

## مروری بر ترکیبات PCBs در محیط زیست، اثرات بهداشتی، روش های شناسایی و امحاء آن

ابوالقاسم علی قارداشی<sup>۱</sup>، مریم میرابی<sup>۱</sup>، غلامعلی حقیقت<sup>۲\*۳</sup>

۱- استادیار، گروه محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران ۲- مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، جیرفت- ایران ۳- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

### خلاصه

**مقدمه:** پلی کلروبی فنیل ها (PCBs) ترکیب های شیمیایی مقاوم و زیست تخریب ناپذیری هستند که می توانند آثار زیانباری بر سلامت انسان و محیط زیست داشته باشند. این ترکیبات در دستگاه های تبدیل حرارتی، هیدرولیکی، روغن های روشن کننده، آفت کش ها، لوازم آرایشی، رنگ کاری و تولید رنگ ها، تولید چسب، پلاستیک سازی، کاغذ های کپی بدون کربن و در صنایع الکتریکی مانند خازن دار، روغن های ترانسفورماتور، کلید های قطع کننده و لامپ های فلورسنت کاربرد دارند. در مطالعه حاضر به مروری بر ترکیبات PCBs در محیط زیست، اثرات بهداشتی، روش های شناسایی و امحاء آن پرداخته شده است.

**روش کار:** این مطالعه مروری با جستجو در پایگاه های معتبر ایرانی و بین المللی Elsevier, Springer, PubMed, Magiran, SID, google scholar, CIVILICA با استفاده از کلیدواژه های انگلیسی مانند Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Water, Health Effect, Environment, Remediation, degradation, Contamination و با کلیدواژه های فارسی شامل بی فنیل های پلی کلرینه (PCBs), محیط زیست, اثرات بهداشتی, آلودگی آب, امحاء در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۰ جمع آوری و مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج در چهار بخش اثرات ترکیبات PCBs (اثر بر محیط زیست، انسان و حیوانات)، خواص فیزیکی و شیمیایی، روش های اندازه گیری (چهار روش عمده شیمیایی تخمین نهایی رنگ سنجی، الکترومتری، فلورسانس اشعه ایکس و گاز کروماتوگرافی) و روش های امحاء ترکیبات PCBs (سه دسته عمده فیزیکی، میکروبی و شیمیایی) مقایسه، دسته بندی و ارائه گردید.

**نتیجه گیری:** بر اساس یافته ها، اثرات ترکیبات PCBs بر محیط زیست، انسان و حیوانات و تجمع در مواد غذایی زیاد بوده و لذا نیاز به اندازه گیری و پایش مداوم، معدوم سازی و امحاء این ترکیبات و ارزیابی و معرفی بهترین راه انجام آن می باشد. در نهایت، برای حذف PCBs موجود در آب، فاضلاب، لجن و کشتی ها نیز بهترین روش معرفی گردیده است.

**کلیدواژگان:** پلی کلرو بی فنیل ها (PCBs)، محیط زیست، اثرات بهداشتی، آلودگی آب

\*نویسنده مسئول: غلامعلی حقیقت [Haghighat.gholamali@gmail.com](mailto:Haghighat.gholamali@gmail.com)

موبایل: ۰۹۰۱۳۶۱۸۰۳۷      نامبر: ۰۳۴۴۳۳۱۰۹۶۸

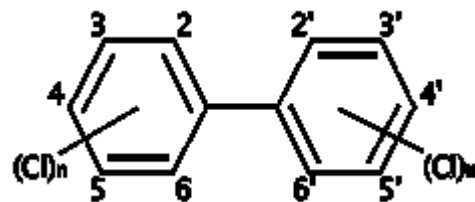
دریافت: ۱۳۹/۱۱/۲۱      پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۵

◀ لطفاً به مقاله به شکل زیر استناد کنید

علی قارداشی ا، میرابی م، حقیقت غ. مروری بر ترکیبات PCBs در محیط زیست، اثرات بهداشتی، روش های شناسایی و امحاء آن. مجله دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، تابستان ۱۳۹۸؛ ۶(۱): ۸۷-۱۰۰

## مقدمه

پلیکلرولوب فنیل‌ها (PCBs) دسته‌ای از هیدروکربن‌ها هستند که از دو حلقه بنزنی (حلقه بی فنیل) و استخلاف‌های جانبی کلر بر روی آن تشکیل شده‌اند. این مواد به علت خواص ویژه‌ای که از خود نشان داده‌اند، سال‌های متمادی به روغن‌های پایه نفتی افزوده می‌شد تا خواص آن را بهبود بخشد (۱). پایه اصلی این ماده انوعی از ترکیبات کلروبنزن ( $C_6H_3CO_3$ ) بوده و از واکنش بین کلر و دی فنیل‌ها به دست می‌آید (شکل ۱).



شکل ۱- فرمول شیمیایی پلی کلرینیتد بی فنیل‌ها

این روغن‌های نسوز مصنوعی که اغلب بانام تجاری روغن آسکارل شناخته می‌شوند، به‌عنوان مایع خنک‌کننده و عایق در تجهیزات الکتریکی از قبیل ترانسفورماتور، خازن و سایر تجهیزات کاربرد وسیعی دارند (۲). خیلی زود مشخص شد ترکیب‌های شیمیایی مقاوم و PCBs پلی کلرولی فنیل‌ها زیست تخریب ناپذیری هستند که می‌توانند آثار زیانباری بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشند. آنها می‌توانند تا مسافت‌های زیادی جابجا شوند و در دورترین نقاط کره خاکی، از جمله مکان‌هایی که بسیار دور از مراکز تهیه و مصرف آنها از سال PCBs بوده‌اند مشاهده شوند (۲، ۳). اگرچه ساخت ۱۹۷۲ از سوی مجامع بین الملل ممنوع و در سال ۱۹۷۷ از رده خارج گردیده است، اما پتانسیل یا امکان ورود آنها به محیط‌زیست وجود دارد، زیرا مقادیر قابل توجهی از آنها در انبارها و یا در دستگاه‌های مختلف وجود دارند (۴). حدود ۱/۷ میلیون تن از این روغن در دنیا شناسایی شده است. حدود یک‌سوم از این مقدار در محیط‌زیست پراکنده شده است (۵). سازمان بین‌المللی حقوق بشر در نوزدهمین کنفرانس خود در فوریه (قرارداد، ۱۹۹۷ POPs آنها را در زمره ۱۲ آلوده‌کننده آلی مقاوم) این کنفرانس همچنین از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل

درخواست کرد که یک کمیته جهانی که وظیفه آن UNEP) بر خورد هماهنگ در ارتباط با این ماده شیمیایی آلی مخاطره‌آمیز باشد در کشورها تشکیل شود. علاوه بر این، کنفرانس از سازمان ملل درخواست کرد که یک سری اقدامات فوری درباره اطلاعات و اصلاح اطلاعات در دسترس PCBs موجود در ارتباط با فروش در مورد جایگزین‌های این ماده آلی پرخطر، انجام دهد. ضمناً و کمک به کشورها PCBs روش‌های جدیدی برای امحاء برای شناسایی منابع آنها ارائه گردد (۱). تاکنون و طی دو کنوانسیون بین‌المللی ژنو و استکهلم دستورالعمل‌ها و تأکیدات خاصی در خصوص چگونگی نگهداری و سرعت عمل در امحاء این مواد ارائه شده و برنامه جهانی محیط‌زیست سازمان ملل متحد نیز هر ساله با پایش این مواد در سرتاسر جهان، شرایط و نحوه برخورد با آنها را کنترل و توصیه‌های لازم را به عمل می‌آورد. طبق کنوانسیون استکهلم سوئد مقرر شد تا سال ۲۰۱۰ در کشورهای اروپایی و پیشرفته تا سال ۲۰۱۵ به‌صورت منطقه‌ای (مانند خاورمیانه) و تا سال ۲۰۲۵ در کل دنیا روغن آسکارل جمع‌آوری و امحاء شود (۴).

