

## شناسایی منبع و ارزیابی خطر سلامت ترکیبات پلی کلره بی فنیل (PCBs) در خاک سطحی اطراف مجتمع دفع و پردازش پسماند جامد شهری آرادکوه تهران

سیده مریم محمدی، بهاره لرستانی\*، سهیل سبحان اردکانی، مهرداد چراغی و مریم کیانی صدرا<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۶)

### چکیده

با توجه به نیم عمر و پایداری نسبتاً طولانی مدت آلاینده‌های آلی دیرپا در محیط و آثار نامطلوب این ترکیبات بر سلامت انسان و محیط، این مطالعه با هدف شناسایی، تعیین مقادیر، منشأیابی و ارزیابی خطر سلامت ترکیبات پلی کلره بی فنیل (PCBs) در نمونه‌های خاک سطحی مجاورت مجتمع پردازش و بازیافت آرادکوه تهران در سال ۱۳۹۹ انجام شد. بدین منظور، در مجموع ۳۰ نمونه خاک سطحی از ۱۰ ایستگاه نمونه برداری واقع در مجاور مجتمع آرادکوه جمع‌آوری شد. پس از استخراج آنالیت‌ها، از روش کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) برای شناسایی و تعیین محتوی PCBها استفاده شد. نتایج بیانگر شناسایی ۱۵ ترکیب PCB در نمونه‌ها بود. همچنین، کمینسه، بیشینه و میانگین غلظت مجموع PCBها به ترتیب برابر با ۲۶۹، ۴۳۴ و ۳۵۹ میکروگرم در کیلوگرم بود. از طرفی، با توجه به نتایج آزمون تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و همچنین سهم زیاد غلظت همولوگ‌های سبک از کل غلظت ترکیبات PCB شناسایی شده در نمونه‌ها، می‌توان وجود ترکیبات PCB در نمونه‌ها را احتمالاً با فرایند احتراق ترکیبات حاوی اتم کلر مرتبط دانست. مقادیر فاکتور سرطان‌زایی ناشی از قرارگرفتن در معرض PCB۱۰۵ به‌عنوان تنها ترکیب PCB شناسایی شده در نمونه‌های خاک واجد عامل هم‌ارزی سمیت (TEF) نشان داد که مواجهه با خاک آلوده، منجر به سرطان‌زایی متوسط ناشی از ترکیب PCB۱۰۵ خواهد شد. با توجه به مخاطرات ناشی از ترکیبات PCB، شناسایی، تعیین محتوا، منشأیابی و نظارت منظم و دوره‌ای این ترکیبات در محیط‌های مختلف و تلاش برای کنترل و کاهش آلودگی آنها به منظور حفظ سلامت محیط و شهروندان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مرکز پردازش و دفن بهداشتی آرادکوه، خاک سطحی، زباله جامد شهری، ترکیبات پلی کلره بی فنیل، تهران

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: lorestanib@iauh.ac.ir

## مقدمه

امروزه مسئله آلودگی خاک به واسطه آن که بیشتر از ۹۰ درصد غذای انسان در خاک تولید می‌شود، نگرانی جدی در سطح جهان ایجاد کرده است (۲۶). در مسئله آلودگی خاک، آلاینده‌های سمی با پایداری زیاد، نیم‌عمر زیاد، عدم تجزیه‌پذیری زیستی و قابلیت تجمع در بافت‌های بدن، ضمن ایجاد اثرات نامطلوب بر کیفیت خاک، می‌توانند منجر به افت کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی شده و سلامت انسان را نیز با خطر مواجه نمایند. در این خصوص، به‌جز آلاینده‌های معدنی، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و ترکیبات پلی‌کلره بی‌فنیل از اهمیت بسزایی برخوردارند (۶ و ۲۷).

بی‌فنیل‌های چندکلره دسته‌ای از مواد شیمیایی آلی و جزء آلاینده‌های شغلی و محیط‌زیستی بسیار خطرناک محسوب می‌شوند که از دهه ۱۹۳۰ تا ۱۹۹۰ در حجم بسیار زیادی تولید شده و به‌دلیل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی منحصر به فرد خود در سطحی وسیع به‌عنوان دی‌الکتریک در خازن‌ها، مایعات هیدرولیک در ابزارهای هیدرولیکی، روغن ترانسفورمر، مواد پوشش‌دهنده سطح، چسب‌ها، آفت‌کش‌ها، کاغذهای کپی بدون کربن، جوهرها، موم‌ها و رنگ‌ها در صنعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۳۷).

معاهده آلاینده‌های آلی دیرپا، بی‌فنیل‌های چندکلره را در فهرست مواد شیمیایی اولویت‌دار برای حذف تدریجی تا سال ۲۰۲۵ قرار داده است. ترکیبات PCB بر حسب تعداد اتم کلر در ساختار مولکولی شامل ۲۰۹ گونه (Congener) را شامل می‌شوند که تمام شکل‌های آن در طبیعت شناخته نشده است. به‌طور کلی، از مهم‌ترین خواص این ترکیبات می‌توان به مقاومت حرارتی و شیمیایی خیلی زیاد، هدایت حرارتی خیلی زیاد، هدایت الکتریکی کم، غیر قابل انفجار بودن، نقطه اشتعال بالا، قابلیت حلالیت کم در آب و به‌راحتی قابل حل در حلال‌های آلی اشاره کرد. همچنین، از جمله مهم‌ترین دلایلی که دفع ایمن و جلوگیری از به‌کارگیری این مواد را ضروری می‌سازد، می‌توان به غیرقابل تجزیه زیستی بودن و پایداری این

ترکیبات در محیط، جذب پوستی، استنشاقی و گوارشی و در نتیجه انتقال از طریق جریان خون به بافت‌های کبد، ماهیچه و چربی و به‌تبع تجمع در آن‌ها و حلالیت کم در آب اشاره کرد (۳۳).

