

## اثر حلال و پراکسید هیدروژن بر فوتولیز روغن‌های PCB به‌منظور کاهش مواجهه شغلی

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

### چکیده

زمینه: به دلیل نگرانی‌های 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 به‌جا می‌گذارند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی نقش حلال و پراکسید هیدروژن در تجزیه روغن‌های آسکارل با استفاده از فرایند فوتولیز به‌منظور کاهش مواجهه کارگران است.

روش‌ها: راکتور فوتوشیمیایی بشر 500 میلی‌لیتری با لامپ کم‌فشار اشعه UV-C با طول موج 254 نانومتر بود. لامپ در داخل بشر به شکل غوطه‌ور قرار گرفت. pH نمونه‌ها و دما به‌طور مداوم پایش شد. آزمایش‌ها به‌صورت سه‌بار تکرار گردید. روغن‌های آسکارل با استفاده از دستگاه GC/ECD مورد تجزیه قرار گرفت. از نرم‌افزار SPSS 13.0 برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده گردید.

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

نتیجه‌گیری: 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 می‌شود. کلیدواژه‌ها: روغن آسکارل، ترکیبات PCB، فوتولیز، حلال، تجزیه

«دریافت: 1388/6/23 پذیرش: 1388/11/27»

1. گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

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

3. آزمایشگاه سازمان محیط زیست کشور، تهران

\*عهده‌دار مکاتبات: تهران، پل گیشا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، تلفن: 88013030 - 021

Email: asilia\_h@modares.ac.ir

فاکس: 88013030 - 021

### مقدمه

می‌شوند که مخلوط ایزومرهای چندگانه با درجه متفاوت از کلر هستند. سال‌های 1970-1930، بیش از 600 میلیون کیلوگرم PCBها به‌تنهایی 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 سال‌های زیادی در خاک و آب باقی می‌مانند و به‌واسطه این‌که ترکیبات لیپوفیلک یا چربی‌دوست

روغن‌های PCB (Polychlorinated Biphenyl) جزو یکی از دوازده ترکیب گروه POPs (Persistent Organic Pollutant) یا ترکیبات آلی پایدار محسوب می‌شود. ترکیبات آلی پایدار به‌واسطه مشخصه‌های 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 بی‌فنیل‌ها 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 ترانسفورمور 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>)، هیدرکسید 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

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 پیش‌مستمر دما، تغییرات محسوس 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.

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 پیش‌مستمر دما، تغییرات محسوس 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

#### یافته‌ها

نمونه اولیه روغن با استفاده از دستگاه GC-ECD مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز اولیه روغن ترکیبات PCB 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)

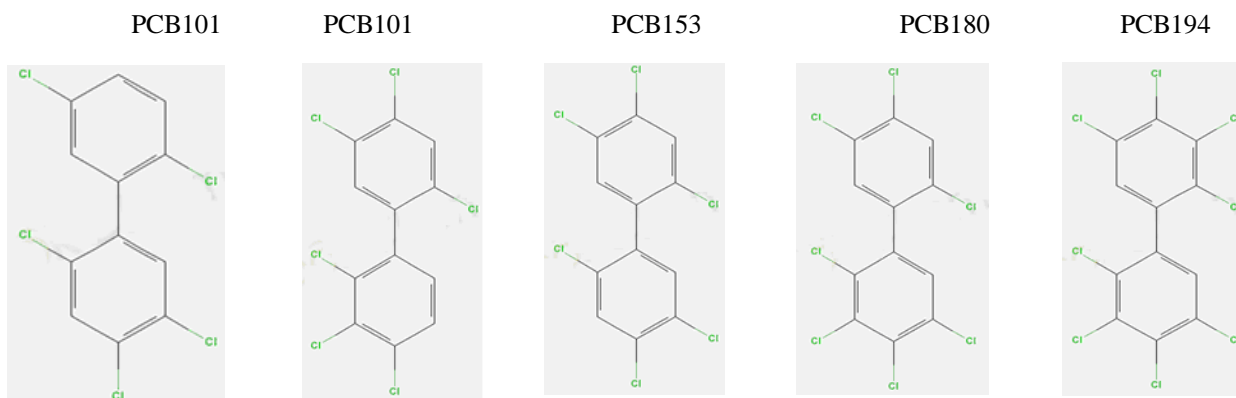
2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 138)

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.



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 (µg/ 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 ± 2   | 74 ± 1/5 | 78/3 ± 1/6 | 62/5 ± 2/5 | 77 ± 2   | 71 ± 11/6 |
| لامپ       | 6           | 81 ± 2/5 | 76 ± 2   | 79 ± 1,8   | 64 ± 1/5   | 80 ± 4/8 | 77/3 ± 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 ± 5   | 37 ± 7   | 43 ± 19  | 15 ± 5   | 43 ± 7   | 56 ± 6/5 |
| 10% پراکسید هیدروژن  | 69 ± 0/7 | 63 ± 0/7 | 56 ± 8   | 53 ± 1   | 55 ± 28  | 71 ± 14  |
| 20% پراکسید هیدروژن  | 81 ± 2/5 | 76 ± 2   | 79 ± 1,8 | 64 ± 1/5 | 80 ± 4/8 | 77/3 ± 3 |

جدول 4 - درصد حذف PBC در روغن آسکارل برحسب حجم حلال و روغن ترانسفورمر و پرتودهی (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 یک‌به‌یک 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

