پایین و حلالیت کم در آب

Agilent Technologies, Model 6890 N) با استاندارد داخلی هگزان مورد تجزیه قرار گرفت. کالیبراسیون دستگاه با استفاده از محلول‌های استاندارد PCB خالص انجام گرفت. پس از آنالیز، داده‌ها وارد نرم افزار SPSS 13.0 گردید. نمونه‌های روغن به‌طور مستقیم بعد از رقیق‌سازی با هگزان به دستگاه تزریق می‌شود. برای تعیین اثربخشی شرایط فوتولیز، قبل از این‌که فوتولیز انجام گیرد، نمونه‌ها به دستگاه تزریق شد و میزان PCB مشخص گردید. سپس بعد از انجام آزمایش‌ها، آماده‌سازی نمونه صورت گرفته و نمونه‌ها به دستگاه تزریق شد.

#### یافته‌ها

نمونه اولیه روغن با استفاده از دستگاه GC-ECD مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز اولیه روغن ترکیبات را در نمونه نشان داد. در روغن شش کونجنر- ترکیباتی که هم‌جنس و مشابه هم باشند- مختلف از ترکیبات PCB یافت شد که عبارت بودند از:

2,2',4,5,5'-PentaChlorobiphenyl (PCB-101)

2,2',4,4',5,5'-HexaChlorobiphenyl (PCB-153)

2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 138)

2,2',3,4,4',5,5'-HeptaChlorobiphenyl (PCB-180)

2,2',3,3',4,4',5,5'-OctaChlorobiphenyl (PCB-194)

PCB 1260 (mixture of many biphenyls with varying degrees of chlorination (4 – 7 cl)

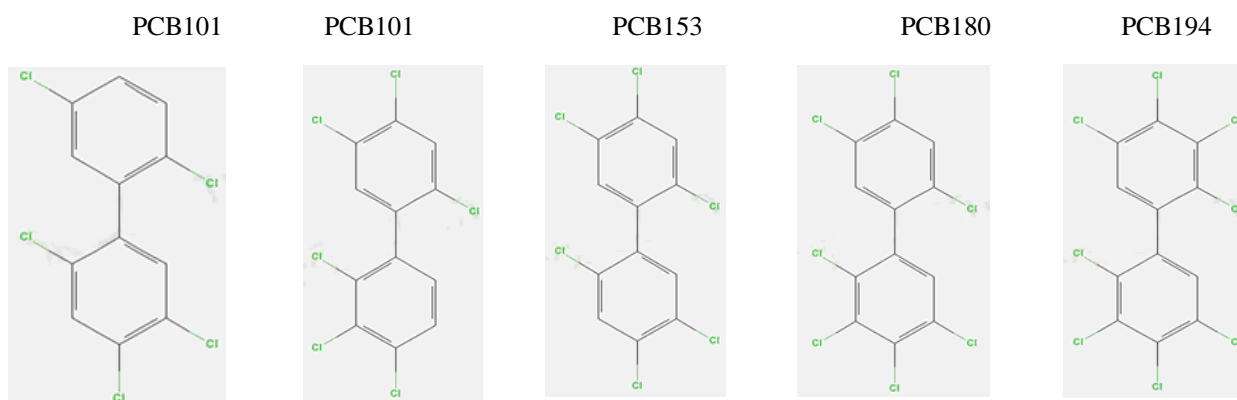
جدول 1 مقدار کونجنرهای مختلف اندازه‌گیری شده را (برحسب میکروگرم بر لیتر) در روغن آسکارل نشان می‌دهد. ساختار مولکولی PCB‌های شناسایی شده در ذیل به نمایش در آمده است. در مورد کونجنر PCB1260 چون مخلوطی از کونجنرهای مختلف می‌باشد نمی‌توان ساختار واحدی تعریف کرد.

هیدروژن (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). تمامی مواد با کیفیت شرکت Merck و بدون افزایش خلوص بیشتر استفاده گردید.