گازهای متصاعدشده و شیرابه‌های نشت‌یافته از محل‌های دفن زباله جامد شهری منبع ورود بسیاری از سموم و ترکیبات آلی سرطان‌زا به‌ویژه انواع PCBها که ترکیباتی دیرپا، با قابلیت تجمع‌زیستی، آبگریز و متمایل به ایجاد پیوند با ذرات آلی خاک هستند، به محیط است. بنابراین، لندفیل‌ها ممکن است خطر قابل توجهی برای بوم‌سازگان‌های طبیعی از جمله خاک ایجاد کرده و منجر به کاهش مناطق مستعد برای کشاورزی شود. از این‌رو، مدیریت صحیح پسماند یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی است که باید در حوزه حفاظت از محیط‌زیست مورد توجه قرار گیرد (۲۵).

در حال حاضر، روزانه بیشتر از ۸۰۰۰ تن انواع پسماند تولیدشده در شهر تهران، شهرک و شهرهای اقماری و مراکز بهداشتی و درمانی و صنعتی برای امحا و دفع به مجتمع پردازش و بازیافت زباله آرادکوه ارسال می‌شود. این درحالی است که افزایش ظرفیت این مکان و همین‌طور حجم زیاد زباله‌های ارسالی به آرادکوه موجب بروز مشکلات محیط‌زیستی بسیاری برای شهر تهران و محیط اطراف آن شده است. به‌طوری که، با وجود اتمام ظرفیت این مجتمع و وجود مشکلات عدیده برای پذیرش زباله‌های بیشتر، ارتفاع برخی از کوه‌های زباله در این مجتمع به ۶۰ متر نیز می‌رسد (۲۳).

هرچند تاکنون چندین مطالعه برای بررسی محتوی PCBs در نمونه‌های مختلف از جمله لجن (۱۸)، رسوبات (۳۲)، اتمسفر (۴)، آب (۲۸) و خاک (۳۷) انجام شده است، ولی داده‌های قابل توجهی در مورد تعیین محتوی این ترکیبات در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از مناطق نزدیک لندفیل‌ها در دسترس نیست. این درحالی است که به‌تازگی به‌دلیل اجرای برنامه‌های توسعه برای زمین‌های اطراف محل دفن زباله آرادکوه به‌ویژه بهره‌برداری از زمین‌ها برای کشاورزی و احداث

کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی و مسکونی، در مجموع نسبت به برداشت ۳۰ نمونه خاک سطحی از عمق ۲۰-۰ سانتی متری هر کدام به وزن یک کیلوگرم با استفاده از بیلچه چوبی اقدام شد. پس از آن، شاخ و برگ و سنگ و سنگریزه‌های موجود در نمونه‌ها جدا و توسط هاون چینی همگن شدند. همچنین، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS مدل ETREX 32X ساخت شرکت گارمین ثبت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به کیسه‌های پلی اتیلنی زیپ‌دار برچسب‌گذاری و منجمد شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آماده‌سازی و انجام آنالیزهای آزمایشگاهی در دمای  $5^{\circ}\text{C}$  -۱۵ نگه‌داری شدند (۱۵ و ۲۵). نقشه موقعیت استقرار و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است.

#### تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

در آزمایشگاه نسبت به تعیین نوع خاک، بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱) و همچنین، مقادیر pH در گل اشباع با استفاده از pH متر (۱۹)، EC در عصاره ۱ به ۵ توسط دستگاه هدایت‌سنج (۷) و کربن آلی کل (TOC) به روش تیتراسیون اکسایش - کاهش (۱۲) اقدام شد.

#### آنالیز دستگاهی نمونه‌ها برای تعیین مقادیر ترکیبات PCB

پس از توزین ۱۴ گرم از هر نمونه خاک توسط ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی، ترکیبات PCB در نمونه‌ها با ۳۰ میلی لیتر استون نیتریل یا ان-هگزان با نسبت حجمی ۱:۱ در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۳ تکرار استخراج شدند. بدین منظور، قبل از استخراج، ۱۰۰ میکرولیتر از CB-209 (یک میلی گرم در لیتر) به‌عنوان استاندارد به هر نمونه افزوده شد و محلول حاصل به مدت ۲ ساعت در دسیکاتور به تعادل رسید. پس از آن، حجم نمونه‌ها در دستگاه پیران چرخشی با جریان نیتروژن به یک میلی لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، نمونه‌های تغلیظ‌شده روی یک ستون مرکب از ۲ گرم سیلیکا نیترات نقره، یک گرم

شهرک‌های صنعتی، نگرانی عمومی در مورد کیفیت خاک منطقه در حال افزایش است. از این‌رو، نظر به اهمیت و ضرورت موضوع، این پژوهش برای اولین بار با هدف شناسایی، تعیین محتوا، منشأیابی (Source Identification) و همچنین ارزیابی خطر سلامت ترکیبات PCB در خاک اطراف مجتمع پردازش و دفع پسماند آرادکوه در سال ۱۳۹۹ انجام شد.