## موارد کاربرد ترکیبات PCBs

استفاده زیاد در سطح گسترده از PCBs در سرتاسر جهان سبب شده که در مناطق صنعتی، این مواد با تمرکز بیشتری یافت شوند. این ترکیبات در دستگاه‌های تبدیل حرارتی، هیدرولیکی، روغن‌های روان‌کننده، آفت‌کش‌ها، لوازم‌آرایی، رنگ‌کاری و تولید رنگ‌ها، تولید چسب، پلاستیک‌سازی، کاغذهای کپی بدون کربن و در صنایع الکتریکی مانند خازن‌سازی، روغن‌های ترانسفورماتور، کلیدهای قطع کننده و لامپ‌های فلورسنت کاربرد دارند (۵-۷). این روغن‌ها با نام‌های تجاری مختلفی نظیر کلرکستول<sup>۱</sup> از کارخانه آلیس چالمرز، کلوفن<sup>۲</sup> از کارخانه فابریکن بایر آلمان، دیکانول<sup>۳</sup> از شرکت فدرال پاسیفیک الکتریک آلمان، آپیرولیک<sup>۴</sup> از شرکت فدرال

<sup>1</sup> Chlorextol

<sup>2</sup> Clophen

<sup>3</sup> Dykanol

<sup>4</sup> Apiroliq

به دلیل خاصیت خورندگی این ترکیبات، احتمال نشت آنها به محیط زیست بسیار زیاد است. PCBs، بلافاصله در محیط زیست تجزیه نمی‌شوند، بنابراین برای دوره‌های طولانی در محیط می‌مانند و فاصله زیادی را در هوا می‌توانند طی کنند (۱). پایداری زیادی در مقابل عوامل تجزیه‌کننده طبیعی و بیولوژیکی دارند؛ بنابراین ماندگاری آنها در طبیعت زیاد و تهدیدکننده محیط زیست (در برگ‌ها و بخش‌های هوایی گیاهان، در بدن موجودات ریز و ماهی‌ها تجمع می‌یابند و باعث خفگی و سوء-تغذیه و سیری کاذب لاک‌پشت‌ها، پرندگان و حیوانات می‌شود) می‌باشند (۶). در آب، مقدار کمی از PCBs ممکن است به صورت محلول بماند، اما بیشتر به ذرات آلی و لایه‌های زیرین مواد ته‌نشین شده می‌چسبند (۵، ۸).

ترکیبات PCB در زنجیره غذایی آبی بیشتر از خاکی منتقل می‌شوند. لذا بیشترین غلظت این ترکیبات در محیط‌های طبیعی، پستانداران دریایی، پرندگان ماهی‌خوار و ماهیان گزارش شده است. این ترکیبات در بدن موجودات، تجمع زیستی پیدا می‌کنند و در نتیجه مردمی که از این مواد غذایی استفاده می‌کنند در معرض PCBs قرار می‌گیرند (۹). موجیبو رحمان و همکاران در سال ۲۰۰۰ در تحقیقی با عنوان، فناوری تخریب برای پلی کلرو بی فنیل‌ها به معرفی آمار مربوط به PCBs، منابع PCBs و POPs و اولویت‌ها و چالش‌های محیطی و فناوری‌های کاهش و تخریب آنها پرداخته‌اند (۱۰). کولین و بلیچ<sup>۸</sup> در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی با عنوان آلودگی ناشی از پلی-کلرو بی فنیل‌ها و مواد ضد حریق برومیناته (BFRs) موجود در کشتی‌ها بیان نمودند که علاوه بر فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، راه‌های دیگر برای قرار گرفتن در معرض PCBs و BFRs، وقوع حوادثی مانند آتش‌سوزی، برخورد کشتی یا آسیب رسیدن به بار کشتی‌ها است (۹). نمونه‌ای از این موارد، حادثه‌ای بود که در یک کشتی حامل زباله‌های صنعتی در سال ۲۰۱۴ رخ داد. این کشتی به منظور دفع ترکیبات PCBs با ۱۹ کانتینر ترانسفورماتور معیوب از بندر بانکوک تایلند در طول سفر یک ترانسفورماتور شکست و حدود ۴۰۰ لیتر روغن حاوی آروکلر،

پاسیفیک الکتریک ایتالیا، فنکلر<sup>۱</sup> و اینرتین<sup>۲</sup> از شرکت ویستینگ‌هاوس آمریکا، کانکلر<sup>۳</sup> از شرکت صنعتی شیمیایی کانگا فوجی ژاپن، فنوکلر<sup>۴</sup> از شرکت پرلک انگلستان، ساوتل<sup>۵</sup> و سل-ول<sup>۶</sup> روسیه و سانتوترم<sup>۷</sup> از شرکت میتسوبیشی مونسانتو ژاپن در بازار موجود بوده و استفاده می‌گردند (۷). در مطالعه حاضر به مروری بر ترکیبات PCBs در محیط زیست، اثرات بهداشتی، روش‌های شناسایی و امحاء آن می‌پردازیم.

## روش کار

این مطالعه مروری با جستجو در پایگاه‌های معتبر ایرانی و بین‌المللی مانند Elsevier، Springer، PubMed، Magiran، CIVILICA، SID، Google Scholar و با استفاده از کلیدواژه‌های انگلیسی مانند، Polychlorinated Biphenyls Environment, Health Effect, Water Contamination, degradation Remediation و با کلیدواژه‌های فارسی شامل بی فنیل‌های پلی کلرینه (PCBs)، محیط زیست، اثرات بهداشتی، آلودگی آب، امحاء در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۰ جمع‌آوری و تدوین شده است. در مروری بر مطالعات حدود ۹۰ عنوان در جستجوی اولیه به دست آمده که بعد از مطالعه خلاصه مقالات، کتاب، استانداردها و راهنماها، ۲۱ مورد مقاله، کتاب و راهنمای انگلیسی و ۷ مقاله فارسی که با هدف اصلی این مطالعه همخوانی داشت و در متن آن به ترکیبات PCBs در محیط زیست یا اثرات بهداشتی یا روش‌های شناسایی و امحاء آن پرداخته بود، انتخاب گردید.

## یافته‌ها

### ۱- اثرات ترکیبات PCBs

#### ۱-۱- حضور در محیط زیست

- <sup>1</sup> Fenclor
- <sup>2</sup> Inerteen
- <sup>3</sup> Kanechlor
- <sup>4</sup> Phenochlor
- <sup>5</sup> Sovtol
- <sup>6</sup> Solvol
- <sup>7</sup> Santotherm

<sup>8</sup> Čulin & Bielić

بریکت و لستر در سال ۲۰۰۳ در کتاب فرآیند تصفیه مواد مختل کننده هورمونی در فاضلاب و لجن، حد مجاز غلظت کل PCBs در لجن برای استفاده روی زمین را ۰/۸ میلی-گرم بر کیلوگرم توصیه و میانگین غلظت کل PCBs گزارش شده در لجن فاضلاب بر اساس مطالعات مختلف را بیان نمودند که در جدول ۱ قابل ملاحظه است (۵).