از راکتور فوتوشیمیایی بشر 500 میلی‌لیتری به‌همراه لامپ کم‌فشار جیوه‌ای اشعه UV-C (Cathodeon TUV 6WE) با انتشار طول موجی 254 نانومتر استفاده شد (1، 2 و 6). توان تابشی لامپ، 6 وات بود. کل لامپ در داخل بشر به شکل غوطه‌ور قرار گرفت و دمای راکتور  $32 \pm 2$  C بود. بررسی اولیه آزمایش‌ها و پایش مستمر دما، تغییرات محسوسی در ابتدای مراحل آزمایش و مراحل پایانی نشان نداد. در صورت مشاهده چنین وضعیتی، پیش‌بینی حمام آب یخ برای کنترل دمای محلول صورت گرفت. برای افزایش حلالیت، روغن ترانسفورمر در داخل ایزواکتان حل شد. حجم ایزواکتان و روغن ترانسفورمر در نمونه به نسبت یک به یک، دو به یک و سه به یک بود. برای یکنواختی محلول، راکتور روی همزن مغناطیسی با دور 400 rpm قرار گرفت. برای اثربخشی میزان تجزیه، به نمونه‌ها پراکسید هیدروژن در غلظت‌های متفاوت اضافه شد. نمونه‌های نهایی شامل حجم معینی از ایزواکتان، روغن ترانسفورمر، استن به‌عنوان حساس‌کننده نوری و هیدروکسید سدیم به‌عنوان کنترل‌کننده میزان بازی بودن محلول بود.

آزمایش‌ها به‌صورت سه‌بار تکرار گردید و نتایج، میانگین سه‌بار تکرار می‌باشد. به‌منظور تعیین اثربخشی پارامترهای محلول روی تجزیه روغن، از نمونه‌های شاهد استفاده گردید. در نمونه‌های شاهد هیچ‌گونه تابشی روی محلول انجام نگرفت. برای جلوگیری از مواجهه فردی با اشعه UV، در طی فرایند آزمایش‌ها راکتور با فویل آلومینیومی پوشیده شد. زمان مواجهه با تابش UV-C به‌ترتیب 4 و 6 ساعت بود. پس از نمونه‌گیری، نمونه‌ها در دمای 4°C نگاه‌داری شد و پس از 3-5 ساعت آنالیز صورت گرفت.

روغن‌های آسکارل با استفاده از دستگاه GC/ECD



نسبت حجم حلال و روغن ترانسفورمر و با توجه به کونجنرهای مختلف نشان می‌دهد.

جدول 1- نتیجه اولیه میزان PCB در نمونه روغن اصلی (میکروگرم بر لیتر)

نوع PCB	غلظت در نمونه روغن ( $\mu\text{g/lit}$ )
PCB101	1190
PCB101	2965
PCB153	2500
PCB180	2920
PCB194	2130
PCB1260	16240
جمع PCBها	27945

جدول 2 میزان درصد حذف PCB ها را در روغن آسکارل بر حسب استفاده از لامپ و زمان تابش با توجه به کونجنرهای مختلف نشان می‌دهد. میانگین درصد حذف برای مجموع PCB ها بر حسب عدم استفاده و بکارگیری از پراکسید هیدروژن به میزان 10 درصد و 20 درصد از حجم کل محلول به ترتیب 74/5، 79 و 94/5 بود. جدول 3 میزان درصد حذف PCBها را در روغن آسکارل بر حسب عدم استفاده و بکارگیری از پراکسید هیدروژن با توجه به کونجنرهای مختلف نشان می‌دهد. میانگین درصد حذف برای مجموع PCBها بر حسب نسبت حلال به روغن آسکارل به نسبت یک به یک، دو به یک و سه به یک، به ترتیب 55، 64 و 84 بود. جدول 4 میزان درصد حذف PCBها را در روغن آسکارل بر حسب