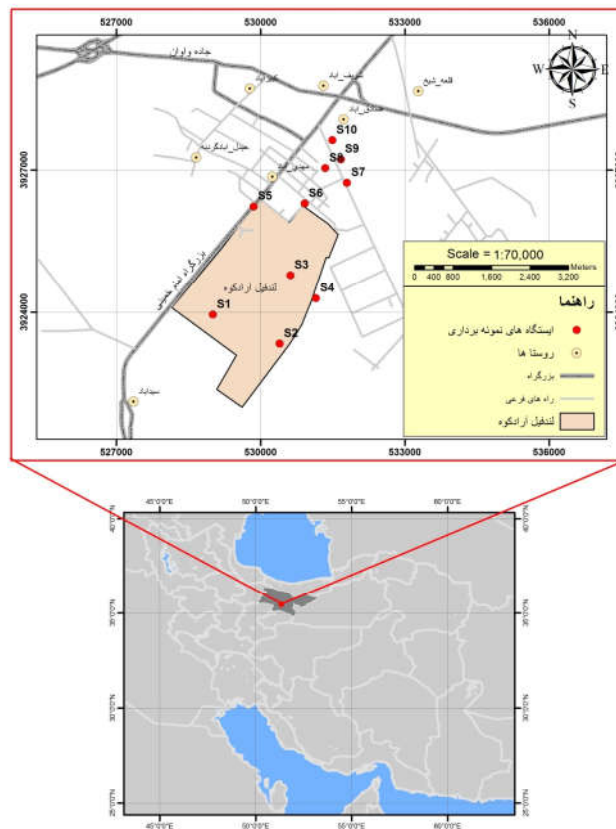
#### مواد و روش‌ها

##### معرفی منطقه مورد مطالعه

مجتمع پردازش و بازیافت زباله آرادکوه به‌عنوان بزرگ‌ترین مجتمع پردازش و دفع پسماند در خاورمیانه در سال ۱۳۵۳ در زمینی به وسعت ۱۴۰۰ هکتار در ۳۰ کیلومتری جنوب تهران به‌منظور مدیریت و دفن پسماند جامد شهری تهران آغار به‌کار کرد. در حال حاضر، روزانه بیشتر از ۸۰۰۰ تن انواع پسماندهای مختلف برای امحا و دفع به این مرکز ارسال می‌شود (۲۳). گفتنی است که در این مرکز زباله‌ها به‌روش ذخیره روباز (Open Dumping Method) دپو می‌شوند. در این مجموعه ۳ حلقه چاه آب زیرزمینی وجود دارد که در اطراف محل دفن زباله پراکنده‌اند. همچنین بستر لندفیل لومی‌شنی است. در حال حاضر هیچ سیستم زهکشی زیرسطحی برای جمع‌آوری شیرابه در این مرکز وجود ندارد. در نتیجه، شیرابه‌ها با حرکت به‌سمت شمال محل دفن زباله، یک حوضچه بزرگ شیرابه را ایجاد کرده‌اند (۱۳).

##### نمونه‌برداری از خاک

در این پژوهش توصیفی، به‌منظور بررسی مقادیر ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه، با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی و زمانی، نسبت به بازدید میدانی و تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری اقدام شد. بدین منظور، پس از انتخاب ۱۰ ایستگاه شامل یک مکان در خلاف جهت وزش باد غالب (غرب به شرق)، ۶ مکان در مجاورت لندفیل و ۳ مکان در جهت وزش باد غالب و با فواصل مشخص از مرکز لندفیل، از



شکل ۱. نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی شرقی	عرض جغرافیایی شمالی	فاصله از مرکز لندفیل (متر)
S1	۵۱ ۱۹ ۱۱	۳۵ ۲۷ ۳۱	۱۳۰۰
S2	۵۱ ۲۰ ۰۶	۳۵ ۲۷ ۱۱	۱۴۵۰
S3	۵۱ ۲۰ ۱۵	۳۵ ۲۷ ۵۸	۱۰۰۰
S4	۵۱ ۲۰ ۵۷	۳۵ ۲۹ ۱۷	۱۶۵۰
S5	۵۱ ۲۱ ۰۲	۳۵ ۲۷ ۱۲	۲۰۰۰
S6	۵۱ ۲۰ ۳۶	۳۵ ۲۷ ۴۲	۲۳۵۰
S7	۵۱ ۲۰ ۵۰	۳۵ ۲۹ ۳۰	۳۵۰۰
S8	۵۱ ۲۰ ۴۴	۳۵ ۲۹ ۱۱	۳۶۰۰
S9	۵۱ ۲۰ ۲۷	۳۵ ۲۸ ۴۷	۴۱۰۰
S10	۵۱ ۱۹ ۴۵	۳۵ ۲۸ ۴۵	۴۵۵۰

عمر (Life Span) انسان است که در معرض ترکیب آلاینده قرار خواهد گرفت که در این پژوهش برابر با ۷۰ سال در نظر گرفته شد (۲۹ و ۳۶).

$$CR_{inhale} = \frac{C_{soil} \times InhR \times AF_{inh} \times EF \times ED}{PEF \times AT} \times IUR \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $CR_{inhale}$  بیانگر خطر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با PCBs از طریق تنفس است.  $InhR$  نیز نشان‌دهنده میزان تنفس ذرات خاک آلوده به PCBها است که در این پژوهش برابر با ۱۵/۸ مترمکعب در روز لحاظ شد.  $AF_{inh}$  نیز برابر با ۱ میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع لحاظ شد.  $IUR$  نیز نشان‌دهنده خطر واحد تنفس (Inhalation Unit Risk) است که برابر با ۰/۵۷ میلی‌گرم در مترمکعب در نظر گرفته شد.  $PEF$  نشان‌دهنده فاکتور انتشار ذرات خاک (Particle Emission Factor) و برابر با  $1/32 \times 10^9$  مترمکعب در کیلوگرم است (۲۹ و ۳۶).

$$CR_{dermal} = \frac{C_{soil} \times SA \times AF_{soil} \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF \times SF_{oral} \times GI_{ABS} \quad (3)$$

در رابطه ۳،  $CR_{dermal}$  بیانگر خطر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با PCBs از طریق تماس پوستی است.  $SA$  نشان‌دهنده سطح بدن (۵۰۰۰ سانتی‌متر مربع) و  $AF$  عامل چسبندگی پوست برای خاک (Skin Adherence Factor) و برابر با  $0/00001$  میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع است.  $ABS$  بیانگر ضریب جذب پوستی (Dermal Absorption Factor) است که در این پژوهش برابر با ۰/۱۰ لحاظ شد.  $GI_{ABS}$  بیانگر کسری از آلاینده‌های جذب شده در دستگاه گوارش (۱) است (۲۹ و ۳۶).

$$TEQ = \sum (TEF_i \times C_i) \quad (4)$$

در رابطه  $TEQ$  بیانگر عامل سمیت معادل (Toxic Equivalent) و  $TEF$  نیز نشان‌دهنده عامل هم ارزی سمیت (Toxicity Equivalency Factor) ترکیبات PCB است. گفتنی است که از بین PCBهای شناسایی شده، مقدار  $TEF_i$

سیلیکاژل فعال، ۳ گرم سیلیکاژل پایه، ۱ گرم سیلیکاسیون فعال، ۴ گرم اسید سیلیکاژل و ۲ گرم سولفات سدیم بی‌آب بارگذاری شدند. در گام بعدی، مایع جمع‌آوری شده توسط دستگاه پیران چرخشی تغلیظ و سپس حجم آن در نیتروژن خالص به یک میلی‌لیتر کاهش یافت و برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی آماده شد. در نهایت ترکیبات PCB موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه GC-MS مدل ۷۸۹۰ ساخت کارخانه Agilent شناسایی و مقادیر آنها تعیین شد (۳۷).