یکی از ترکیبات PCBs که به صورت تجاری توسط مونساتو تولید شده بود، نشت کرد. متأسفانه، در طول عملیات بازیابی محموله، اعضای خدمه به دلیل نداشتن لباس‌های محافظ در یک دوره کوتاه مدت از طریق استنشاق و نفوذ پوستی تا حد زیادی در معرض PCBs قرار گرفتند. علاوه بر این، از آنجا که آنها در عرشه خوابیدند تا از گرمای بالای داخل کابین در امان بمانند، در معرض PCBs تبخیری از محموله باز نیز قرار گرفتند (۹).

جدول ۱- میانگین غلظت گزارش شده کل PCBs در مطالعات انجام شده بر روی لجن فاضلاب

کشور	محدوده غلظت گزارش شده (mg/kg)	کشور	محدوده غلظت گزارش شده (mg/kg)
آمریکا	۰/۱۵-۳/۶	هلند	۰/۶-۶/۶
کانادا	۰/۱۳-۱/۶۳	سوئیس	۰/۵-۸
انگلستان	۰/۰۲-۰/۴۶	آلمان	۰/۳۶-۷/۶
	۰/۰۱-۲۱/۵		۰/۵۲-۱۵/۲
	۰/۳		۱/۳۸-۶/۶۵

عوارض می‌توان به آسیب به استخوان‌ها و تولد زودرس و رشد کند مغزی اشاره کرد (۴، ۹).

### ۱-۲- اثر PCBs بر انسان

در سال ۱۹۶۸، سیزده هزار نفر از اهالی فوکاگا و ناکازاکی از مناطق غرب ژاپن در اثر استفاده از برنج آلوده به روغن حاوی PCBs با غلظت حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ ppm به بیماری بنام یوشو دچار شدند (۱۱). مشابه همین اتفاق در سال ۱۹۷۸ در تایوان رخ داد و بیماری بنام یوچنگ (که شبیه بیماری یوشو بود) حادث گردید (۱۲). از علائم بیماری می‌توان به سستی، خستگی، صدمات کلیوی، تهوع، آسیب دیدن پلک‌ها، استفراغ، هیپرکراتوزیس، سیاه شدن پوست، ادم بازوها، ماهیچه‌ها و صورت، تخریب و تورم کبد، شکستگی دندان‌ها و غیره اشاره کرد (۱۱، ۱۲). رهنمودهای آب آشامیدنی اروپا، غلظت حداکثر مجاز برای کل آفت‌کش‌ها و هر ترکیب آفت‌کش را به ترتیب ۵/۰ ppb و ۱/۰ ppb تعیین نموده و کل آفت‌کش‌ها را به صورت آفت‌کش‌های اصلی و محصولات مربوط به آنها بیان می‌کنند که شامل حشره‌کش‌ها (ترکیبات ارگانوکلره مقاوم و

شایع‌ترین عوارض مشاهده شده در افرادی که در معرض سطح بالایی از PCBs قرار می‌گیرند، عوارض پوستی مانند آکنه و جوش است. تحقیقات بر کارگرانی که در معرض PCBs قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد که تغییراتی در خون و ادرار آنها وجود دارد که سبب آسیب به کبد آنها خواهد شد. نشانه‌های شایع شامل ضایعات پوستی و چشمی، قاعدگی نامنظم و کاهش سطح ایمنی بدن می‌باشند. دیگر نشانه‌ها شامل خستگی، سردرد، سرفه، زخم‌های پوستی و غیرمعمول است (۱۱).

زنانی که در معرض سطح بالایی از PCBs قرار گرفته‌اند و یا از ماهی‌های آلوده به PCB مصرف کرده‌اند، نوزادان کم‌وزن‌تر از دیگر زنان به دنیا آورده‌اند و نوزادان پاسخ‌های غیرطبیعی در تست رفتاریشان نشان داده‌اند. برخی از این رفتارها مانند مشکلات حرکتی و کاهش حافظه کوتاه‌مدت می‌باشد. از دیگر

## ۱-۳- اثر PCBs بر حیوانات

می‌شوند. در ژاپن، ۴۰۰۰۰۰ پرند در سال ۱۹۶۸، پس از خوردن مواد غذایی آلوده به PCBs مردند. حیواناتی که مقدار کمتری از غذای آلوده به PCBs را بیش از چندین هفته یا ماه مصرف کردند، دچار عوارض مختلفی از جمله کم‌خونی، آکنه و آسیب‌های کبد، معده و غده تیروئید شدند. سایر اثرات PCBs در حیوانات شامل تغییر در سیستم ایمنی بدن، تغییر رفتاری و اختلال در تولیدمثل می‌باشد (۱۵). همچنین در حیوانات آزمایشگاهی مواردی مانند تورم ریوی، اثرات تخریبی روی کبد و مواردی در خصوص سرطان پوست، خون، کبد، دستگاه تنفس و غدد لنفاوی نیز گزارش گردیده است (۱۶، ۱۷).

## ۱-۴- خواص فیزیکی و شیمیایی PCBs

ترکیبات PCBs بی‌بو، بی‌مزه و زرد رنگ می‌باشند. از لحاظ تئوری، ۲۰۹ ترکیب PCB وجود دارد که تنها ۱۳۰ نوع از آنها جنبه تجاری دارند (۱۸). در جدول ۲ ترکیبات PCBs لیست شده‌اند (۱۹). PCBs قابلیت حلالیت بالا در بیشتر حلال‌های آلی، روغن‌ها و چربی‌ها دارند (۱۸، ۱۹). همچنین خاصیت هدایت حرارتی بالا، مقاومت بالا در برابر اکسیداسیون و نقطه اشتعال بالا (از ۱۷۰ تا ۳۸۰ درجه سلسیوس) و خاصیت دی‌الکتریک بالا دارند. از آب سنگین تر ( $D=1/56$ ) بوده، در گلیسرین و گلیکول‌ها حل نمی‌شود و تا درجه حرارت ۱۵۰- ۱۲۰۰ درجه سلسیوس نمی‌سوزد. جاذب رطوبت بوده و بر مواد آلی تأثیر گذاشته و موجب از بین رفتن آنها مثل چوب، کاغذ و... می‌شوند. رنگ‌ها و لاستیک‌ها در مقابل آن دچار فرسودگی می‌شوند. PCBs به آسانی در پوست، پلی‌ونیل‌کلراید (PVC) و لاتکس نفوذ می‌کنند (۸). تعاریف PCBs از نظر آلودگی مطابق جدول ۳ می‌باشد (۴).

کاربامات‌ها)، گیاه‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، PCBs و پلی کلروترفنیل‌ها (PCTs) می‌شوند (۱۳).

