

## The comparison of solvents effect on photolysis of PCB compounds for reducing their hazards in environment

Asilian H<sup>1\*</sup>, Gholamnia R<sup>2</sup>, Rezaee A<sup>3</sup>, Jonidi Jafari A<sup>4</sup>, Khavanin A<sup>1</sup>, Darabi E<sup>5</sup>

1- Assistant professor, PhD of Occupational Health, Department of Occupational and Environmental Health, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- PhD student of Occupational Health, Department of Occupational Health, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate professor, PhD of Microbiology, Department of Occupational and Environmental Health, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

4- Associate professor, PhD of Occupational Health, Department of Occupational and Environmental Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- BS of Chemistry, Laboratory of National Environment Organization, Tehran, Iran

Received 29 Nov 2009 Accepted 17 Jan 2010

### Abstract

**Background:** Due to concerns over the negative impacts of PCB compounds on environment and their persistence, their production, use, and import has been banned in some countries. More recently, the Chemical Treaty on Persistent Organic Pollutants (POPs) has listed PCBs among priority chemicals for eventual elimination by 2025. The aim of this study was to determine the effect of solvents on the photodegradation of askarel oils using photolysis for reducing their hazards.

**Materials and Methods:** The photochemical reactor, used in this experimental trial, was based on photolysis through UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with a 500 ml beaker and low-pressure mercury lamp with a wavelength of 254 nm. The lamp was immersed in the beaker. The temperature and PH of the samples were constantly monitored. The experiments were repeated three times. Askarel oils were analyzed by GC/ECD.

**Results:** The means of degradation of total PCBs due to the use of lamp for ethanol solvent and isooctane were 88% and 77%, respectively. The mean degradation of total PCBs in terms of the applied solvent ratio to the oil transformer for 1:1, 2:1, and 3:1 values for ethanol and isooctane were 55%, 85%, and 88%, and 40%, 77%, and 78%, respectively.

**Conclusion:** Photolysis of PCB compounds in the presence of ethanol solvents, isooctanes with strong oxidants such as H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, indicated their degradation or reduction in oil transformers with lower energy, and no yield of toxic byproducts. There was a significant difference in the employment of ethanol solvent and isooctane in degradation of askarel oil.

**Keywords:** Askarel, Degradation, Ethanol, Isooctane, Photolysis

\* Corresponding author:

Email: [asilia\\_h@modares.ac.ir](mailto:asilia_h@modares.ac.ir)

Address: Department of Occupational Health, Tarbiat Modares University, Gisha Bridge, Tehran, Iran

## مقایسه اثر حلال ها بر فوتولیز ترکیبات PCB به منظور کاهش مخاطرات آن در محیط

دکتر حسن اصیلیان<sup>1\*</sup>، رضا غلام نیا<sup>2</sup>، دکتر عباس رضایی<sup>3</sup>، دکتر احمد جنیدی جعفری<sup>4</sup>، دکتر علی خوانین<sup>1</sup>، المیرا دارابی<sup>5</sup>

1- استادیار، دکترای بهداشت حرفه ای، گروه بهداشت حرفه ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

2- دانشجوی دکترای بهداشت حرفه ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

3- دانشیار، دکترای میکروبیولوژی، گروه بهداشت حرفه ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

4- دانشیار، دکترای بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

5- کارشناس شیمی، آزمایشگاه سازمان محیط زیست کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت 88/9/8، تاریخ پذیرش 88/10/16

### چکیده

**زمینه و هدف:** به واسطه نگرانی‌های ناشی از اثرات ناخوشایند ترکیبات PCB بر محیط و پایداری آنها تولید، استفاده و واردات آن در برخی کشورها ممنوع شده است. اخیراً این ترکیبات به عنوان ماده شیمیایی اولویت‌دار برای حذف تدریجی تا سال 2025 در نظر گرفته شده است. هدف از این مطالعه مقایسه تاثیر حلال‌ها روی تجزیه روغن‌های آسکارل با استفاده از فرایند فوتولیز به منظور کاهش مخاطرات آن است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تجربی-آزمایشگاهی راکتور فوتوشیمیایی مبتنی بر فرایند فوتولیز با روش  $UV/H_2O_2$  با 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 نمونه‌ها و دما به طور مداوم پایش می‌شد. آزمایش‌ها سه بار تکرار گردید. روغن‌های آسکارل با استفاده از دستگاه GC/ECD مورد تجزیه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** میانگین حذف برای مجموع PCB ها به واسطه استفاده از لامپ برای حلال اتانل و ایزواکتان به ترتیب 88 و 77 درصد بود. میانگین حذف برحسب نسبت حلال مورد استفاده به روغن آسکارل به میزان 1 به 1، 2 به 1 و 1 به 3، برای حلال اتانل به ترتیب 55، 85 و 88 درصد و برای حلال ایزواکتان به ترتیب 40، 77 و 78 درصد بود.