جدول 2- درصد حذف PBC در روغن آسکارل بر حسب کونجنرهای مختلف و زمان تابش

نمونه	زمان (ساعت)	PCB101	PCB138	PCB153	PCB180	PCB194	PCB1260
استفاده از	4	$80 \pm 2$	$74 \pm 1/5$	$78/3 \pm 1/6$	$62/5 \pm 2/5$	$77 \pm 2$	$71 \pm 11/6$
لامپ	6	$81 \pm 2/5$	$76 \pm 2$	$79 \pm 1,8$	$64 \pm 1/5$	$80 \pm 4/8$	$77/3 \pm 3$

جدول 3- درصد حذف PBC در روغنهای آسکارل بر حسب میزان پراکسید هیدروژن و پرتودهی (زمان مواجهه 6 ساعت)

نمونه	PCB101	PCB138	PCB153	PCB180	PCB194	PCB1260
بدون پراکسید هیدروژن	$52 \pm 5$	$37 \pm 7$	$43 \pm 19$	$15 \pm 5$	$43 \pm 7$	$56 \pm 6/5$
10% پراکسید هیدروژن	$69 \pm 0/7$	$63 \pm 0/7$	$56 \pm 8$	$53 \pm 1$	$55 \pm 28$	$71 \pm 14$
20% پراکسید هیدروژن	$81 \pm 2/5$	$76 \pm 2$	$79 \pm 1,8$	$64 \pm 1/5$	$80 \pm 4/8$	$77/3 \pm 3$

جدول 4- درصد حذف PBC در روغن آسکارل برحسب حجم حلال و روغن ترانسفورمر و پرتو دهی (زمان مواجهه 6 ساعت)

PCB1260	PCB194	PCB180	PCB153	PCB138	PCB101	نمونه
56 ± 6/5	43 ± 7	15 ± 5	43 ± 19	37 ± 7	52 ± 5	نسبت یک به یک حلال و روغن
76 ± 2	80/5 ± 8/5	66 ± 7/5	67/5 ± 9/5	77 ± 6/5	84 ± 5/5	نسبت دو به یک حلال و روغن
92 ± 0/7	98 ± 0/5	90 ± 1/5	94 ± 1	94 ± 1/5	95 ± 0/7	نسبت سه به یک حلال و روغن

## بحث

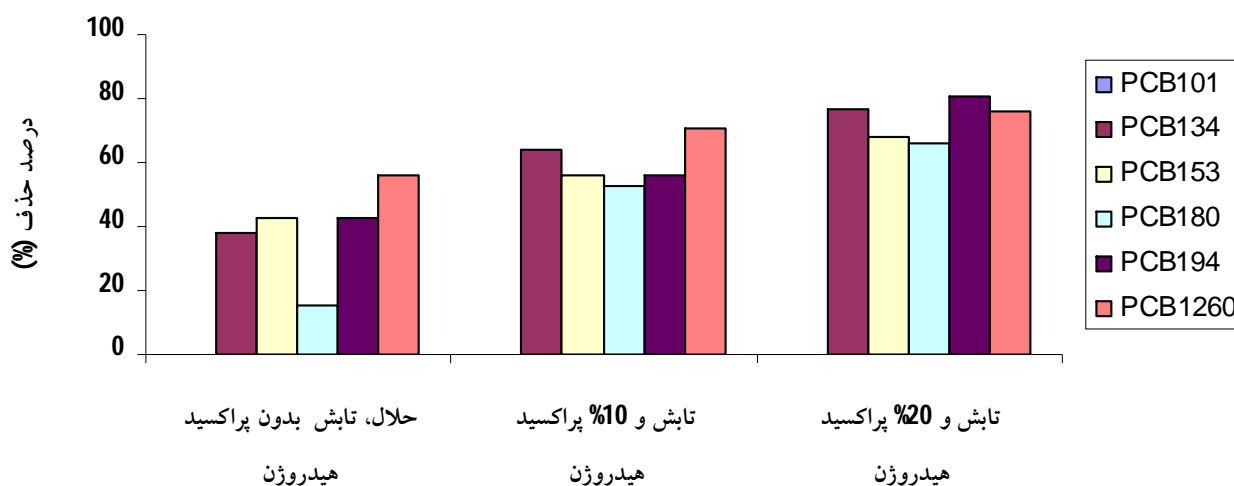
باعث کلرزدایی می شود. سپس رادیکال های اتم هیدروژن از حلال، به واسطه پرتو ایجاد می شود. رادیکال های حلال، واکنش های زنجیره ای را برای کلرزدایی بیشتر مولکول های PCB ادامه می دهد. در کل، اثر توان لامپ مورد انتظار است و از آنجایی که مکانیسم عمده تولید رادیکال هیدروکسیل فوتولیز پراکسید هیدروژن است، با افزایش توان لامپ، میزان تولید رادیکال های هیدروکسیل افزایش می یابد و بنابراین اکسیداسیون PCB شکل می گیرد (1، 4، 6 و 11).