سازمان حفاظت محیط‌زیست و دپارتمان بهداشت عمومی ایالت اورگان در آمریکا، در سال ۲۰۱۵، حداکثر میزان PCBs در آب آشامیدنی را PPT500 توصیه می‌نماید و علاوه بر آشامیدن به دلیل تجمع این ترکیبات در خاک، غلظت بیش از این مقدار را برای آبیاری درختان مناسب نمی‌داند. همچنین، چون این ترکیبات می‌توانند از طریق پوست به بدن نفوذ کنند، غلظت بیشتری از مقدار یادشده را برای حمام نمودن، شنا، شستن ظروف، آماده‌سازی غذا، شستشو و تمیز نمودن لباس و برای مصرف حیوانات و احشام نیز ممنوع نموده است (۱۴). این دپارتمان همچنین غلظت بالاتر از آن را برای سلامتی مضر دانسته و اعلام می‌نماید مقدار بیش از این باعث آکنه و راش، اختلال در عمل کلیه و کبد، افسردگی و خستگی، آبریزش بینی و حساسیت دستگاه تنفس، افزایش ریسک ابتلا به سرطان و اختلال رشد کودکان می‌شود (۱۴). بریکت و لستر، در سال ۲۰۰۳ بیان کردند که انسان عموماً از طریق غذا، بخصوص ماهی و محصولات دریایی و چربی حیوانی در معرض PCBs قرار گرفته و با اشاره به ۲۰۷ نوع PCB، آنها را دارای خواص هیدروفوبیک و لیپوفیلیک و قابل رسوب در لجن فاضلاب معرفی نموده‌اند (۵). کولین و بلیچ در سال ۲۰۱۵، علائم مرتبط با قرار گرفتن در معرض PCB برای اعضای خدمه کشتی را بروز عارضه‌های کهپیر شکل بر روی پوست و بروز عارضه‌های کبدی ذکر نمودند (۹).

حیواناتی که مواد غذایی آغشته به PCBs را حتی برای مدت کوتاه می‌خورند، دچار بیماری‌های کبدی و مرگ

جدول ۲- ترکیبات PCBs

PCB Homolog	CASRN	Cl Substituents	Number of Congeners
Biphenyl	92-52-4	0	1
Mono Chloro Biphenyl	27323-18-8 1 3	1	3
Di Chloro Biphenyl	25512-42-9 2 12	2	12
Tri Chloro Biphenyl	25323-68-6 3 24	3	24
Tetra Chloro Biphenyl	26914-33-0 4 42	4	42
Penta Chloro Biphenyl	25429-29-2 5 46	5	46
Hexa Chloro Biphenyl	26601-64-9 6 42	6	42
Hepta Chloro Biphenyl	28655-71-2 7 24	7	24
Octa Chloro Biphenyl	55722-26-4 8 12	8	12
Nona Chloro Biphenyl	53742-07-7 9 3	9	3
Deca Chloro Biphenyl	2051-24-3	10	1

جدول ۳- تعاریف PCBs

اصطلاح	تعریف
بدون PCB	هر مایع موجود در تجهیزات الکتریکی و هر مورد دیگری که غلظت PCB اندازه گیری شده در آن کمتر از ۵۰ PPM باشد، بدون PCB در نظر گرفته می شود.
آلوده به PCB	هر روغن یا مایعی که غلظت PCB اندازه گیری شده در آن بیشتر از ۵۰ PPM و کمتر از ۵۰۰ PPM باشد، به عنوان آلوده به PCB معرفی می گردد.
PCB (آسکارل)	هر مایعی که غلظت PCB اندازه گیری شده در آن مساوی یا بیشتر از ۵۰۰ PPM باشد، به عنوان مورد PCB یا آسکارل تعریف می شود.
تجهیزات آلوده به PCB	موارد آلوده به PCB شامل همه تجهیزات حاوی PCB (برای مثال ترانسفورماتورها، موتورهای الکتریکی، پمپها و لولهها) و مخازن (مانند پکیجها، قوطیها، بطریها، تانکها و دیگر تجهیزاتی که حاوی PCB یا مواردی که سطح آنها در تماس با PCB باشند) و ... که غلظت PCB آنها ۵۰ PPM تا ۵۰۰ PPM باشد. اقلامی (مانند کانتینرها، روغن، آب، خاک، تجهیزات حفاظت فردی) که در تماس با PCB باشند، به عنوان اقلام آلوده به PCB تعریف می شوند.



نمونه در ظرفی که اشعه ایکس می‌تواند از آن عبور کند، قرار داده می‌شود. به نمونه، یک طول موج خاص تابانده می‌شود، اگر مولکول PCB موجود باشد، تابشی متفاوت اما مشخص (تابش فلورسانس) منتشر می‌شود. از روی شدت نور منتشر شده می‌توان مقدار کل کلر را اندازه گرفت. این مقدار کلر را می‌توان به مقدار PCB (برحسب ppm) تبدیل کرد (۱، ۲).

#### ۲-۴- روش اندازه‌گیری PCBs در روغن توسط GC:

یک کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز ربایش الکترونی (ECD) پیچیده و دقیق‌ترین سیستمی است که می‌تواند شناسایی PCB موجود در روغن را امکان‌پذیر سازد. آشکارساز ECD به ترکیبات حاوی کلر مثل PCB بسیار حساس است. بنابراین هنگامی که این حساسیت بالا با تفکیک قابل قبول GC ترکیب می‌شود، شیمیدان می‌تواند مقدار PCB موجود را مشخص کند و همچنین می‌تواند مشخص کند که کدام آرکولار خاص، در روغن موجود است. این روش دارای حد تشخیص پایین خاص PCB است. وقتی نمونه‌ها با منابع کلرید غیر از PCB آلوده شده باشند، فقط از این روش می‌توان استفاده کرد؛ اگرچه گران و وقت‌گیر است و به فرد متخصص و آزمایشگاه نیاز دارد (۱، ۲، ۵، ۲۰).

#### ۳- روش‌های امحاء PCBs

روش‌های معدوم‌سازی و امحاء را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود: ۱- فیزیکی؛ ۲- میکروبی و ۳- شیمیایی.

#### ۳-۱- روش‌های فیزیکی:

۳-۱-۱- زباله‌سوز: اگرچه ترکیبات PCBs به‌خودی‌خود نمی‌سوزند، ولی تحت شرایط کنترلی دقیق و شدید می‌سوزند. مقررات فعلی برای ترکیبات PCBs، سوزاندن در دمای ۱۲۰۰°C برای حداقل زمان ۲ ثانیه در حضور اکسیژن اضافی و سوخت نفتی است؛ زیرا در صورت فقدان اکسیژن، سبب ایجاد گازهای دیوکسین، PCDFs و PCDDs و یا امحاء ناقص PCB می‌شود. در این روش هزینه ساخت، نگهداری و تأمین سوخت این نوع کوره‌ها گران‌قیمت و هزینه‌بر است و برای

#### ۲- روش‌های اندازه‌گیری ترکیبات PCBs

چهار روش عمده و متفاوت اندازه‌گیری PCB در روغن ترانسفورماتور وجود دارد. اولین روش، یک روش شیمیایی است که تخمین نهایی به‌صورت رنگ‌سنجی صورت می‌گیرد. دومین روش، اندازه‌گیری الکترومتری است. سومین روش فلورسانس اشعه X و چهارمین روش گاز کروماتوگرافی<sup>۱</sup> (GC) است (۱، ۲، ۵).

#### ۲-۱- روش شیمیایی برای تعیین PCBs در روغن با

#### تخمین رنگ‌سنجی:

در این روش، نمونه در ابتدا با ترکیبی از سدیم واکنش داده می‌شود در نتیجه یون کلرید آزاد می‌شود. کلرید آزاد شده سپس به داخل یک‌فاز مایه کشانده شده و در آنجا با یک واکنشگر رنگی اندازه‌گیری می‌شود. در معمول‌ترین روش، مقدار مشخصی از نیترات جیوه II اضافه و سپس مقدار کمی دی‌فنیل‌کاربازون اضافه می‌شود. این ترکیب با یون جیوه II یکرنگ ارغوانی تولید می‌کند. اگر بعد از واکنش جیوه با کلر، جیوه آزاد مانده باشد، رنگ ارغوانی تولید می‌شود و در صورتی که تمام جیوه مصرف‌شده باشد، هیچ رنگی تولید نمی‌شود (۱، ۲).