**نتیجه گیری:** فوتولیز ترکیبات PCB در حضور حلال اتانل و ایزواکتان همراه با اکسید کننده‌های قوی نظیر  $H_2O_2$  تجزیه یا کاهش میزان این ترکیبات در روغن ترانسفومر با انرژی کمتر و عدم ایجاد محصولات فرعی سمی را نشان داد. تفاوت معنی‌داری در به کارگیری حلال اتانل و ایزواکتان در تجزیه روغن آسکارل وجود داشت.

**واژگان کلیدی:** روغن آسکارل، تجزیه، اتانل، ایزواکتان، فوتولیز

\*نویسنده مسئول: تهران، پل گیشا، دانشگاه تربیت مدرس، گروه بهداشت حرفه ای و محیط

## مقدمه

ترکیبات (Polychlorinated Biphenyls) PCB جزو یکی از 12 ترکیب گروه (Persistence) (Organic Pollutants) POPs یا ترکیبات آلی پایدار است. ترکیبات آلی پایدار به واسطه مشخصه‌های خاص شان نظیر سمیت، پایداری، تجمع زیستی و پراکندگی آنها دور از منبع تولیدشان از دیگر ترکیبات شیمیایی متمایز هستند (1). لذا سعی می‌شود تولید، استفاده، حمل و نقل و انبار این گونه ترکیبات محدود شود؛ همچنین تلاش می‌گردد تا بهترین روش حذف و انهدام برای این ترکیبات مورد استفاده قرار گیرد. در کشور روغن‌های آسکارل به عنوان بیشترین ترکیبات PCB مورد استفاده در بخش صنعت می‌باشند لذا مواجهه شغلی و ریخت و پاش‌های زیست محیطی دور از انتظار نیست و می‌تواند با توجه به مخاطرات مربوطه شان به عنوان ترکیبات گروه POP به عنوان چالش‌ها و نگرانی‌های شغلی و زیست محیطی در این بخش مطرح باشند. روش فوتولیز می‌تواند روش موثر و کارا برای حذف کلر در ترکیبات PCB باشد به شرط آن که پارامترهای عملیاتی و اکشن‌های فوتولیز به خوبی طراحی شوند. در این مطالعه پارامترهای اساسی از جمله نوع حلال و شدت پرتو روی نمونه‌های روغن آسکارل بررسی می‌شود تا بتوان بهینه ترین نقطه حذف را با توجه به پارامترهای عملیاتی تعریف کرد. ترکیبات PCB به طور ضعیف در آب حل می‌شوند اما به طور قوی در روغن و چربی حل می‌گردند. قابلیت حلالیت شان در آب با افزایش درجه کلراسیون کاهش می‌یابد. به طور کل خواص PCB‌هایی که برای کاربردهای صنعتی ساخته می‌شوند عبارتند از پایداری حرارتی، بی‌اثر بودن شیمیایی، عدم اشتعال پذیری، مقاومت الکتریکی بالا یا ثابت دی الکتریک بالا و سمیت حاد پایین (2-9). به دلایل اجتماعی و اقتصادی مختلف، مقادیر عمده‌ای از روغن‌های ترانسفورمرهای آلوده به PCB هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا در انبارها ذخیره شده‌اند (2، 4). 4 دلیل اصلی که ما را مجبور می‌کند تا نسبت به دفع ایمن و جلوگیری از عدم به کارگیری این مواد اقدامات شایسته‌ای انجام گیرد