استفاده از انرژی هایی مانند تشعشع یا پرتو به ترکیب شیمیایی، اصل اساسی فرایند فوتوشیمیایی است. مولکول این انرژی را جذب می کند و به حالت برانگیختگی می رسد و در نهایت زمان کافی برای انجام واکنش های شیمیایی فراهم می شود. در هر حال، نتایج نشان می دهد که تابش به تنهایی نمی تواند به عنوان روش مؤثر برای حذف آلاینده های آلی به کار رود. به دلیل این که PCBها در آب به مقدار کمی حل می شوند، بیشتر کارهای بنیادین و اولیه روی فوتولیز PCB روی آلکان ها و الکل ها صورت گرفته است. حلال های آلی زیادی نظیر هگزان، اتانل، ایزواکتان، 1-پروپانل و متانل در مطالعات قبلی بکار گرفته شد (1، 4، 6، 9 و 12). این حلال ها مزایا و معایب زیادی دارند. از جمله معایب برخی از این حلال ها ایجاد محصولات سمی تر، خطر آتش گیری و سرعت واکنش پایین است. در هر حال، گزارش های کمی در بکارگیری حلال ایزواکتان وجود دارد. پیش بینی می شود عملکرد ایزواکتان باید مشابه حلال های دیگر باشد.

جدول دو نشان می دهد هرچقدر زمان مواجهه یا تابش بیشتر شود میزان فوتولیز روغن بیشتر می گردد ولی در زمان های دوم، فوتولیز با شیب کم تری ادامه می یابد. این وضعیت نشان می دهد که فوتوراکتور، کارایی بالایی در کلرزدایی روغن مورد آزمایش دارد لذا بهینه سازی فوتولیز، زمان واکنش را کاهش می دهد و در نتیجه هزینه حذف یا تصفیه نهایی روغن یعنی هزینه انرژی به حداقل رسانده می شود (1، 4، 6 و 14).

در فوتولیز مستقیم، فوتون ها باید جذب شوند و تابش جذب شده باید قادر باشد ترکیب را تجزیه نماید (1، 4، 6 و 14). اشعه UV نیروی محرکه واکنش فوتولیز است جذب انرژی UV موجب برانگیختگی مولکول PCB شده و در نهایت این انرژی موجب شکسته شدن پیوند C-Cl می شود. بنابراین، با افزایش شدت UV، انتظار می رود که فوتون های بیشتری تولید شود که در نهایت موجب افزایش کارایی تجزیه می شود. در هر حال، اگر ما فوتون UV را به عنوان ذره ای در نظر بگیریم، واکنش کلرزدایی دو واکنشگر دارد: مولکول PCB و فوتون. وقتی غلظت یک واکنشگر، در این مورد فوتون افزایش می یابد، میزان واکنش، وابسته به غلظت واکنشگر دیگر یعنی مولکول PCB در آزمایش است. از آنجایی که غلظت PCB ثابت است، افزایش بیشتر UV منجر به افزایش بیشتر کارایی حذف نمی شود لذا شیب منحنی به سمت صاف شدن تمایل پیدا می کند.