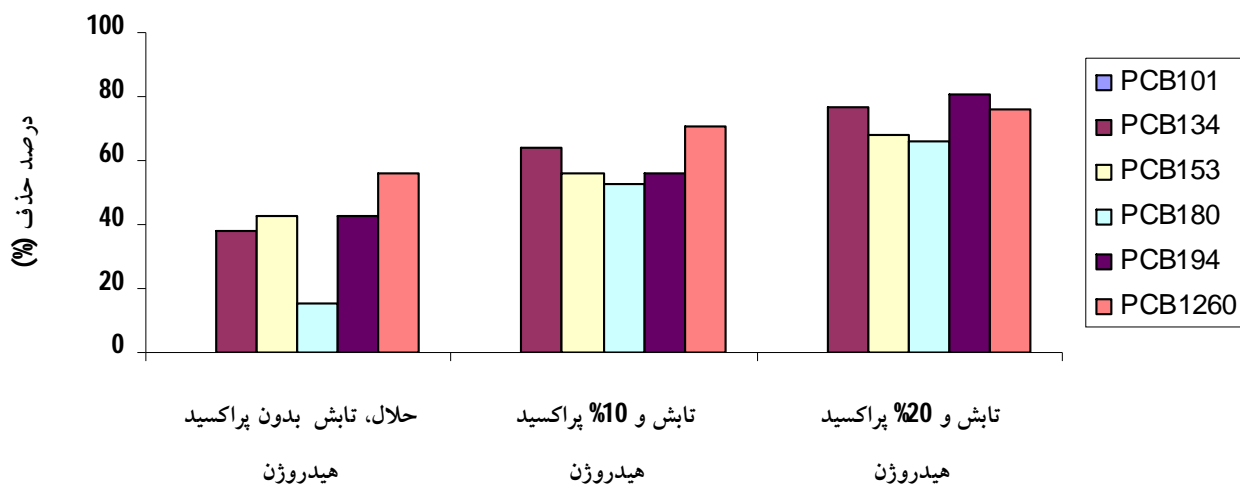
باعث کلرزدایی می‌شود. سپس رادیکال‌های اتم هیدروژن از حلال، به‌واسطه پرتو ایجاد می‌شود. رادیکال‌های حلال، واکنش‌های زنجیره‌ای را برای کلرزدایی بیشتر مولکول‌های PCB ادامه می‌دهد. در کل، اثر توان لامپ مورد انتظار است و از آنجایی که مکانیسم عمده تولید رادیکال هیدروکسیل فوتولیز پراکسید هیدروژن است، با افزایش توان لامپ، میزان تولید رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد و بنابراین اکسیداسیون PCB شکل می‌گیرد (1، 4، 6 و 11).

استفاده از انرژی‌هایی مانند تشعشع یا پرتو به ترکیب شیمیایی، اصل اساسی فرایند فوتوشیمیایی است. مولکول این انرژی را جذب می‌کند و به‌حالت برانگیختگی می‌رسد و در نهایت زمان کافی برای انجام واکنش‌های شیمیایی فراهم می‌شود. در هر حال، نتایج نشان می‌دهد که تابش به تنهایی نمی‌تواند به‌عنوان روش مؤثر برای حذف آلاینده‌های آلی به‌کار رود. به‌دلیل این‌که PCBها در آب به مقدار کمی حل می‌شوند، بیشتر کارهای بنیادین و اولیه روی فوتولیز PCB روی آلکان‌ها و الکل‌ها صورت گرفته است. حلال‌های آلی زیادی نظیر هگزان، اتانل، ایزواکتان، 1-پروپانل و متانل در مطالعات قبلی بکار گرفته شد (1، 4، 6، 9 و 12). این حلال‌ها مزایا و معایب زیادی دارند. از جمله معایب برخی از این حلال‌ها ایجاد محصولات سمی‌تر، خطر آتش‌گیری و سرعت واکنش پایین است. در هر حال، گزارش‌های کمی در بکارگیری حلال ایزواکتان وجود دارد. پیش‌بینی می‌شود عملکرد ایزواکتان باید مشابه حلال‌های دیگر باشد.

جدول دو نشان می‌دهد هرچقدر زمان مواجهه یا تابش بیشتر شود میزان فوتولیز روغن بیشتر می‌گردد ولی در زمان‌های دوم، فوتولیز با شیب کم‌تری ادامه می‌یابد. این وضعیت نشان می‌دهد که فوتوراکتور، کارایی بالایی در کلرزدایی روغن مورد آزمایش دارد لذا بهینه‌سازی فوتولیز، زمان واکنش را کاهش می‌دهد و در نتیجه هزینه حذف یا تصفیه نهایی روغن یعنی هزینه انرژی به حداقل رسانده می‌شود (1، 4، 6 و 14).

در فوتولیز مستقیم، فوتون‌ها باید جذب شوند و تابش جذب‌شده 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 می‌شود. بنابراین، با افزایش شدت UV، انتظار می‌رود که فوتون‌های بیشتری تولید شود که در نهایت موجب افزایش کارایی تجزیه می‌شود. در هر حال، اگر ما فوتون UV را به‌عنوان ذره‌ای در نظر بگیریم، واکنش کلرزدایی دو واکنشگر دارد: مولکول PCB و فوتون. وقتی غلظت یک واکنشگر، در این مورد فوتون افزایش می‌یابد، 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 نمی‌شود لذا شیب منحنی به سمت صاف شدن تمایل پیدا می‌کند.

مکانیسم واکنش به‌طوری است که مولکول PCB فوتون را جذب می‌کند، فعال می‌شود 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 الکلین 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.