عبارتند از این که اولاً در این مواد به راحتی تجزیه زیستی (Biodegradable) رخ نمی‌دهد، ثانیاً این ترکیبات خاصیت تجمع زیستی (Bioaccumulation) بالایی در بافت چربی دارند، ثالثاً پایداری بالایی در محیط به لحاظ تجزیه پذیری پایین و حلالیت کم در آب دارند و در نهایت این که این ترکیبات مشکوک به سرطان هستند (10-1). لذا باید مطالعات گسترده‌ای برای حذف این ترکیبات انجام گیرد. در اکثر مطالعات فوتولیز شرایط و معیاری نظیر موارد زیر وجود دارد که به کارگیری آنها را تحت چالش قرار داده است (15-1):

1. شرایط پرتودهی یکسانی برای تمامی محلول مورد حذف وجود ندارد.
2. در اکثر روش‌ها از بخشی از پرتودهی لامپ استفاده شده است.
3. از حلال‌های با سمیت بالا استفاده شده است.
4. مصرف انرژی در روش‌های به کار گرفته شده بالا است.
5. در همه روش‌ها کارایی یکسان مطلوب مشاهده نشده است.

محققانی نظیر وانگ با استفاده از روش فیزیکی توانسته‌اند به تجزیه ترکیبات PCB به میزان 92 درصد دست پیدا کنند (1). چنگ و همکاران به حذف بیش از 88 درصد ترکیبات PCB در روغن با استفاده از پرتوهای UV دست پیدا کرده‌اند (6). در هر حال این ترکیبات از طریق پوستی، استنشاقی و گوارشی جذب بدن شده از طریق جریان خون به کبد، ماهیچه‌های مختلف و بافت چربی انتقال یافته و تجمع می‌یابند. آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا PCB را به عنوان ماده احتمالی سرطانزای انسانی طبقه‌بندی کرده است (1، 9). هدف از این مطالعه مقایسه تاثیر حلال‌های اتانل و ایزواکتان روی تجزیه روغن‌های آسکارل با استفاده از فرایند فوتولیز به منظور کاهش مخاطرات آن است.

## مواد و روش‌ها

بررسی حاضر یک مطالعه تجربی- آزمایشگاهی می‌باشد که با استفاده از فرایند پیشرفته اکسیداسیون

13 گردید. از شاخص‌های مرکزی نظیر میانگین و آزمون‌های تحلیلی (مقایسه میانگین‌ها) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. نمونه‌های روغن به طور مستقیم بعد از رقیق سازی با هگزان به دستگاه تزریق شد. برای تعیین اثربخشی شرایط فوتولیز، قبل از این که فوتولیز انجام گیرد، نمونه‌ها به دستگاه تزریق گردید و میزان PCB مشخص شد. بعد از انجام آزمایش‌ها و آماده سازی، نمونه‌ها به دستگاه تزریق گردید.

جدول 1. شرایط دستگاهی برای تجزیه PCBs با استفاده از دستگاه

GC/ECD	
ویژگی / مقدار	
نوع ستون	HP5
طول	30 متر
قطر داخلی، میلی متر	0/22
گاز حامل	نیتروژن
دمای دکتور	300 درجه سانتی گراد
دمای تزریق	225 درجه سانتی گراد
برنامه ریزی دمایی	دمای اولیه 70 درجه سانتی گراد و هر دقیقه 3 درجه سانتی گراد افزایش دما رخ می دهد و تا دمای 260 درجه سانتی گراد ادامه می یابد.

#### 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 6 کونجنر مختلف از ترکیبات PCB یافت شد که عبارتند 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 2 مقدار کونجنرهای مختلف اندازه‌گیری شده (برحسب میکروگرم بر لیتر) در روغن آسکارل را نشان می‌دهد.

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> برای تجزیه روغن آسکارل مورد استفاده قرار گرفت. روغن ترانسفورم از شرکت برق منطقه‌ای تهیه شد. مواد مورد استفاده برای تجزیه عبارتند از روغن آسکارل، اتانل (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)، ایزواکتان (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)، استن (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)، هیدرکسید سدیم (NaOH) و پراکسید هیدروژن (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). تمامی مواد با کیفیت شرکت Merck آلمان و بدون افزایش خلوص بیشتر مورد استفاده قرار گرفت.

