# مروری بر ترکیبات PCBs در محیط‌زیست، اثرات بهداشتی، روش‌های شناسایی و امحاء آن

**ابوالقاسم علی قارداشی[۱]، مریم میرابی[۱]، غلامعلی حقیقت[۳*و۲]**

۱-استادیار، گروه محیط‌زیست- 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 محیط‌زیست- آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

## خلاصه

**مقدمه:** پلی کلروبی فنیل‌ها (PCBs) ترکیب‌های شیمیایی مقاوم و زیست تخریب ناپذیری هستند که می‌توانند آثار زیانباری بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشند. این ترکیبات در دستگاه‌های تبدیل حرارتی، هیدرولیکی، روغن‌های روشن‌کننده، آفت‌کش‌ها، لوازم‌آرایشی، رنگ‌کاری و تولید رنگ‌ها، تولید چسب، پلاستیک‌سازی، کاغذهای کپی بدون کربن و در صنایع الکتریکی مانند خازن‌دار، روغن‌های ترانسفورماتور، کلیدهای قطع کننده و لامپ‌های فلورسنت کاربرد دارند. در مطالعه حاضر به مروری بر ترکیبات PCBs در محیط‌زیست، اثرات بهداشتی، روش‌های شناسایی و امحاء آن پرداخته‌شده است.

**روش کار:** این مطالعه مروری با جستجو در پایگاه‌های معتبر ایرانی و بین‌المللی Elsevier، Springer، PubMed، Magiran، google scholar، SID، CIVILICA با استفاده از کلیدواژه‌های انگلیسی مانند Polychlorinated Biphenyls (PCBs)، Environment، Health Effect، Water Contamination، degradation، Remediation و با کلیدواژه‌های فارسی شامل بی فنیل‌های پلی کلرینه (PCBs)، محیط‌زیست، اثرات بهداشتی، آلودگی آب، امحاء در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۰ جمع‌آوری و موردبررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج در چهار بخش اثرات ترکیبات PCBs (اثر بر محیط‌زیست، انسان و حیوانات)، خواص فیزیکی و شیمیایی، روش‌های اندازه‌گیری (چهار روش عمده شیمیایی تخمین نهایی رنگ‌سنجی، الکترومتری، فلورسانس اشعه ایکس و گاز کروماتوگرافی) و روش‌های امحاء ترکیبات PCBs (سه دسته عمده فیزیکی، میکروبی و شیمیایی) مقایسه، دسته‌بندی و ارائه گردید.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس یافته‌ها، اثرات ترکیبات PCBs بر محیط‌زیست، انسان و حیوانات و تجمع در مواد غذایی زیاد بوده و لذا نیاز به اندازه‌گیری و پایش مداوم، معدوم‌سازی و امحاء این ترکیبات و ارزیابی و معرفی بهترین راه انجام آن می‌باشد. درنهایت، برای حذف PCBs موجود در آب، فاضلاب، لجن و کشتی‌ها نیز بهترین روش معرفی گردیده است.

**کلیدواژگان:** پلی‌کلرو بی‌فنیل‌ها (PCBs)، محیط‌زیست، اثرات بهداشتی، آلودگی آب

***نویسنده مسئول:** غلامعلی حقیقت Haghighat.gholamali@gmail.com

**موبایل:** ۰۹۰۱۳۶۱۸۰۳۷ **نمابر:** ۰۳۴۴۳۳۱۰۹۶۸

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

➢ **لطفاً به مقاله به شکل زیر استناد کنید**

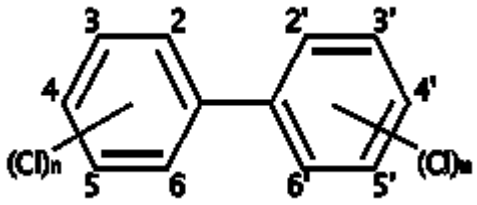
علی قارداشی ا، میرابی م، حقیقت غ. مروری بر ترکیبات PCBs در محیط‌زیست، اثرات بهداشتی، روشهای شناسایی و امحاء آن. مجله دانشگاه علوم پزشکی جیرفت، تابستان ۱۳۹۸؛ ۶ (۱):۱۰۰-۸۷

**مجله دانشگاه علوم پزشکی جیرفت/ دوره ششم، شماره یک، تابستان ۱۳۹۸ صفحه ۸۷ تا ۱۰۰**

[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

## مقدمه

پلیکلروب فنیل‌ها (PCBs) دسته‌ای از هیدروکربن‌ها هستند که از دو حلقه بنزنی (حلقه بی فنیل) و استخلاف‌های جانبی کلر بر روی آن تشکیل‌شده‌اند. 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 انواعی از ترکیبات کلروبنزن ($C_6H_3CO_3$) بوده و از واکنش بین کلر و دی فنیل‌ها به‌دست می‌آید (شکل ۱).