#### ۲-۲- روش اندازه‌گیری PCBs در روغن به روش

#### الکتروشیمیایی:

نمونه با واکنشگر خاصی (با اساس سدیم) ترکیب داده می‌شود تا یون کلرید آزاد شود. سپس مقدار کلرید آزاد شده توسط الکتروکود انتخاب‌گر یون کلرید اندازه‌گیری می‌شود. آنگاه مقدار کلر اندازه‌گیری شده را به میزان PCB نسبت می‌دهند که این موضوع یکی از منابع خطای این روش است (۱، ۲).

#### ۲-۳- روش اندازه‌گیری PCBs با فلورسانس اشعه

X:

<sup>1</sup> Gas Chromatography

### ۳-۳-۳- روش تجزیه مولکولی ترکیبات PCBs از طریق واکنش‌های شیمیایی

فرایندهای شیمیایی تجزیه مولکول‌های PCBs، خود چند روش را در برمی‌گیرند که از جمله آنها می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود:

### ۳-۳-۱- تجزیه ترکیبات PCBs با یک اکسیدکننده جامد در حضور اسید قوی

در این روش، ترکیبات آلی هالوژنه در حضور یک اسید قوی (معمولاً اسید سولفوریک غلیظ) با عامل اکسیدکننده جامد واکنش داده و در اثر این واکنش، پیوند کربن-هالوژن شکسته شده و خاصیت سمی شدید این ترکیبات از بین می‌رود. در این روش، راندمان‌های بالاتر از ۹۹ درصد حاصل شده است. ولی در عین حال با توجه به مشکلات فرایندی از جمله ایجاد محیط شدیداً خورنده، شرایط خطرناک کاری، هزینه بالای مواد مصرفی و ایجاد حجم بالایی از ضایعات شیمیایی این فرایند در توسعه به مقیاس صنعتی موفقیت چندانی نداشته است (۱۱، ۲۵).

### ۳-۳-۲- معدوم‌سازی ترکیبات PCBs از طریق واکنش با ترکیبات فلزات قلیایی

اساس این روش، واکنش یک فلز قلیایی نظیر سدیم (به‌عنوان یک احیاکننده قوی) با ترکیبات PCBs است که در اثر این واکنش کلرور سدیم و پلیمر بی‌فنیل تشکیل می‌گردد. با توجه به خطرات کار با سدیم جامد (خالص)، این روش اصلاح شده و در حال حاضر از ترکیبات سدیم یا (پتاسیم) پلی‌اتیلن گلیکول به‌عنوان عامل قلیایی استفاده می‌شود. اشکال عمده این روش، درجه حرارت بالای مورد نیاز است که ضمن مشکل کردن عملیات، موجب از بین رفتن مشخصات فنی روغن‌های عایق شده و روغن‌های تصفیه‌شده، قابل استفاده مجدد در کاربرد قبلی نخواهند بود (۱۱).

### ۳-۳-۳- معدوم‌سازی ترکیبات PCBs با استفاده از امواج UV و یک الکل حاوی سدیم هیدروکسید

تجهیزات آلوده به PCB و مایعات آلوده مناسب، ولی برای خاک آلوده مناسب نمی‌باشد (۵، ۲۱).

۳-۱-۲- روش اولتراسوند<sup>۱</sup>: این روش، مشابه فرآیند احتراق است، امواج با توان بالای مافوق صوت به آب اعمال شده و ایجاد حباب می‌کند. در فشار و دمای بالا PCBs تخریب می‌شود. دمای آب تحت تجزیه حرارتی، بالا رفته و PCBs به مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و هیدروکربن‌ها مانند بی‌فنیل و کلر آزاد اکسید می‌شود (۱، ۱۱).

۳-۱-۳- تابش: مخلوط‌های PCBs در معرض تابش اشعه گاما قرار می‌گیرند و در نتیجه PCB، دی‌کلرینه می‌شود و به اشکال بی‌فنیل و کلرید معدنی درمی‌آید (۲۲).

۳-۱-۴- پیرولیز: امحاء PCBs به روش پیرولیز با استفاده از فرآیند قوس پلاسما مانند سوزاندن و استفاده از گرما انجام می‌شود. با این حال، برخلاف سوزاندن، هیچ احتراقی وجود ندارد. زنجیره مولکولی بلند با دمای بسیار بالا توسط یک قوس الکتریکی در یک محیط بی‌اثر شکسته می‌شوند (۱، ۵، ۱۱، ۲۲).

### ۳-۲- روش میکروبی:

در این روش، از میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تجزیه PCBs هستند، استفاده می‌کنند. به‌طور کلی، این موجودات به یکی از دو روش ذکر شده، عمل می‌کنند. آنها یا از PCBs به‌عنوان منبع کربن استفاده می‌کنند یا با جایگزینی کلر با هیدروژن در ساختار بی‌فنیل، برای تخریب PCBs استفاده می‌کنند. با این حال، مشکلات قابل توجهی در این روش وجود دارد. اول اینکه این میکروارگانیسم‌ها تمایل دارند به‌صورت بسیار گزینشی در دی‌کلرینه‌شدن شرکت کنند و برای دی‌کلرینه کردن در شرایط پارا و متا با اولویت عمل می‌کنند. دوم اینکه تخریب میکروبی در مقایسه با روش‌های دیگر به آهستگی بر PCBs به‌عنوان آلوده‌کننده خاک اثر می‌گذارد (۵، ۲۳، ۲۴). پسودوموناس، آکالیژنس، آرتروباکتر و اسیتوباکتر عامل تغییر فرآیند لجن فعال و کاهش تعداد کلر در PCBs و تخریبش اعلام شد (۵).

<sup>1</sup> Ultrasound



در این روش، هیدروکربن‌های هالوژنه در یک محیط بسته با یک ماده پارامغناطیس مانند بستری از پودر آهن تماس داده شده و در همین حال بستر در معرض تشعشع امواج میکروویو با شدت بالا قرار می‌گیرد. این عمل باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی در سطح فلز می‌شود که در نتیجه آن، انرژی کینتیکی الکترون‌های آزاد روی سطح فلز افزایش یافته و در نهایت واکنش شیمیایی به وسیله انتقال الکترون از سطح فلز به ترکیب آلی انجام می‌پذیرد. به این ترتیب، انتقال الکترون باعث انجام یک واکنش کلرزدایی از ترکیب آلی شده و طی یکسری واکنش زنجیری، ترکیب ارگانیک به طور کامل تجزیه شده و به آب و دی‌اکسید کربن تجزیه می‌گردد. آنیون کلر ایجاد شده نیز با پودر آهن واکنش داده و تولید کلرید آهن می‌کند. مزیت مهم این روش، سهولت جداسازی محصولات واکنش و عدم ایجاد هیچ گونه ترکیبات سمی خطرناک طی واکنش می‌باشد؛ اما راندمان پایین آن مانع مهمی در جهت توسعه این فرایند به مقیاس صنعتی می‌باشد (۱)، (۲۵).