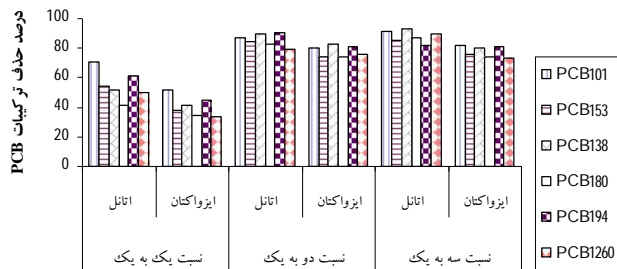
راکتور فوتوشیمیایی بشر 500 میلی لیتری به همراه لامپ کم فشار جیوه‌ای اشعه UV-C (Cathodeon UV-C (TUV 6WE) با انتشار طول موجی 254 نانومتر بود (1، 2، 6). توان تابشی لامپ 6 وات بود. کل لامپ در داخل بشر به شکل غوطه ور قرار گرفت. pH نمونه‌ها و دما به طور مداوم مورد پایش قرار گرفت. برای افزایش حلالیت روغن ترانسفورم به طور جداگانه در داخل اتانل و ایزواکتان حل شد. حجم اتانل و ایزواکتان با روغن ترانسفورم در نمونه به نسبت 1 به 1، 2 به 1 و 3 به 1 بود. جهت یکنواختی محلول، راکتور روی همزن مغناطیسی با دور 400 rpm قرار گرفت. برای اثر بخشی میزان تجزیه، به نمونه‌ها پراکسید هیدروژن در غلظت‌های متفاوت اضافه شد.

آزمایش‌ها سه بار تکرار گردید و نتایج میانگین سه بار تکرار می‌باشد. به منظور تعیین اثربخشی پارامترهای محلول روی تجزیه روغن، از نمونه‌های شاهد استفاده شد. در نمونه‌های شاهد هیچ گونه تابشی روی محلول انجام نگرفت. برای جلوگیری از مواجهه فردی با اشعه UV، راکتور با فویل آلومینیومی در طی فرایند آزمایش‌ها پوشیده شد. زمان مواجهه با تابش UV-C به ترتیب 2، 4 و 6 ساعت بود. پس از نمونه‌گیری نمونه‌ها در دمای 4 درجه سانتی گراد نگهداری می‌شد.

روغن‌های آسکارل با استفاده از دستگاه GC/ECD (Agilent Technologies, Model 6890 N) با استاندارد داخلی هگزان مورد تجزیه قرار گرفت. جدول 1 شرایط آزمایشگاهی دستگاه GC-ECD نشان می‌دهد. پس از آنالیز، داده‌ها وارد نرم افزار SPSS نسخه

جدول 2. نتیجه اولیه میزان PCB در نمونه روغن اصلی (میکروگرم بر لیتر)

نمونه	PCB101	PCB153	PCB138	PCB180	PCB194	PCB1260	جمع
نمونه اصلی	1190	2500	2965	2920	2130	16240	27945



وع حلال و نسبت آن به روغن آسکارل

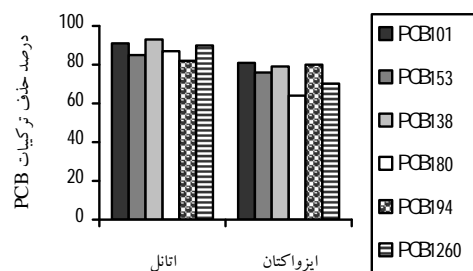
نمودار 2. فراوانی حذف PCB ها در روغن آسکارل بر حسب حجم حلال و روغن ترانسفورمر با یک لامپ 6 وات

### بحث

میزان فوتولیز روغن در ساعت‌های دوم و چهارم مواجهه با پرتو UV بالا است و هر چقدر زمان بیشتر می‌شود میزان فوتولیز با شیب کمتری ادامه می‌یابد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین درصد کاهش PCBs، استفاده و عدم استفاده لامپ وجود دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که فوتوراکتور کارایی بالایی در کلرزدایی روغن مورد آزمایش دارد لذا بهینه‌سازی زمان 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، 14).