شکل ۱- فرمول شیمیایی پلی‌کلرینیتد بی فنیل‌ها

این روغن¬های نسوز مصنوعی که اغلب بانام تجاری روغن آسکارل شناخته می‌شوند، به‌عنوان مایع خنک¬کننده و عایق در تجهیزات الکتریکی از قبیل ترانسفورماتور، خازن و سایر تجهیزات کاربرد وسیعی دارند (۲). خیلی زود مشخص شد ترکیب¬های شیمیایی مقاوم و PCBsپلی کلروبی فنی‌ها 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، ازجمله مکان¬هایی که بسیار دور از مراکز تهیه و مصرف آنها از سال PCBsبوده¬اند 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 قابل‌توجهی 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 بین¬المللی حقوق بشر در نوزدهمین کنفرانس خود در فوریه ) قرارداد. ۱۹۹۷POPs 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( برخورد هماهنگ در ارتباط با این ماده شیمیایی آلی مخاطره‌آمیز باشد در کشورها تشکیل شود. علاوه براین، کنفرانس از سازمان ملل درخواست کرد که یک سری اقدامات فوری درباره اطلاعات و اصلاح اطلاعات در دسترس PCBsموجود در ارتباط با فروش در مورد جایگزین‌های این ماده آلی پرخطر، انجام دهد. ضمناً و کمک به کشورها PCBsروش¬های جدیدی برای امحاء برای شناسایی منابع آنها ارائه گردد (۱). تاکنون و طی دو کنوانسیون بین‌المللی ژنو و استکهلم دستورالعمل¬ها و تأکیدات خاصی در خصوص چگونگی نگهداری و سرعت عمل در امحای این مواد ارائه‌شده و برنامه جهانی محیط‌زیست سازمان ملل متحد نیز هرساله با پایش این مواد در سرتاسر جهان، شرایط و نحوه برخورد با آنها را کنترل و توصیه¬های لازم را به عمل می‌آورد. طبق کنوانسیون استکهلم سوئد مقرر شد تا سال ۲۰۱۰ در کشورهای اروپایی و پیشرفته تا سال ۲۰۱۵ به‌صورت منطقه¬ای (مانند خاورمیانه) و تا سال ۲۰۲۵ در کل دنیا روغن آسکارل جمع¬آوری 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 روان¬کننده، آفت‌کش‌ها، لوازم‌آرایشی، رنگ¬کاری و تولید رنگ‌ها، تولید چسب، پلاستیک¬سازی، کاغذهای کپی بدون کربن و در صنایع الکتریکی مانند خازن¬سازی، روغن‌های ترانسفورماتور، کلیدهای قطع کننده و لامپ‌های فلورسنت کاربرد دارند (۵-۷). این روغن‌ها با نام‌های تجاری مختلفی نظیر کلرکستول[1] از کارخانه آلیس چالمرز، کلوفن[2] از کارخانه فابریکن بایر آلمان، دیکانول[3] از شرکت فدرال پاسیفیک الکتریک آلمان، آپیرولیک[4] از شرکت فدرال