#### بحث

۱- پیشنهاد روش‌های حذف و امحاء؛ مطالعات صورت گرفته جهانی به ترتیب زمانی بدین شرح می‌باشد:

رحمان<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۰ در تحقیقی، فناوری تخریب برای پلی‌کلروبی‌فنیل‌ها، روش‌های سوزاندن در دمای بالا، سیمانی کردن، اکسیداسیون فوق‌العاده بحرانی، اکسیداسیون الکتروشیمیایی، فناوری الکترونی حل شده با فرآیند تجزیه، تجزیه پایه کاتالیزور، پیرولیز فلزی، اکسیداسیون نمک خرد شده، قوس پلاسما، هیدروژن کاتالیستی تکنولوژی اولتراسونیک، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته، استخراج حلال، دهالوژناسیون شیمیایی تجزیه رادیولیتیک، ردیابی خورشیدی تجزیه فوتوشیمیایی، فناوری مجتمع حرارتی، رسوب دمایی کاتالیزوری را توصیه نموده است (۱۱). جیسون بریکت و جان لستر، در سال ۲۰۰۳، روش‌های حذف هوازی و بی‌هوازی توسط

در این روش، ترکیبات PCBs پس از انحلال در یک الکل حاوی سدیم هیدروکسید، در معرض تابش اشعه UV منتشره از یک لامپ جیوه‌ای با طول موج ۲۵۴ nm قرار می‌گیرند و این امر موجب تحریک اتم‌های کلر و واکنش آنها با هیدروکسید سدیم می‌شود. بر اساس ادعای ابداع‌کننده این روش (شرکت توشیبا ژاپن)، راندمان آن بیش از ۹۹/۹ درصد می‌باشد (۲).

#### ۳-۳-۴- معدوم‌سازی ترکیبات PCBs با استفاده از اشعه ماوراءبنفش و میکروارگانیسیم‌ها

شرکت میتسویشی یک فرایند معدوم‌سازی مرکب شامل دو مرحله استفاده از اشعه UV و تجزیه بیولوژیکی توسط میکروارگانیسیم‌ها ابداع کرده است. طی این فرایند که شامل دو روز تابش اشعه UV و چهار روز واکنش میکروارگانیسیم‌ها می‌باشد، غلظت PCBs در روغن آلوده به حدود ۳ ppb کاهش یافته است (۱).

#### ۳-۴-۵- حذف PCBs در آب با گرانول کربن فعال<sup>۱</sup> (GAC):

EPA<sup>۲</sup> بهترین تکنولوژی در دسترس<sup>۳</sup> (BAT) جهت تصفیه آب آشامیدنی را حذف PCBs با گرانول کربن فعال (GAC) و فرآیند تصفیه را به وسیله جذب معرفی نموده است (۵، ۱۳).

#### ۳-۴-۶- حذف PCBs با اشعه فرابنفش<sup>۴</sup> (UV):

حذف PCBs با اشعه فرابنفش و با کمک اکسیداسیون پیشرفته<sup>۵</sup> (AO) که با توجه به زنجیره کلر PCBs با UV تا مدت ۳۰۰ دقیقه فتولیز می‌شود (۵).

#### ۳-۴-۷- معدوم‌سازی ترکیبات PCBs با استفاده از اشعه مایکروویو بر روی بستر فلزی:

<sup>1</sup> Granule Activated Carbon  
<sup>2</sup> Environmental Protection Agency  
<sup>3</sup> Best Available technology  
<sup>4</sup> Ultra violet  
<sup>5</sup> Advance Oxidation

<sup>6</sup>Rahuman

لاستیک و تیوپ‌های فشرده، عایق‌های حرارتی، از جمله فایبر گلاس، فوم و چوب‌پنبه، رگولاتورهای ولتاژ، سوئیچ بوردها، باز بندها، بوشینگ‌ها و الکترومگنت‌ها، تجهیزات الکترونیکی، تابلوهای برق و کنسول‌ها، چسب‌ها و نوارها، رنگ‌های روغنی، سرامیک‌ها، لاستیک‌های انعطاف‌پذیر، پایه چوب‌لباسی، پلاستیک، روغن مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی و موتورها، واگن‌های لنگر، دستگاه‌های هیدرولیکی، ترانسفورماتورها، خازن‌ها و تجهیزات الکترونیکی دارای خازن‌ها و ترانسفورماتورها وجود داشته باشند و کشتی‌ها را یکی از منابع بالقوه خطرناک برای محیط آبی بیان نمودند و بهترین راه را بازیافت کشتی‌های فرسوده قبل از اسقاط عنوان نمودند (۹).

## ۲- پیشنهاد روش‌های حذف و امحاء؛ مطالعات صورت گرفته در ایران به ترتیب زمانی بدین شرح می‌باشد:

احمدی و بزرگر علمداری در سال ۱۳۸۴ به بررسی تأثیر توان اشعه میکروویو و مشخصات کاتالیست Pd/Fe بر واکنش تجزیه ترکیبات PCBs پرداختند و راندمان حذف بیش از ۹۷٪ را اعلام نمودند و انجام این فرآیند را در مقیاس نیمه‌صنعتی با ظرفیت پاک‌سازی ۲۰۰-۱۰۰ لیتر در ساعت روغن آلوده امکان پذیر دانستند (۲۷).

تیموری و همکاران در سال ۱۳۸۷، به بررسی میزان بازدارندگی روغن حاوی PCBs بر روی بیومس هوازی پرداختند. این مطالعه از نوع تجربی مداخله‌ای بود که در آن تجزیه‌پذیری روغن حاوی PCBs در و یال‌های ناپیوسته (Batch) به روش هوازی و با استفاده از روغن ترانسفورماتورهای واحد برق کارخانه ذوب‌آهن اصفهان که حاوی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر PCBs بود، مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین حذف (۹۰ درصد COD) در حضور نیم میلی لیتر روغن (PCBs) به غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر) برای نمونه‌های حاوی استن و به‌ویژه در نمونه‌های انتقال‌یافته حاوی خاک مشاهده شد. همچنین در این نمونه‌ها رشد باکتری‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها ۷۵٪ بیشتر بود (۲۴).

میکروارگانیزم‌های لجن فعال را نام‌برده و برای حذف PCBs از لجن، علاوه بر فرآیند حرارتی دو روش دیگر شامل ۱- حذف PCBs توسط GAC (گرانول کربن فعال) و فرآیند جذب و ۲- حذف PCBs با UV و همچنین به کمک اکسیداسیون پیشرفته (AO) (که با توجه به زنجیره کلر PCBs با UV تا مدت ۳۰۰ دقیقه فتولیز می‌شود) را هم آورده است (۵).

ری ساتو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۴ در مطالعه‌ای که بر روی آب‌های شمال شرقی منطقه ساؤپائولو برزیل انجام دادند، میزان ۷ نوع از ترکیبات PCBs را اندازه‌گیری و اعلام نمودند. مقدار ترکیبات دی، تری، تترا کلروبی‌فنیل به ترتیب ۷/۲، ۷/۸ و ۷/۸ درصد را در مناطق ۲ و ۳ این ناحیه تشکیل می‌دادند که این امر نشان می‌داد ترکیباتی که دارای کلر کمتری در ترکیب خود هستند بهتر در آب حل می‌شوند و مقادیرشان بیشتر از سایر ترکیبات PCBs می‌باشد (۲۶). سیمون پارسونز و بروس جفرسون، در سال ۲۰۰۹، کربن فعال را بهترین فناوری در دسترس برای حذف آفت‌کش‌ها معرفی نمودند و بیان کردند که ظرفیت جذب کربن فعال برای حذف آفت‌کش‌ها تحت تأثیر غلظت و خواص فیزیکی / شیمیایی آلاینده، به علاوه میزان بارگذاری و زمان خالی شدن بستر (Empety Bed (EBT) Time قرار دارد (۱۳). دپارتمان بهداشت عمومی ایالت اورگان در آمریکا در سال ۲۰۱۵، برای تصفیه و کاهش PCBs در آب به کمتر از ۵۰۰ PPT، فیلتر کربن فعال گرانوله در محل مصرف آب (POU) را توصیه می‌نماید (۱۴).