در فوتولیز مستقیم فوتون‌ها باید جذب شوند و تابش جذب شده باید قادر باشد ترکیب را تجزیه نماید (1، 4، 6، 14). اشعه UV نیروی محرکه واکنش فوتولیز است که جذب انرژی UV موجب برانگیختگی مولکول PCB می‌گردد و در نهایت این انرژی موجب شکسته شدن پیوند C - Cl می‌شود؛ بنابراین با افزایش شدت UV، انتظار می‌رود که فوتون‌های بیشتری تولید شده که در نهایت موجب افزایش کارایی تجزیه می‌شود. در هر حال اگر ما فوتون UV را به عنوان ذره ای در نظر بگیریم، واکنش کلرزدایی دو راکتانت دارد: مولکول PCB و فوتون. وقتی

میانگین حذف برای مجموع PCB ها به واسطه استفاده از لامپ برای حلال اتانل و ایزواکتان به ترتیب 88 و 77 درصد بود. نمودار 1 درصد فراوانی حذف PCB ها را در روغن آسکارل بر حسب تعداد لامپ و حلال با توجه به کونجنرهای مختلف نشان می‌دهد.



نمودار 1. فراوانی حذف PCB ها در روغن آسکارل بر حسب تابش یک لامپ

میانگین حذف برای مجموع PCB ها بر حسب نسبت حلال اتانل مورد استفاده به روغن آسکارل به میزان 1 به 1، 2 به 1 و 3 به 1 به ترتیب 55، 85 و 88 درصد بود. میانگین حذف برای مجموع PCB ها بر حسب نسبت حلال اتانل مورد استفاده به روغن آسکارل به میزان 1 به 1، 2 به 1 و 3 به 1 برای حلال ایزواکتان به ترتیب 40، 77 و 78 درصد بود. نمودار 2 درصد فراوانی حذف PCB ها را در روغن آسکارل بر حسب نسبت حجم حلال و روغن آسکارل با توجه به کونجنرهای مختلف نشان می‌دهد.

غلظت یک راکتانت، در این مورد فوتون، افزایش می‌یابد میزان واکنش وابسته به غلظت راکتانت 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 به طوری است که مولکول PCB فوتون را جذب می‌کند، فعال می‌شود و به تبع آن باعث کلرزدایی می‌شود سپس رادیکال‌های اتم هیدروژن از حلال به واسطه پرتو ایجاد می‌شود. رادیکال‌های حلال واکنش‌های زنجیره‌ای را برای کلرزدایی بیشتر مولکول‌های PCB ادامه می‌دهد. از آنجایی که مکانیسم عمده تولید رادیکال هیدروکسیل فوتولیز پراکسید هیدروژن است، با استفاده از لامپ میزان تولید رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد و بنابراین اکسیداسیون PCB شکل می‌گیرد (1, 4, 6, 11).

نوع حلال می‌تواند روی میزان فوتولیز و محصولات نهایی آن تاثیر بگذارد لذا انتخاب درست حلال تاثیر به سزایی در کارایی فوتولیز می‌تواند داشته باشد. مشخصه‌های مطلوب برای انتخاب حلال شامل سمیت کم، توان حل کنندگی بالا، سازگاری با ترکیب و واکنش پذیری پایین با معرف‌های دکلریناسیون است. بسته به نوع حلال به کار رفته، مشتقات حلال می‌تواند در تجزیه نهایی یافت شود نظیر مشتقات هیدروکسی (Hydroxy-derivatives)، محصولات متوکسیله (Methoxylated Products) و پلی کلرینه سیکلوهگزیل (Cyclohexyl-PCBs)؛ اما هیچ ترکیب فرعی وابسته به حلال و PCB در اتانل یا ایزواکتان یافت نشد. به دلیل این که PCB ها در آب به مقداری کمی حل می‌شوند، اکثر کارهای بنیادین و اولیه روی فوتولیز PCB روی آلکان‌ها و الکل‌ها صورت گرفته است. حلال‌های آلی زیادی نظیر هگزان، 2- پروپانل و متانل در مطالعات قبلی به کار گرفته شده بودند (1, 4, 6, 9, 12-20).