[1] Chlorextol
[2] Clophen
[3] Dykanol
[4] Apiroliq



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

پاسیفیک الکتریک ایتالیا، فنکلر[1] و اینرتین[2] از شرکت ویستینگهاوس آمریکا، کانکلر[3] از شرکت صنعتی شیمیایی کانگا فوچی ژاپن، فنوکلر[4] از شرکت پرلک انگلستان، ساوتل[5] و سل-ول[6] روسیه و سانتوترم[7] از شرکت میتسوبیشی مونسانتو ژاپن در بازار موجود بوده و استفاده می‌گردند (۷). در مطالعه حاضر به مروری بر ترکیبات PCBs در محیط‌زیست، 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، Google Scholar، SID، CIVILICA و با استفاده از کلیدواژه‌های انگلیسی مانند, Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Environment, Health Effect, Water Contamination, degradation Remediation و با کلیدواژه‌های فارسی شامل بی فنیل‌های پلی کلرینه (PCBs)، محیط‌زیست، 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 به‌دست‌آمده که بعد از مطالعه خلاصه مقالات، کتاب، استانداردها و راهنماها، ۲۱ مورد مقاله، کتاب و راهنمای انگلیسی و ۷ مقاله فارسی که باهدف اصلی این مطالعه همخوانی داشت و در متن آن به ترکیبات PCBs در محیط‌زیست یا اثرات بهداشتی یا روش‌های شناسایی و امحاء آن پرداخته بود، انتخاب گردید.

## یافته‌ها

### ۱-اثرات ترکیبات PCBs

### ۱-۱- حضور در محیط‌زیست

به دلیل خاصیت خورندگی این ترکیبات، احتمال نشت آنها به محیط‌زیست بسیار زیاد است. PCBs، بلافاصله در محیط‌زیست 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 محیط‌زیست (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 به‌صورت 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 گزارش‌شده است. این ترکیبات در بدن موجودات، تجمع زیستی پیدا می‌کنند و درنتیجه 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[8] 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 PCBsو 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 به‌منظور 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،

[1] Fenclor
[2] Inerteen
[3] Kanechlor
[4] Phenochlor
[5] Sovtol
[6] Solvol
[7] Santotherm
[8] Čulin & Bielić



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

یکی از ترکیبات PCBs که به‌صورت تجاری توسط مونسانتو تولیدشده 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، ازآنجاکه آنها در عرشه خوابیدند تا از گرمای بالای داخل کابین در امان بمانند، در معرض PCBs تبخیری از محموله باز نیز قرار گرفتند (۹).

بریکت و لستر در سال ۲۰۰۳ در کتاب فرآیند تصفیه مواد مختل‌کننده 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 گزارش‌شده در لجن فاضلاب بر اساس مطالعات مختلف را بیان نمودند که در جدول ۱ قابل‌ملاحظه است (۵).

جدول ۱- میانگین غلظت گزارش‌شده کل PCBs در مطالعات انجام‌شده بر روی لجن فاضلاب

| کشور | محدوده غلظت گزارش‌شده (mg/kg) | کشور | محدوده غلظت گزارش‌شده (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| **آمریکا** | ۰/۱۵-۳/۶ | هلند | ۰/۶-۶/۶ |
| **کانادا** | ۰/۱۳-۱/۶۳ | سوییس | ۰/۵-۸ |
| **انگلستان** | ۰/۰۲-۰/۴۶ | | ۰/۳۶-۷/۶ |
| | ۰/۰۱-۲۱/۵ | آلمان | 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

شایع‌ترین عوارض مشاهده‌شده 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 قرارگرفته‌اند 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 قرارگرفته‌اند 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

در سال ۱۹۶۸، سیزده هزار نفر از اهالی فوکاکا 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، ماهیچه¬ها 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 5/0 ppb و 1/0 ppb تعیین نموده و کل آفت‌کش‌ها را به‌صورت آفت‌کش‌های اصلی و محصولات مربوط به آنها بیان می‌کنند که شامل حشره‌کش‌ها (ترکیبات ارگانوکلره مقاوم و



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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، آماده¬سازی 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 قرارگرفته 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 عارضه¬های کهیر شکل بر روی پوست و بروز عارضه¬های کبدی ذکر نمودند (۹).

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

### ۱-۳-اثر PCBs بر حیوانات

می‌شوند. در ژاپن، ۴۰۰۰۰۰ پرنده 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 ازجمله کم¬خونی، 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 زردرنگ می‌باشند. ازلحاظ تئوری، ۲۰۹ ترکیب PCB وجود دارد که تنها ۱۳۰ نوع از آنها جنبه تجاری دارند (۱۸). در جدول ۲ ترکیبات PCBs لیست شده¬اند (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 سنگین‌تر (=D۱/۵۶) بوده، در گلیسیرین و گلیکول‌ها حل نمی‌شود و تا درجه حرارت ۱۵۰۰-۱۲۰۰ 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 به‌آسانی در پوست، پلی‌ونیل‌کلراید (PVC) و لاتکس نفوذ می‌کنند (۸). تعاریف PCBs ازنظر آلودگی مطابق جدول ۳ می‌باشد (۴).