کولین و بلیچ در سال ۲۰۱۵ در تحقیق با عنوان، آلودگی ناشی از پلی‌کلرو بی‌فنیل‌ها و مواد ضد اشتعال برومیناته (BFRs) موجود در کشتی‌ها، بیان نمودند مقدار PCBs موجود در یک کشتی تجاری معمولی، بین ۲۵۰ و ۸۰۰ کیلوگرم متفاوت است. پتانسیل آلودگی توسط PCBs در طول فعالیت‌های ناوبری کشتی نیز وجود دارد؛ یعنی بسیاری از کشتی‌ها قبل از ممنوعیت و محدود کردن استفاده از PCBs تولید شده‌اند. از این رو PCBs می‌تواند در بسیاری از مواد و اقسام کشتی‌ها مانند کابل عایق،

<sup>1</sup> Rissato

نگهداری می‌شد (۴). در وزارت نیرو (سازمان توانیر) برای حذف PCBs از روش شیمیایی (از سدیم) استفاده شده است. این روش فرآیند دومرحله‌ای است: مرحله اول PCB زدایی و مرحله دوم شامل مراحل فیزیکی و شیمیایی برای بازیابی روغن است (۴).

### نتیجه‌گیری:

بر اساس یافته‌ها، اثرات ترکیبات PCBs بر محیط‌زیست، انسان و حیوانات و تجمع در مواد غذایی زیاد بوده و لذا نیاز بود که کلیه روش‌های اندازه‌گیری و پایش، معدوم‌سازی و امحاء مطالعه و به‌ترتیب‌شان معرفی گردند. در بحث اندازه‌گیری و پایش این ترکیبات که چهار روش عمده و متفاوت اندازه‌گیری با مزایا و معایبشان معرفی گردید که از این چهار روش "روش اندازه‌گیری PCBs در روغن توسط GC" دارای حد تشخیص پایین خاص PCBs است. وقتی نمونه‌ها با منابع کلرید غیر از PCBs آلوده شده باشند، فقط از این روش می‌توان استفاده کرد؛ اگرچه گران و وقت‌گیر بوده و به فرد متخصص و آزمایشگاه نیاز دارد. در مورد روش‌های امحاء PCBs روش‌های معدوم‌سازی و امحاء را می‌توان به سه دسته فیزیکی، میکروبی و شیمیایی تقسیم نمود. هرکدام از این دسته‌ها خود به چند روش تقسیم می‌شوند که دسته فیزیکی به چهار روش سوزاندن در زباله‌سوز، اولتراسوند، تابش و پیرولیز انجام می‌گیرد و هرکدام مزایا و معایبی دارند. به نظر محققین این تحقیق، هر چهار روش فیزیکی در حال حاضر به روش‌های میکروبی و شیمیایی برتری دارند. برای تصفیه و کاهش PCBs در آب به کمتر از PPT<sup>1</sup> (۵۰۰ در حال حاضر بهترین تکنولوژی در دسترس، فیلتر کربن فعال گرانوله بوده و در محل مصرف آب (POU) توصیه می‌گردد. برای حذف PCBs از لجن، علاوه بر فرآیند حرارتی دو روش دیگر شامل حذف PCBs توسط گرانول کربن فعال (GAC) و فرآیند جذب و همچنین حذف PCBs با UV و به کمک اکسیداسیون پیشرفته که با توجه به زنجیره کلر PCBs با UV تا مدت ۳۰۰ دقیقه فتولیز می‌شود. برای حذف PCBs

اسماعیلی و همکاریان در سال ۱۳۹۴ در تحقیقی به شناسایی و اندازه‌گیری ترکیبات PCBs در خلیج فارس، منطقه پارس جنوبی پرداختند و نتایج میانگین ترکیبات PCBs در ایستگاه‌های بندر عسلویه، سایت کنگان، پتروشیمی مهر، پتروکیمیا، پالایشگاه چهارم پارس جنوبی، بندر طاهری و پلیمر آریاساسول به ترتیب ۹۹/۳، ۱۰۵/۵، ۱۱۰/۸، ۱۱۷، ۱۲۳، ۱۳۰ نانوگرم بر لیتر گزارش نمودند. مقایسه ۶ ایستگاه مطالعاتی نشان داد که ایستگاه پلیمر آریاساسول میزان آلودگی بیشتری را به خود اختصاص داده است (۲۰).

خدابخشی و همکاریان در سال ۱۳۹۶، به بررسی حذف بی‌فیل-های پلی کلرینه با استفاده از نانولوله کربن تک جداره پرداختند. نتایج این مطالعه که بر اساس مدل‌سازی و استفاده از روش‌های نیمه تجربی بود، حاکی از آن است که واکنش جذب شیمیایی PCB-153 و حذف آن با استفاده از نانولوله کربنی مورد بررسی، به‌طور خودبه‌خودی انجام‌پذیر است و این نانولوله زیگراگ می‌تواند ابزار مناسبی جهت ردیابی و تجزیه آلاینده مذکور باشد (۲۸).

### ۳- وضعیت PCBs و روش‌های امحاء آن در ایران:

جمهوری اسلامی ایران در گزارش وضعیت PCBs به کنوانسیون استکهلم، سال ۲۰۰۵ مجموع تعداد تجهیزات حاوی PCBs را ۱۰۲۰۰ عدد و وزن تجهیزات آلوده به PCBs را ۱۱۰۰۰ تن گزارش نموده که در این آمار بیشترین میزان PCB و تجهیزات آلوده به PCB مربوط به وزارت نیرو اعلام شده است (۴). همچنین مجتمع مس سرچشمه در سال ۱۳۸۸ مواد آلوده به PCB و روغن‌های حاوی آسکارل را جمع‌آوری، بسته‌بندی و به کشور فرانسه ارسال نمود تا در کارخانه امحای مواد خطرناک Tredi که از روش فوق پیشرفته سوزاندن با دمای بالا<sup>۱</sup> برای از بین بردن مواد PCBs استفاده می‌کند، معدوم شود. در مجتمع مس سرچشمه تا پیش از آن تاریخ، روغن‌های آسکارل و سایر مواد آلوده به PCBs در سلول‌های بتونی که ۸۵ درصد آنها در عمق زمین قرار دارند و با ایزوگام، سیمان و کاشی عایق شده‌اند

<sup>1</sup> Incineration High Temperature

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

موجود در کشتی‌ها، بهترین راه بازیافت کشتی‌های فرسوده قبل از اسقاط پیشنهاد شده است.

### تقدیر و تشکر

از کلیه همکاریانی که ما را در گردآوری مقالات همکاری نموده اند سپاسگزاریم.