### ارزیابی خطر سلامت ترکیبات PCB

برای ارزیابی مخاطره سلامت و خطر سرطان‌زایی مواجهه با ذرات خاک آلوده به ترکیبات PCB از مسیرهای بلع مستقیم (Direct Ingestion)، تنفس (Inhalation) و تماس پوستی (Dermal Contact) از روابط ۱ تا ۴ استفاده شد (۱۰).

$$CR_{ingest} = \frac{C_{soil} \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF \times SF_{oral} \quad (1)$$

در این رابطه  $CR_{ingest}$  بیانگر خطر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با PCBs از طریق بلع است.  $C_i$  نشان‌دهنده میانگین غلظت PCBs در نمونه خاک (میکروگرم در کیلوگرم) است.  $IngR$  نشان‌دهنده میزان بلع ذرات خاک آلوده به PCBها است که در این پژوهش برابر با ۱۰۰ میلی‌گرم در روز لحاظ شد.  $EF$  و  $ED$  به ترتیب بیانگر تناوب و مدت زمان قرارگیری در معرض (Exposure Frequency and Exposure Duration) ترکیب آلاینده است که در این پژوهش به ترتیب برابر با ۳۵۰ روز در سال و ۳۰ سال منظور شد.  $CF$  نشان‌دهنده ضریب تبدیل است که در این پژوهش برابر با  $10^{-6}$  کیلوگرم در میلی‌گرم در نظر گرفته شد.  $SF_{oral}$  بیانگر فاکتور شیب سرطان‌زایی از طریق بلع است که برابر با ۲/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز در نظر گرفته شد.  $BW$  نشان‌دهنده میانگین وزن بدن است که برابر با ۷۰ کیلوگرم منظور شد.  $AT$  نیز نشان‌دهنده متوسط طول

## نتایج و بحث

آمارهای توصیفی مربوط به غلظت ترکیبات شناسایی شده PCB در نمونه‌های خاک سطحی اطراف مجتمع دفع و پردازش پسماند جامد شهری آرادکوه تهران در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که ۱۵ ترکیب PCB شامل PCB<sub>۸</sub> واجد ۲ اتم کالر در ساختار مولکولی (Di-CBs)، 18PCB، 28PCB و 31PCB همگی واجد ۳ اتم کالر در ساختار مولکولی (Tri-CBs)، 44PCB، 52PCB و 70PCB همگی واجد ۴ اتم کالر در ساختار مولکولی (Tetra-CBs)، 101PCB و 105PCB هر دو واجد ۵ اتم کالر در ساختار مولکولی (Penta-CBs)، 138PCB، 151PCB و 153PCB همگی واجد ۶ اتم کالر در ساختار مولکولی (Hexa-CBs)، 180PCB واجد ۷ اتم کالر در ساختار مولکولی (Hepta-CBs) و 194PCB و 195PCB هر دو واجد ۸ اتم کالر در ساختار مولکولی (Octa-CBs) به ترتیب با میانگین مقادیر ۲۷/۳، ۲۴/۱، ۲۳/۷، ۲۳/۵، ۱۹/۲، ۲۲/۸، ۲۵/۷، ۲۴/۹، ۳۰/۱، ۲۷/۰، ۲۰/۲، ۲۰/۶، ۲۴/۱، ۱۹/۴ و ۲۶/۴ میکروگرم در کیلوگرم در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است.

نتایج آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ و مقادیر آماره آزمون (Z) به ترتیب برابر با ۰/۵۱۰، ۰/۵۷۸، ۰/۳۸۹، ۰/۹۳۸، ۰/۷۶۹، ۰/۷۸۰، ۰/۵۱۶، ۰/۶۱۸، ۰/۵۴۸، ۰/۶۳۳، ۰/۳۸۸، ۰/۸۷۰، ۰/۴۹۳، ۰/۸۵۶، ۰/۸۹۲، ۰/۶۴۷، ۰/۷۳۳ و ۰/۵۴۸ برای 8PCB، 18PCB، 28PCB، 31PCB، 44PCB، 52PCB، 70PCB، 101PCB، 105PCB، 138PCB، 151PCB، 153PCB، 180PCB، 194PCB، 195PCB، EC، pH و TOC همه پارامترهای فیزیکوشیمیایی از توزیع نرمال برخوردار بوده‌اند. از طرفی، نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای نشان داد که در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵، برای ترکیبات 8PCB، 28PCB، 31PCB، 70PCB، 101PCB، 105PCB و 138PCB

فقط برای PCB<sub>۱۰۵</sub> توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) تعیین شده که برابر با ۰/۰۰۰۰۳ است (۲۹).

دسته‌بندی کیفی برآورد خطر سرطان‌زایی (Cancer Risk Estimates) ترکیبات PCB به شرح ذیل است:

مقادیر  $CRE \leq 10^{-6}$  نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی خیلی کم،  $10^{-4} < CRE \leq 10^{-6}$  نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی کم،  $10^{-3} < CRE \leq 10^{-4}$  بیانگر خطر سرطان‌زایی متوسط،  $10^{-1} < CRE < 10^{-3}$  نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی زیاد و  $CRE \geq 10^{-1}$  بیانگر خطر سرطان‌زایی خیلی زیاد است (۱۰).