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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 گیری‌شده در آن کمتر از ۵۰ PPM باشد، بدون PCB در نظر گرفته می‌شوند. |
| آلوده به PCB | هر روغن یا مایعی که غلظت PCB اندازه گیری‌شده در آن بیشتر از ۵۰ PPM و کمتر از ۵۰۰ PPM باشد، به‌عنوان آلوده به PCB معرفی می‌گردد. |
| PCB (آسکارل) | هر مایعی که غلظت PCB اندازه گیری‌شده در آن مساوی یا بیشتر از ۵۰۰ PPM باشد، به‌عنوان مورد PCB یا آسکارل تعریف می‌شود. |
| تجهیزات آلوده به PCB | موارد آلوده به PCB شامل همه تجهیزات حاوی PCB (برای مثال ترانسفورماتورها، موتورهای الکتریکی، پمپ‌ها ولوله‌ها) 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 ۵۰PPM تا ۵۰۰PPM باشد. اقلامی (مانند کانتینرها، روغن، آب، خاک، تجهیزات حفاظت فردی) که در تماس با PCB باشند، به‌عنوان اقلام آلوده به PCB تعریف می‌شوند. |



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

## 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[1] (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 درنتیجه یون کلرید آزاد می‌شود. کلرید آزادشده سپس به داخل یک‌فاز مایی 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 درصورتی‌که 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 آزادشده ت ۹۲ الکترود انتخاب‌گر یون کلرید اندازه‌گیری می‌شود. آنگاه مقدار کلر اندازه‌گیری‌شده 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:

نمونه در ظرفی که اشعه ایکس می‌تواند از آن عبور کند، قرارداده می‌شود. به نمونه، یک طول موج خاص تابانده می‌شود، اگر مولکولPCB موجود باشد، تابشی متفاوت اما مشخص (تابش فلورسانس) منتشر می‌شود. از روی شدت نور منتشرشده 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 PCBموجود در روغن را امکان‌پذیر سازد. آشکارساز ECD به ترکیبات حاوی کلر مثل PCB بسیار حساس است. بنابراین هنگامی که این حساسیت بالا با تفکیک قابل‌قبول GCترکیب 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 PCBآلوده‌شده 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

[1] Gas Chromatography



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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

**۳-۱-۲-روش اولتراسوند[1]:** این روش، مشابه فرآیند احتراق است، امواج با توان بالای مافوق صوت به آب اعمال‌شده 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 درنتیجه 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. بااین‌حال، 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. به‌طورکلی، این موجودات به یکی از دو روش ذکرشده، 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. بااین‌حال، مشکلات قابل‌توجهی در این روش وجود دارد. اول اینکه این میکروارگانیسم‌ها تمایل دارند به‌صورت بسیار گزینشی در دی‌کلرینه‌شدن شرکت کنند و برای دی‌کلرینه‌کردن 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، آلکالیژنس، آرتروباکتر و اسینتوباکتر عامل تغییر فرآیند لجن فعال و کاهش تعداد کلر در PCBs و تخریبش اعلام شد (۵).

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

فرایندهای شیمیایی تجزیه مولکول‌های PCBs، خود چند روش را در برمی‌گیرند که ازجمله 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 حاصل‌شده است. ولی درعین‌حال با توجه به مشکلات فرایندی ازجمله 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 اصلاح‌شده و در حال حاضر از ترکیبات سدیم یا (پتاسیم) پلی‌اتیلن گلیکول به‌عنوان عامل قلیایی استفاده می‌شود. اشکال عمده این روش، درجه حرارت بالای موردنیاز است که ضمن مشکل کردن عملیات، موجب از بین رفتن مشخصات فنی روغن‌های عایق شده و روغن‌های تصفیه‌شده، قابل‌استفاده مجدد در کاربرد قبلی نخواهند بود (۱۱).

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

[1] Ultrasound



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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 میکروارگانیسم‌ها

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

### ۳-۴-۵-حذف PCBs در آب با گرانول کربن فعال[1] (GAC):

EPA[2] بهترین تکنولوژی در دسترس[3] (BAT) جهت تصفیه آب آشامیدنی را حذف PCBs با گرانول کربن فعال (GAC) و فرآیند تصفیه را به‌وسیله جذب معرفی نموده است (۵، ۱۳).