این حلال‌ها مزایا و معایب زیادی دارند از جمله معایب برخی از این حلال‌ها ایجاد محصولات سمی تر، خطر آتش‌گیری و سرعت واکنش پایین است. در هر حال، گزارش‌های کمی در به کارگیری حلال اتانل و ایزواکتان وجود دارد. پیش‌بینی می‌شود عملکرد اتانل و ایزواکتان باید مشابه حلال‌های دیگر باشد. به دلیل سمیت کمتر این حلال‌ها نسبت به حلال‌های دیگر و به ویژه حلال اتانل می‌تواند گروه‌های هیدروکسیلیک بیشتری در اختیار نمونه قرار دهد. استفاده از حلال دو کار اساسی را در فرایند فوتولیز انجام می‌دهد: 1- روغن آسکارل را در خودش حل می‌کند و 2- الکترون‌های لازم برای اهدای الکترون به مولکول برانگیخته آسکارل را فراهم می‌کند (1, 4, 6, 9, 12-20). نمودار 2 اثر میزان حلال را در زمان‌های مشابه روی نمونه‌ها نشان می‌دهد. بررسی نشان داد که میزان فوتولیز روغن با افزایش یافتن مقدار حلال افزایش می‌یابد لذا تفاوت معنی‌داری بین درصد کاهش PCBs و افزایش میزان حلال وجود دارد. همچنین به طور کل، انتظار می‌رود اثر حجم حلال روی کارایی حذف تاثیر به سزایی داشته باشد.

در مورد به کارگیری حلال‌ها، نتایج نشان داد که تجزیه روغن آسکارل با استفاده از حلال اتانل بیشتر از حلال ایزواکتان است. در مورد حلال اتانل، از آنجایی که مکانیسم عمده تولید رادیکال هیدروکسیل فوتولیز حلال می‌تواند باشد، با افزایش مقدار اتانل باید میزان تولید رادیکال هیدروکسیل افزایش یابد، بنابراین موجب افزایش بیشتر کلرزدایی مولکول PCB می‌شود. حلال اتانل سمیت پایین و قابلیت حلالیت بالایی نسبت به ایزواکتان دارد. با توجه به گروه هیدروکسیل موجود در اتانل احتمال می‌رود توان اهداکنندگی بالایی برای یون هیدروژن داشته باشد و موجب تسهیل بیشتر در فرایند فوتولیز شود.

محققانی با استفاده از روش فیزیکی توانسته‌اند به تجزیه ترکیبات PCB به میزان مطلوبی دست پیدا کنند ولی معایب روش‌های آنها عبارتند از به کارگیری حلالی با سمیت بالا، افزایش مصرف انرژی به واسطه عدم استفاده از تماس سطح تابش لامپ، عدم تابش یکنواخت به کل نمونه،

- Assessment: An International Journal. 2006; 12(2): 259-69.
2. Wu W, Xu J, Zhao H, Zhang Q, Liao S. A practical approach to the degradation of polychlorinated biphenyls in transformer oil. *Chemosphere*. 2005 Aug;60(7): 944-50.
  3. Borja J, Taleon D, Auresenia J, Gallardo S. Polychlorinated biphenyls and their biodegradation. *Process Biochemistry*. 2005; 40(6): 1999-2013.
  4. Manzano M, Perales J, Sales D, Quiroga J. Using solar and ultraviolet light to degrade PCBs in sand and transformer oils. *Chemosphere*. 2004 Nov;57(7):645-54.
  5. Liu X, Yu G. Combined effect of microwave and activated carbon on the remediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soil. *Chemosphere*. 2006 Apr;63(2):228-35.
  6. Chang F, Chiu T, Yen J, Wang Y. Dechlorination pathways of ortho-substituted PCBs by UV irradiation in n-hexane and their correlation to the charge distribution on carbon atom. *Chemosphere*. 2003 Jun;51(8):775-84.
  7. Leães F, Daniel A, Mello G, Battisti V, Bogusz SJ, Emanuelli T, et al. Degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by *Staphylococcus xylosus* in liquid media and meat mixture. *Food Chem Toxicol*. 2006 Jun; 44(6): 847-54.
  8. Wiegel J, Wu Q. Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls. *FEMS Microbiol Ecol*. 2000 Apr;32(1):1-15.
  9. Nakagawa S, Shimokawa T. Degradation of halogenated carbons in alkaline alcohol. *Radiation Physics and Chemistry*. 2002; 63(2): 151-6.
  10. Lin Y, Chen Y, Huang C, Wu M. Photocatalysis of 2, 2', 3, 4, 4', 5'-hexachlorobiphenyl and its intermediates using various catalytical preparing methods. *J Hazard Mater*. 2006 Aug;136(3):902-10.
  11. Yao Y, Kakimoto K, Ogawa H, 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 May-Jun;40(9-11):951-6.
  12. Lin Y, Teng L, Lee A, Chen Y. Effect of photosensitizer diethylamine on the photodegradation of polychlorinated biphenyls. *Chemosphere*. 2004 May;55(6):879-84.