مکانیسم واکنش به طوری است که مولکول PCB فوتون را جذب می کند، فعال می شود و به تبع آن همولیز



شکل 1- اثر حلال، میزان پراکسید هیدروژن روی تجزیه روغن PCB

اضافه شد، مکانیسم عمده انهدام با رادیکال‌های هیدروکسیل حاصله از اکسیداسیون پیشرفته ادامه می‌یابد. رادیکال هیدروکسیل اکسیدکننده قوی، واکنشی و غیرانتخابی است که وقتی به میزان کافی تولید شود، می‌تواند منجر به تکمیل اکسیداسیون ترکیبات آلی به دی‌اکسید کربن، آب و یون‌های معدنی شود (16-18).

میزان پراکسید هیدروژن، پارامتر خیلی مهمی در کارایی فرایند تصفیه است. در فرایند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، فوتولیز پراکسید هیدروژن، مکانیسم عمده ایجاد رادیکال‌های هیدروکسیل است. بنابراین، منطقی به نظر می‌رسد که فرض شود افزایش میزان پراکسید هیدروژن منجر به افزایش غلظت حالت پایا پراکسید هیدروژن شود. ولی این طور رخ نمی‌دهد زیرا پراکسید هیدروژن به‌عنوان اسکونجر یا بازدارنده قوی عمل می‌کند. بدیهی است که در غلظت‌های پراکسید هیدروژن در مقدار کم، افزایش دوز، منجر به افزایش میزان تجزیه PCB می‌شود. در غلظت‌های بالاتر، می‌توان از اثر افزایش دوز صرفه‌نظر کرد (15-18).

میزان حذف در مطالعات برخی از محققان روی حلال‌های متانل (1)، ایزوپروپانل (4)، هگزان (6) و الکالین 2-پروپانل (11) به‌ترتیب کم‌تر از 92، 88، 92 و 92 درصد گزارش شده است. درحالی‌که در مطالعه حاضر برای برخی از کونجنرها میانگین درصد حذف، بیش از 98 درصد بود. به‌طور کل، انتظار می‌رود اثر حجم حلال روی کارایی حذف، تأثیر به‌سزایی داشته باشد. از آنجایی‌که مکانیسم عمده تولید رادیکال هیدروکسیل، فوتولیز می‌تواند پراکسید هیدروژن باشد، با افزایش مقدار ایزواکتان باید میزان حلالیت افزایش یابد و موجب افزایش بیشتر کلرزدایی مولکول PCB شود.

شکل 1 اثر پراکسید هیدروژن را فرایند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در نمونه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، میزان تجزیه PCB با افزایش غلظت H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> افزایش یابد. این اثر می‌تواند ناشی از رادیکال‌های هیدروکسیل باشد (15). نتایج شکل 1 نشان می‌دهد که تابش به‌تنهایی نمی‌تواند روش مؤثر برای حذف PCBها باشد. برخی از مطالعات نشان می‌دهد که کارایی حذف مولکول‌های PCB با پرتو UV با اضافه نمودن H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> افزایش یابد. وقتی H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نشان داد فوتولیز ترکیبات PCB با استفاده از پرتو UV نوع C (طول موج 254 نانومتر) در حضور ایزواکتان و اکسیدکننده‌های قوی منجر به تجزیه یا کاهش میزان PCB در روغن ترانسفورمر می‌شود. در نتیجه میزان مواجهه کارگران با روغن PCB کاهش می‌یابد.