## منشأیابی ترکیبات و پردازش آماری داده‌ها

برای پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین صورت که نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) ارزیابی شد. به منظور مقایسه غلظت باقی‌مانده ترکیبات PCB بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یکطرفه (One-way ANOVA) و به دنبال آن آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Multiple Range Test)، برای مقایسه غلظت PCBs در نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر استاندارد از آزمون تی تک‌نمونه‌ای (One Sample t-Test) و برای بررسی همبستگی بین مقادیر PCBs با مقادیر EC، pH و TOC خاک از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) استفاده شد. همچنین، برای بررسی الگوی توزیع آلاینده‌ها در خاک از نسخه ۲۰۱۰ نرم‌افزار Excel استفاده شد. از طرفی، برای شناسایی منابع بالقوه ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) به عنوان روش آماری چند متغیره (Multivariate Statistical Technique) استفاده شد.

جدول ۲. آمار توصیفی محتوی ترکیبات پلی کلره بی فنیل (میکروگرم در کیلوگرم، وزن خشک) و برخی از پارامترهای فیزیوشیمیایی در نمونه‌های خاک سطحی اطراف مجتمع آزادکوه\*

TOC (%)	FC (umhos/cm)	pH	ت ترکیبات PCB														
			PCB۱۹۵	PCB۱۹۴	PCB۱۸۰	PCB۱۵۳	PCB۱۵۱	PCB۱۳۸	PCB۱۰۵	PCB۱۰۱	PCBV۰	PCB۵۲	PCB۴۴	PCB۳۱	PCB۲۸	PCB۱۸	PCB۸
۰/۹۹۹	۲۱۰۰۰	۶/۹۰	۴۲۸	۳۲۰	۲۹۵	۲۷۵	۲۰۵	۳۴۱	۳۹۱	۲۸۵	۳۳۱	۲۵۵	۱۹۵	۳۰۵	۲۲۵	۲۹۵	۳۷۳
۰/۲۰۵	۱۱۷۰۰	۷/۳۰	۴۱۵	۲۱۵	۲۸۵	۲۵۵	۳۳۱	۳۹۱	۳۳۱	۳۱۵	۲۹۵	۲۵۵	۲۰۵	۲۲۵	۲۷۵	۳۳۰	۳۲۰
۰/۲۶۴	۹۹۰۰	۸/۰۰	۴۲۶	۳۹۰	۳۰۵	۲۲۵	۳۱۵	۳۳۱	۳۳۱	۳۳۱	۳۰۵	۲۷۵	۲۰۵	۲۲۵	۲۹۰	۳۰۵	۳۳۰
۰/۳۴۱	۱۲۵۰۰	۷/۲۰	۴۲۴	۳۸۰	۳۳۰	۲۵۵	۳۲۱	۳۳۱	۳۳۱	۳۰۵	۲۹۵	۲۲۵	۲۰۵	۲۲۵	۲۳۵	۲۷۵	۳۱۵
۰/۳۰۹	۶۰۵۰	۷/۲۰	۳۹۹	۲۹۰	۲۶۵	۱۹۵	۳۰۵	۳۳۱	۳۰۵	۲۸۵	۲۷۵	۲۵۵	۲۰۵	۲۵۵	۲۸۵	۲۹۵	۲۹۵
۰/۹۲۵	۶۵۰۰	۷/۸۰	۳۴۱	۲۰۰	۲۵۵	۱۹۵	۲۶۵	۲۶۵	۲۶۵	۲۵۵	۲۶۰	۲۵۵	۲۰۵	۲۲۵	۲۵۵	۲۲۰	۲۷۰
۰/۴۴۴	۶۵۰۰	۷/۵۰	۳۱۸	۱۹۰	۲۱۵	۱۷۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۸۰	۲۲۰	۲۲۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۴۵	۲۱۵	۲۳۰
۰/۳۸۸	۱۰۰۰۰	۷/۰۰	۲۸۸	۱۸۰	۲۰۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۸۰	۲۱۵	۱۹۰	۱۹۵	۱۸۰	۲۱۵	۱۹۵	۲۰۰
۰/۳۷۲	۱۵۰۰۰	۷/۰۰	۲۷۲	۲۰۰	۱۴۰	۱۸۵	۱۵۵	۱۹۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۵	۲۱۵	۲۰۰	۱۹۰	۱۵۰	۲۱۵	۲۰۰
۰/۵۱۰	۶۵۰۰	۷/۷۰	۲۶۹	۱۹۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۸۰	۲۰۰	۲۱۵	۲۰۰	۲۱۵	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۰
۰/۲۰۵	۶۰۵۰	۶/۹۰	۲۶۹	۱۸۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۴۰	۱۹۰	۱۹۰	۲۸۰	۲۰۰	۲۱۵	۲۰۰	۲۱۵	۱۹۰	۲۰۰	کمینه
۰/۹۹۹	۲۱۰۰۰	۸/۰۰	۴۲۴	۳۹۰	۳۳۰	۲۷۰	۲۶۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۰۰	۲۱۰	۲۹۰	۳۳۰	۳۳۰	بیشینه
۰/۴۸۰	۱۰۷۶۵	۷/۲۰	۳۵۹	۲۶۴	۲۴۱	۲۰۶	۲۷۰	۳۰۱	۲۴۹	۲۵۷	۲۲۸	۲۳/۵	۱۹/۲	۲۳/۷	۲۴/۱	۲۷/۳	میانگین
۰/۲۷۵	۴۸۹۵	۰/۳۷۱	۶۸۵۸	۸/۲۱	۳/۱۷	۶/۴۰	۳/۱۷	۵/۸۲	۵/۸۲	۵/۸۷	۴/۷۸	۴/۸۶	۱/۴۰	۳/۵۶	۶/۱۰	۶/۰۶	انحراف معیار

\* مقادیر مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است.

\*\* حروف غیر مشترک (a, b, c, ... ) در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار ( $p < 0.05$ ) آمارزی بین ایستگاههای نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت PCBها در نمونه‌های خاک بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون چند دانته‌ای دلگن) است.