تشکیل محصولات متوکسیلیت و محصولات فرعی خطرناک تر (1-20)، در حالی که مطالعه حاضر نشان داد که در کنار دست یافتن به میزان کاهش مطلوب مزایای زیر نیز قابل مشاهده است:

- 1- امکان استفاده تجاری از این روش
- 2- امکان کار بر روی مقادیر زیاد
- 3- عدم استفاده از سوخت
- 4- روشی مبتنی بر دوستدار محیط زیست
- 5- انتشار کم آلودگی
- 6- تقریباً حذف کامل امکان پذیر است لذا مشکل مواد خطرناک پایان می یابد.

### نتیجه گیری

فوتولیز ترکیبات PCB در حضور حلال اتانل و ایزواکتان همراه با اکسید کننده های قوی نظیر  $H_2O_2$  تجزیه یا کاهش میزان PCB در روغن ترانسفورمر با انرژی کمتر و عدم محصولات فرعی سمی را نشان داد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری در به کارگیری حلال اتانل و ایزواکتان در تجزیه روغن آسکارل وجود دارد؛ در نتیجه میزان مواجهه شغلی و زیست محیطی با ترکیبات PCB کاهش می یابد.

### تشکر و قدردانی

تمامی آزمایش ها در آزمایشگاه گروه بهداشت حرفه ای و محیط دانشگاه تربیت مدرس و بخش آنالیز آن در آزمایشگاه سازمان محیط زیست صورت گرفته است. نویسندگان بر خود ملزم می دانند از تمامی کسانی که در این دو مجموعه به خصوص کارکنان آزمایشگاه برای انجام پروژه سعی و تلاش فراوان نمودند تشکر و قدردانی به عمل آورند.

### منابع

1. Wong K, Wong P. Degradation of polychlorinated biphenyls by UV-catalyzed photolysis. *Human and Ecological Risk*

13. Li X, Fang L, Huang J, Yu G. Photolysis of mono- through deca-chlorinated biphenyls by ultraviolet irradiation in n-hexane and quantitative structure-property relationship analysis. *J Environ Sci (China)*. 2008; 20(6): 753-9.
14. Shih Y, Wang C. Photolytic degradation of polybromodiphenyl ethers under UV-lamp and solar irradiations. *J Hazard Mater*. 2009 Jun; 165(1-3): 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 Apr; 63(4): 592-9.
16. Hatakeda K, Ikushima Y, Sato O, Aizawa T, Saito N. Supercritical water oxidation of polychlorinated biphenyls using hydrogen peroxide. *Chemical Engineering Science*. 1999; 54(15-16): 3079-84.
17. Lang K, Lunák S. Photocatalytic degradation of 4-chlorophenoxyacetic acid in the presence of an iron complex and hydrogen peroxide. *Photochem Photobiol Sci*. 2002 Aug; 1(8): 588-91.
18. Chaychian M, Jones C, Poster D, Silverman J, Neta P, Huie R, et al. Radiolytic dechlorination of polychlorinated biphenyls in transformer oil and in marine sediment. *Radiation Physics and Chemistry*. 2002;65(4-5): 473-8.
19. Kastanek F, Maleterova Y, Kastanek P, Rott J, Jiricny V, Jiratova K. Complex treatment of wastewater and groundwater contaminated by halogenated organic compounds. *Desalination*. 2007; 211(1-3): 261-71.
20. Zhao C, Hirota K, Taguchi M, Takigami M, Kojima T. Radiolytic degradation of octachlorodibenzo-p-dioxin and octachlorodibenzofuran in organic solvents and treatment of dioxin-containing liquid wastes. *Radiation Physics and Chemistry*. 2007; 76(1): 37-45.