## تشکر و قدردانی

این آزمایش‌ها در آزمایشگاه گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط دانشگاه تربیت مدرس و بخش آنالیز آن در آزمایشگاه سازمان محیط زیست صورت گرفته است. از تمامی کسانی که در این دو مجموعه برای انجام پروژه، سعی و تلاش فراوان نمودند تشکر و قدردانی می‌کنیم.

## References

1. Wong KH, Wong PK. Degradation of polychlorinated biphenyls by UV-catalyzed photolysis. *Hum Ecol Risk Assess* 2006; 12(2): 259–69.
2. Wenhai Wu, Jie Xu, Hongmei Z, Zhang Q, Liao S. A practical approach to the degradation of polychlorinated biphenyls in transformer oil. *Chemosphere* 2005; 60(7): 944–50.
3. Borja J, Taleon DM, Auresenia J, Gallardo S. Polychlorinated biphenyls and their biodegradation. *Process Biochem* 2005; 40: 1999–2013.
4. Manzano MA, Perales J.A, Sales D, Quiroga J.M. Using solar and ultraviolet light to degrade PCBs in sand and transformer oils. *Chemosphere* 2004; 57(7): 645–54.
5. Xitao L, Gang Y. Combined effect of microwave and activated carbon on the remediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soil. *Chemosphere* 2006; 63: 228–35.
6. Chang FC, Chiu TC, Yen JH, Wang YS. Dechlorination pathways of ortho-substituted PCBs by UV irradiation in n-hexane and their correlation to the charge distribution on carbon atom. *Chemosphere* 2003; 51: 775–84.
7. Leaes FL, Daniel AP, Mello GB, Battisti V, Bogusz Jr, Emanuelli T, et al. Degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by *staphylococcus xylosus* in liquid media and meat mixture. *Food Chem Toxicol* 2006; 44: 847–54.
8. Wiegel J, Wu Q. Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls. *FEMS Microbiol Ecol* 2000; 32: 1–15.
9. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs). ATSDR, division of toxicology/toxicology information branch 2000.
10. Lin YJ, Chen YL, Huang CY, Wu MF. Photocatalysis of 2,2',3,4,4',5-hexachlorobiphenyl and its intermediates using various catalytical preparing methods. *J Hazard Mater* 2006; 136(3): 902–10.
11. Yao Y, Kakimoto K, Ogawa HI, Kato Y, Kadokami K, Shinohara R. Further study on the photochemistry of non-ortho substituted PCBs by UV irradiation in alkaline 2-propanol. *Chemosphere* 2000; 40(9): 951–6.
12. Lin Y, Teng LS, Lee A, Chen YL. Effect of photosensitizer diethylamine on the photodegradation of polychlorinated biphenyls. *Chemosphere* 2004; 55: 879–84.
13. Xue L, Lei F, Jun H, Gang Y. Photolysis of mono- through deca-chlorinated biphenyls by ultraviolet irradiation in n-hexane and quantitative structure-property relationship analysis. *J Environ Sci* 2008; 20: 753–9.
14. Shih YH, Kang Wang C. Photolytic degradation of polybromodiphenyl ethers under UV-lamp and solar irradiations. *J Hazard Mater* 2009; 165: 34–8.
15. Katsumata H, Kaneco S, Suzuki T, Ohta K, Yobiko Y. Degradation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins in aqueous solution by Fe (II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV system. *Chemosphere* 2006; 63(4): 592–9.
16. Hatakeda K, Ikushima Y, Sato O, Aizawa T, Saito N. Supercritical water oxidation of polychlorinated biphenyls using hydrogen peroxide. *Chem Engin Sci* 1999; 54: 3079–84.
17. Lang K, Lun áka S. Photocatalytic degradation of 4-chlorophenoxyacetic acid in the presence of an iron complex and hydrogen peroxide. *Photochem Photobiol Sci* 2002; 1: 588–91.
18. U.S. Environmental Protection Agency. Handbook on Advanced Photochemical Oxidation Processes. Office of Research and Development Washington 1998; 30–32.