در فرایند احتراق ترکیبات حاوی اتم کلر، اغلب همولوگ‌هایی از PCBها واجد تعداد کم اتم کلر (Lowly Chlorinated Homologues) در ساختار مولکولی (معمولاً ترکیبات واجد ۲ و ۳ اتم کلر در هر مولکول) متصاعد می‌شوند، بنابراین، با توجه به سهم زیاد این قبیل ترکیبات (تقریباً ۲۸٪) از غلظت کل ترکیبات PCB شناسایی شده در نمونه‌ها، می‌توان فرض کرد که وجود ترکیبات PCB در نمونه‌ها، با فرایند احتراق ارتباط دارد. نتایج خروجی مدل تجزیه مؤلفه‌های اصلی احتمال ترکیب نمونه‌های خاک و مخلوط‌های آروکلر تجاری (Commercial Aroclor Mixtures) بیانگر استخراج ۲ مؤلفه اصلی PC1 و PC2 با واریانس مقدار ویژه به ترتیب برابر با ۵۷/۲ و ۱۶/۴ درصد بود که در مجموع ۷۴ درصد از واریانس کل را تشکیل داده و هر ۱۰ نمونه خاک را شامل می‌شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، از مجموع ۱۰ نمونه خاک، مؤلفه اصلی اول شامل ۸ نمونه خاک است. در PC1، بارهای عاملی مثبت قابل توجه برای نمونه‌های S6 (۰/۹۱۹)، S2 (۰/۸۹۲)، S1 (۰/۸۷۴)، S5 (۰/۸۶۹)، S7 (۰/۸۵۵)، S3 (۰/۸۳۵)، S4 (۰/۷۸۴) و S8 (۰/۷۴۷) و بار مثبت متوسط برای S3 (۰/۴۸۲) مشاهده شد. در حالی که، در PC2، بارهای عاملی مثبت قابل توجه برای S9 (۰/۸۷۰) و S10 (۰/۶۶۹)؛ بارهای مثبت متوسط برای 138PCB (۰/۵۷۵)، 8PCB (۰/۵۴۲)، 70PCB (۰/۵۳۷) و 195PCB (۰/۵۳۲) و از طرفی بارهای مثبت کم برای 52PCB (۰/۴۲۳)، 44PCB (۰/۳۶۱) و 153PCB (۰/۲۳۹) مشاهده شد. از این‌رو، می‌توان اذغان داشت که ۸۰٪ از PCBهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک احتمالاً از یک منبع یکسان نشأت گرفته‌اند. به بیان دیگر، احتمالاً منشأ همولوگ‌ها با تعداد اتم کلر کم و زیاد یکسان بوده است.

نتایج محاسبه فاکتور سرطان‌زایی ناشی از قرارگرفتن در معرض ترکیبات PCB از طریق بلع مستقیم و یا تنفس ذرات خاک آلوده و یا تماس پوستی با خاک آلوده و همچنین مقادیر

195PCB اختلاف معنی‌دار آماری بین میانگین غلظت این ترکیبات با بیشینه رواداری USEPA برابر با ۲۰ میکروگرم در کیلوگرم (۳۵) وجود داشته است. به طوری که، میانگین غلظت همه ترکیبات نام برده شده در نمونه‌های خاک سطحی از حد مجاز بیشتر بود. از طرفی، با توجه به سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵، میانگین غلظت سایر ترکیبات PCB شناسایی شده در نمونه‌های خاک سطحی اختلاف معنی‌دار آماری با حد مجاز نداشته است.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون به منظور بررسی همبستگی بین میانگین غلظت PCBs با پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک سطحی در جدول ۳ آورده شده است. برای نمونه، با اطمینان ۹۹٪، بین ترکیبات 8PCB و 18PCB در نمونه‌های خاک همبستگی مثبت با ضریب ۰/۹۰۴ وجود داشته است و یا اینکه، با اطمینان ۹۵ درصد، بین ترکیبات 18PCB و 31PCB در نمونه‌های خاک همبستگی مثبت با ضریب ۰/۶۶۲ وجود داشته است. همین‌طور، با اطمینان ۹۵٪ بین پارامترهای EC خاک و 153PCB همبستگی مثبت با ضریب ۰/۶۳۵ و یا بین EC و pH همبستگی منفی با ضریب ۰/۶۹۱- وجود داشته است.

نتایج بررسی توزیع ترکیبات PCB بر اساس تعداد اتم‌های کلر موجود در ساختار مولکولی در نمونه‌های خاک در شکل ۲ آورده شده است. نتایج بیانگر آن است که به جز در ایستگاه‌های ۸ و ۹ که بیشینه توزیع ترکیبات PCB (٪) به ترتیب با ۲۰/۴۹ و ۲۲/۴۳ مربوط به ترکیبات با ۴ اتم کلر در ساختار مولکولی بوده است، در سایر ایستگاه‌ها، بیشینه توزیع ترکیبات در نمونه‌های خاک به ترتیب با ۱۸/۹۳، ۲۰/۴۸، ۱۸/۷۸، ۱۸/۶۶، ۲۱/۳۰، ۱۹/۹۴، ۲۰/۴۴ و ۲۱/۱۹ مربوط به PCBها با ۳ اتم کلر در ساختار مولکولی بوده است.

نتایج روش PCA به منظور شناسایی منابع تولید ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. در خصوص منابع تخلیه ترکیبات PCB در خاک منطقه مورد مطالعه نیز می‌توان اذغان داشت از آن‌جا که



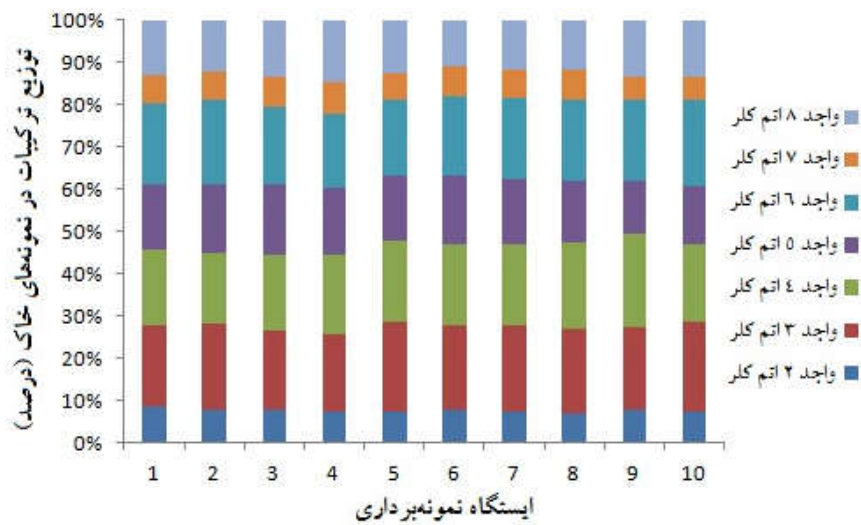
جدول ۳. ماتریس همبستگی پیرسون بین غلظت ترکیبات PCBs و پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک

TOC	EC	pH	PCB۱۹۵	PCB۱۹۴	PCB۱۸۰	PCB۱۵۳	PCB۱۵۱	PCB۱۷۸	PCB۱۰۵	PCB۱۰۱	PCBV	PCB۵۲	PCB۴۴	PCB۴۱	PCB۲۸	PCB۱۸	PCB۸	PCBA	
																		۱	PCBA
																	۰/۹۰۴**		PCB۱۸
																	۰/۵۹۷		PCB۲۸
																	۰/۷۳۸*		PCB۳۱
																	۰/۴۶۴		PCB۴۴
																	۰/۶۹۳*		PCB۵۲
																	۰/۹۷۶***		PCBV
																	۰/۹۰۳***		PCB۱۰۱
																	۰/۹۴۶***		PCB۱۰۵
																	۰/۹۵۶***		PCB۱۷۸
																	۰/۸۷۱***		PCB۱۵۱
																	۰/۸۷۷***		PCB۱۵۳
																	۰/۸۸۵***		PCB۱۸۰
																	۰/۷۶۳*		PCB۱۹۴
																	۰/۸۴۹**		PCB۱۹۵
																	۰/۵۰۳		pH
																	۰/۵۰۳		EC
																	۰/۱۹۱		TOC

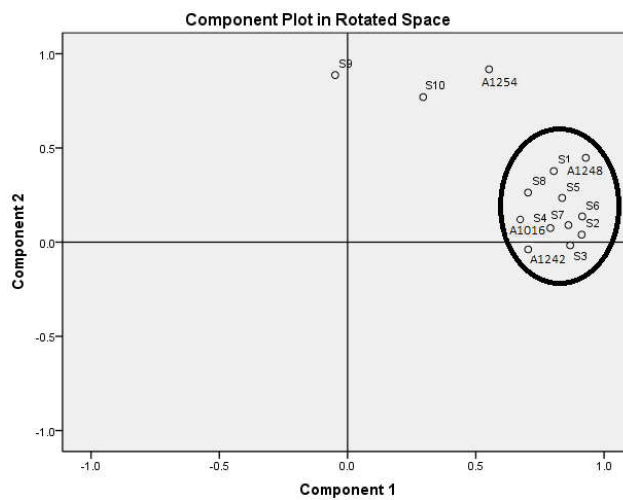
\* همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪

\*\* همبستگی در سطح اطمینان ۹۰٪

\*\*\* همبستگی در سطح اطمینان ۹۹٪



شکل ۲. توزیع ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک بر اساس تعداد اتم کلر موجود در ساختار مولکولی به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی احتمال ترکیب نمونه‌های خاک و مخلوط‌های آروکلر

جدول ۴. آمار توصیفی مقادیر شاخص خطر سرطان‌زایی (CRs) ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک مجتمع آرادکوه

توصیف کیفی	میانگین	میانگین	بیشینه	کمینه	شاخص خطر سلامت
خطر سرطان‌زایی خیلی زیاد	$1/59 \times 10^{-1}$	$1/54 \times 10^{-1}$	$2/01 \times 10^{-1}$	$\times 10^{-2}$	بلع مستقیم
خطر سرطان‌زایی کم	$3/79 \times 10^{-2}$	$3/67 \times 10^{-2}$	$4/81 \times 10^{-2}$	$2/59 \times 10^{-2}$	تنفس
خطر سرطان‌زایی خیلی زیاد	$7/93 \times 10^{-6}$	$7/69 \times 10^{-6}$	$1/00 \times 10^{-5}$	$5/42 \times 10^{-6}$	تماس پوستی
خطر سرطان‌زایی متوسط	$9/45 \times 10^{-2}$	$9/03 \times 10^{-2}$	$1/17 \times 10^{-2}$	$5/40 \times 10^{-2}$	شاخص خطر سلامت کل PCB ۱۰۵

ترکیب‌ات PCBA، 18PCB، 28PCB، 44PCB، 52PCB، 101PCB، 138PCB، 153PCB و 180PCB در خاک مناطق با کاربری‌های مختلف شهر پکن چین را برابر با ۷/۶۱ میکروگرم در کیلوگرم گزارش کردند. به همین صورت، نتایج نشان داد که میانگین غلظت کل ترکیبات PCB در نمونه‌های مورد مطالعه تقریباً ۱۵ برابر کمتر از غلظت زمینه (Background Value) این ترکیبات در خاک‌های جهان یعنی ۵۴۱۰ میکروگرم در کیلوگرم (۲۴) بوده است (جدول ۲). مقایسه یافته‌ها با دستاورد سایر پژوهش‌های مشابه در جدول ۵ آورده شده است.