### References

1. Daneshyar A, Sadeqasadi A, N. S. PCBs Combinations Management and Methods for Eliminating Them. Second National Conference on Environmental Conservation and Planning; Hamadan- Iran. Iran: Hamadan- Iran; 2013;11(2):.123-45
2. Wong KH, Wong PK. Degradation of Polychlorinated Biphenyls by UV-Catalyzed Photolysis. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2006;12(2):259-69.
3. Pahlavanpoor B., LG. Problems and solutions to work with PCBs. Electrical Industry Monthly. 2000;56(1):44-50.
4. Qaderi S, Jalili M, Iran THT. PCB in the environment and its dangers. The 5th National Conference and Exhibition on Environmental Engineering; Tehran- Iran 2010.57-78
5. Lester JN, Birkett JW. Endocrine disrupters in wastewater and sludge treatment processes: CRC Press. 2002;32(5):1122-39.
6. Rudel RA, Seryak LM, Brody JG. PCB-containing wood floor finish is a likely source of elevated PCBs in residents' blood, household air and dust: a case study of exposure. Environmental Health. 2008;7(1):2.
7. Rae I, Brown P. Managing the intractable: Communicative structures for management of hexachlorobenzene and other scheduled wastes. Journal of environmental management. 2009;90(4):1583-92.
8. Kamba E, Itodo A, Ogah E. Test for solid phase extracted polychlorinated Biphenyls (PCBs) level in transformer oil. American journal of electrical power and energy systems. 2013;2(3):57-65.
9. Čulin J, Bielić T. Ship-source pollution by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants. Pomorstvo. 2015;29(1):90-4.
10. Rahuman M, Pistone L, Trifirò F, Miertus S, editors. Destruction technologies for polychlorinated biphenyls (PCBs). Proceedings of Expert Group Meetings on POPs and Pesticides Contamination. 2000;16(6):405-23.
11. Bandiera S, Farrell K, Mason G, Kelley M, Romkes M, Bannister R, et al. Comparative toxicities of the polychlorinated dibenzofuran (PCDF) and biphenyl (PCB) mixtures which persist in Yusho victims. Chemosphere. 1984;13(4):507-12.
12. Perlman GD, Berman L, Bing KLL. DIRECT FROM ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry Brownfields/Land-Reuse Site Tool. Journal of environmental health. 2012;75(5):30-5.
13. Parsons SA, Jefferson B. Introduction to potable water treatment processes: Blackwell publishing. 2006;12(2):145-59.
14. Genga JD, Sheehan ME, Concannon MA, Nash PT. Designing a Water Filtration Device to Remove Chemical and Biological Contamination in Mandi District. 2018;34(7):320-41.
15. Suzuki T, Kobayashi H. Contamination of rice bran oil with PCB used as the heating medium by leakage through penetration holes at the heating coil tube in deodorization chamber. Hatamura Institute for the Advancement of Technology. 2007;65(6):230-53
16. March A.. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs) <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp17.pdf>. 2000.

17. Kraus T, Gube M, Lang J, Esser A, Sturm W, Fimm B, et al. Surveillance program for former PCB-exposed workers of a transformer and capacitor recycling company, family members, employees of surrounding companies, and area residents—executive summary. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2012;75(19):1241-62.
18. Porta M, Zumeta E. Implementing the Stockholm treaty on persistent organic pollutants. BMJ Publishing Group Ltd; 2002.
19. Yamazaki K, Suzuki M, Itoh T, Yamamoto K, Kanemitsu M, Matsumura C, et al. Structural basis of species differences between human and experimental animal CYP1A1s in metabolism of 3, 4', 5-pentachlorobiphenyl. *The Journal of Biochemistry*. 2011;149(4):487-94.
20. Telli-Karakoç F, Tolun L, Henkelmann B, Klimm C, Okay O, Schramm K-W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay. *Environmental Pollution*. 2002;119(3):383-97.
21. Perales J, Sales D, Quiroga J. Standard specification for chlorinated aromatic hydrocarbons (Askarels) for transformers. *J Chem Toxicol*. 1991;11(4):123-31.
22. Mincher B, Arbon R, Meikrantz D. High energy decomposition of halogenated hydrocarbons FY93 final report. EG and G Idaho, Inc. Idaho Falls, ID (United States). 1993;23(5):23-41.
23. Woods SL, Trobaugh DJ, Carter KJ. Polychlorinated biphenyl reductive dechlorination by vitamin B12s: Thermodynamics and regiospecificity. *Environmental science & technology*. 1999;33(6):857-63.
24. Teymoori F NM, Amin M M, Molayi R. Investigating the inhibitory effect of oil containing PCBs on aerobic biomass. The 11th National Conference on Environmental Health Zahedan-Iran. 2008;8(6):54-66
25. 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.
26. Ross G. The public health implications of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2004;59(3):275-91.
27. Ahmadi S A BBIoteomrpaPFccoPdrTtIPSC. "Investigation of the effect of microwave radiation power and Pd / Fe catalyst characterization on PCBs decomposition reaction". The 20th International Power System Conference (PSC 2005). 2006;23(6):112-21
28. Khodabakhshi A KA, Mousavi S E. Investigation of PCBs Removed by single walled carbon nanotube. *J Shahrekord Univ Med Sci* (2017); 19(5): 60-70.

## An overview on PCBs in the environment, their health effects, identifying and removal methods

Abolghasem Alighardashi (PhD)<sup>1</sup>, Maryam Mirabi (PhD)<sup>1</sup>, Gholam Ali Haghghat (PhD Student)<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department civil, water and environment faculty, shahid beheshti university, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Instructor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Jiroft University of Medical Sciences, Jiroft, Iran

<sup>3</sup> PHD Student, Department civil, water and environment faculty, shahid beheshti university, Tehran, Iran

### Abstract

**Introduction:** PCBs are chemical resistant and biodegradable compounds which can have harmful effects on human health and the environment. These compounds are used in thermal, hydraulic, lubricating, pesticides, cosmetics, paint and paint products, adhesives, plastics, carbonless paper and electrical industries such as capacitors, transformer oils, disconnectors and fluorescent lamps. In the present study, we will review the PCBs composition in the environment, their health effects, identifying and removal methods.

**Methods:** this review study was conducted by searching in Iranian and international high validity indexes of Elsevier, Springer, PubMed, Magiran, google scholar, SID, CIVILICA, using English keywords of: Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Environment, Health Effect, Water Contamination, degradation, Remediation and Persian keywords of: PBCs, environment, health effects, water pollution, removal during 1980-2017.

**Results:** results were categorized and compared in four sections of: effects of PCBs (effects on the environment, human and animals), physical and chemical properties, measurement methods (four main chemical methods, final estimation of colorimetry, electrometry, X-ray fluorescence and gas chromatography) and removal methods of PCBs compounds (three main physicals, microbial and chemical groups).

**Conclusion:** according to the findings, the effect of PCBs compounds on the environment, human and animals, and their accumulation in the food stuffs was high and therefore it is necessary to be measured and monitored continuously and disintegration and disposal is the best controlling way. Finally, the best method for removal of PCBs in water, sewage, sludge and ships has been introduced.

**KeyWord:** Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Environment, Health Effect Water Contamination

**Corresponding Author:** Gholam Ali Haghghat [Haghghat.gholamali@gmail.com](mailto:Haghghat.gholamali@gmail.com)

**Mobile:** +98-09171841765

**Fax:** +98-34-43310968

**Received:** 11.jan.2019

**Accepted:** 26.may.2019

► Please cite this article as follows

Alighardashi A, Mirabi M, Haghghat Gh A. An overview on PCBs in the environment, their health effects, identifying and removal methods. Journal of Jiroft University of Medical Sciences. 2019; 6 (1):87-100