### ۳-۴-۶- حذف PCBs با اشعه فرابنفش[4] (UV):

حذف PCBs با اشعه فرابنفش و با کمک اکسیداسیون پیشرفته[5] (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 مایکرویو بر روی بستر فلزی:

در این روش، هیدروکربن‌های هالوژنه در یک محیط بسته با یک ماده پارامغناطیس مانند بستری از پودر آهن تماس داده‌شده 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 درنتیجه آن، انرژی کینتیکی الکترون‌های آزاد روی سطح فلز افزایش‌یافته و درنهایت 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 به‌طور کامل تجزیه‌شده و به آب و دی‌اکسید کربن تجزیه می‌گردد. آنیون کلر ایجادشده نیز با پودر آهن واکنش داده و تولید کلرید آهن می‌کند. مزیت مهم این روش، سهولت جداسازی محصولات واکنش و عدم ایجاد هیچ‌گونه 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[6] 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 حل‌شده با فرآیند تجزیه، تجزیه پایه کاتالیزور، پیرولیز فلزی، اکسیداسیون نمک خردشده، 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

[1] Granule Activated Carbon
[2] Environmental Protection Agency
[3] Best Available technology
[4] Ultra violet
[5] Advance Oxidation
[6] Rahuman



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

میکروارگانیسم‌های 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[1] و همکاران در سال ۲۰۰۴ در مطالعه‌ای که بر روی آب‌های شمال شرقی منطقه سائوپائولو برزیل انجام دادند، میزان ۷ نوع از ترکیبات PCBs را اندازه‌گیری و اعلام نمودند. مقدار ترکیبات دی، تری، تترا کلروبی‌فنیل به ترتیب ۶/۷، ۷/۲ 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 مقدارشان 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، به‌علاوه میزان بارگذاری و زمان خالی شدن بستر (EBT) Empety Bed Time قرار دارد (۱۳). دپارتمان بهداشت عمومی ایالت اورگان در آمریکا در سال ۲۰۱۵، برای تصفیه و کاهش PCBs در آب به کمتر از PPt ۵۰۰، 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 تولیدشده‌اند. ازاین‌رو PCBs می‌تواند در بسیاری از مواد و اقلام کشتی‌ها مانند کابل عایق، لاستیک و تیوپ‌های فشرده، عایق‌های حرارتی، ازجمله 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 مورداستفاده 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 برزگر 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، موردبررسی قرارگرفت. 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).

[1] Rissato



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

اسماعیلی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در تحقیقی به شناسایی و اندازه‌گیری ترکیبات PCBs در خلیج‌فارس، 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 همکاران در سال ۱۳۹۶، به بررسی حذف بی‌فنیل-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 موردبررسی، به‌طور خودبه‌خودی انجام‌پذیر است و این نانولوله زیگزاگ 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 اعلام‌شده 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[1] 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 نگهداری می‌شد (۴). در وزارت نیرو (سازمان توانیر) برای حذف PCBs از روش شیمیایی (از سدیم) استفاده‌شده 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 بهترینشان 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 آلوده‌شده 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 ۵۰۰، در حال حاضر بهترین تکنولوژی در دسترس، فیلتر کربن فعال گرانوله بوده و در محل مصرف آب (POU) توصیه می-گردد. 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

[1] Incineration High Temperature



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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

## تقدیر و تشکر

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

## تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان‌نشده است.

## 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- Iran2010.57-78
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.



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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, ۹۹ 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.



[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

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

**Abolghasem Alighardashi (PhD) [1], Maryam Mirabi (PhD) [1], Gholam Ali Haghighat (PhD Student) [2, 3*]**

[1] Associate Professor, Department civil, water and environment faculty, shahid beheshti university, Tehran, Iran
[2] Instructor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Jiroft University of Medical Sciences, Jiroft, Iran

[3] 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 Haghighat **Haghighat.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, Haghighat 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

**مجله دانشگاه علوم پزشکی جیرفت/ دوره ششم، شماره یک، تابستان ۱۳۹۸ صفحه ۸۷ تا ۱۰۰**

[ Downloaded from journal.jmu.ac.ir on 2026-11-11 ]