هرچند پارامترهای فیزیکوشیمیایی و به‌ویژه محتوی مواد آلی خاک نقش مهمی در برقراری پیوند بین ترکیبات آلاینده و ذرات خاک دارند (۳۸ و ۴۰)، ولی نتایج بررسی همبستگی بین میانگین غلظت ترکیبات PCB شناسایی شده با پارامترهای pH، EC و TOC خاک سطحی، به جز وجود همبستگی بین EC و 153PCB، نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی معنی‌دار آماری اعم از مثبت یا منفی بین پارامترهای مورد مقایسه در سطوح معنی‌داری به ترتیب کوچک‌تر از ۵٪ و ۱٪ بود (جدول ۳). این موضوع را احتمالاً می‌توان با ناهمگنی (Heterogeneity) نمونه‌های خاک مرتبط دانست (۳۹). برای نمونه، بررسی همبستگی بین محتوی PCBs در نمونه‌های خاک نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بین ترکیبات 8PCB و 18PCB و با اطمینان ۹۵٪ بین ترکیبات 8PCB و 31PCB به ترتیب با ضرایب ۰/۹۰۴ و ۰/۷۳۸ همبستگی مثبت وجود داشته است که این موضوع را می‌توان با منشأ تولید یکسان آن‌ها مرتبط دانست (۸ و ۱۴). نتایج پژوهشی که در آن نسبت به بررسی محتوی ترکیبات PCB در خاک سطحی مناطق صنعتی شهر بوسا در ترکیه اقدام شد، بیانگر عدم وجود همبستگی بین PCBهای سبک (با کمتر از ۵ اتم کلر در ساختار مولکولی) و محتوی TOC خاک از طرفی و وجود همبستگی معنی‌دار (r = ۰/۳۶۰) بین مقادیر PCBهای سنگین (با ۵ یا بیشتر از ۵ اتم کلر در ساختار مولکولی) و محتوی

فاکتور سرطان‌زایی کل در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه از بین ترکیبات PCB شناسایی شده در خاک منطقه مورد مطالعه، عامل هم‌ارزی سمیت فقط برای ترکیب 105PCB توسط USEPA تعیین شده است، بنابراین، شاخص خطر سلامت کل ناشی از قرار گرفتن در معرض خاک آلوده به PCBs در محدوده  $۱۰^{-۴} \times ۵/۴۰$  تا  $۱۰^{-۳} \times ۱/۱۷$  با میانگین  $۱۰^{-۴} \times ۹/۰۳$  متغیر بود.

در این پژوهش، ۱۵ ترکیب از PCBها شامل PCBA، 18PCB، 28PCB، 31PCB، 44PCB، 52PCB، 70PCB، 101PCB، 105PCB، 138PCB، 151PCB، 153PCB، 180PCB و 195PCB به ترتیب در حدود مقادیر ۲۰ تا ۳۷، ۱۵ تا ۳۳، ۱۹ تا ۲۹، ۱۸ تا ۳۱، ۱۶ تا ۲۱، ۱۵ تا ۳۰، ۱۸ تا ۳۳، ۱۶ تا ۳۳، ۱۸ تا ۳۹، ۱۹ تا ۳۴، ۱۴ تا ۲۶، ۱۷ تا ۲۷، ۱۴ تا ۳۳، ۱۶ تا ۲۵ و ۱۸ تا ۳۹ میکروگرم در کیلوگرم در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. از طرفی، کمینه و بیشینه مقادیر مجموع ۱۵ ترکیب شناسایی شده هم از ۲۶۹ تا ۴۳۴ میکروگرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین مقادیر PCBهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک با بیشینه رواداری USEPA برابر با ۲۰ میکروگرم در کیلوگرم (۳۵)، بیانگر آن بود که میانگین غلظت PCBA، 28PCB، 31PCB، 70PCB، 101PCB، 105PCB، 138PCB و 195PCB از حد مجاز بیشتر بوده است. درحالی که، میانگین غلظت سایر PCBها در نمونه‌های خاک سطحی اختلاف معنی‌دار آماری با حد مجاز نداشته است. در پژوهشی دیگر، میانگین مقادیر PCBs (میکروگرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک سطحی ۴ منطقه شهری نیپال برابر با ۰/۳۲۰ برای 8PCB، ۱/۰۷ برای 28PCB، ۰/۲۲۰ برای 44PCB، ۰/۳۱۲ برای 52PCB، ۰/۶۲۵ برای 70PCB، ۰/۱۸۳ برای 101PCB، ۰/۶۴۵ برای 105PCB، ۰/۱۱۰ برای 138PCB، ۰/۸۴۳ برای 153PCB و ۰/۸۴۰ برای 180PCB و برای همه ترکیبات کمتر از بیشینه رواداری EPA گزارش شد (۵). درحالی که، وو و همکاران (۳۷) میانگین غلظت مجموع

جدول ۵. مقایسه حدود غلظت PCBها (میکروگرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه با نتایج پژوهش‌های انجام یافته در سایر نقاط جهان (۲، ۳ و ۳۴)

منطقه مورد مطالعه	حدود غلظت PCBs	منبع
اوران، الجزایر	۰/۰-۰۰۱/۰۰۴	۱۵
اولسان، کره جنوبی	۰/۱-۲۷۴/۸۲	۲۰
دیلواسی، ترکیه	۰/۴-۰۰۱/۶۸	۳
چتیسگر، هند	۳/۲۵-۲۵/۲	۲۱
پنجاب، پاکستان	۷/۴۵-۰۰/۰	۳۴
بورسا، ترکیه	۰/۵-۲۰۸/۴۶	۳۱
اوپسالا، سوئد	۲/۷۷-۳	۲
آویرو، پرتغال	۰/۷۳-۶۲	۲
تورینو، ایتالیا	۱/۱۷۲-۸	۲
گلاسکو، اسکاتلند	۴/۷۸-۵	۲
لیوبلیانا، اسلوونی	۲/۴۸-۸	۲
تهران، ایران	۴۳۴-۲۶۹	مطالعه حاضر

TOC خاک از سوی دیگر بود (۳۱).

۳۶/۰۲ درصد بوده است (۵). علاوه بر این، کیم و همکاران (۲۰) با بررسی توزیع PCBهای سبک و سنگین در نیمرخ خاک مناطق کشاورزی ۲ شهر صنعتی کره جنوبی گزارش کردند که در نمونه‌های خاک مربوط به شهر گوانگ یانگ، ترکیبات با ۶، ۵، ۴ و ۷ اتم کلر در ساختار مولکولی به ترتیب با ۲۶/۳۰، ۲۴/۷۰، ۱۷/۲۰ و ۱۳/۴۰ درصد از فراوانی بیشتری در مقایسه با سایر همولوگ‌ها در نیمرخ خاک برخوردار بودند. در حالی که، در نمونه‌های خاک مربوط به شهر اولسان، ترکیبات با ۶، ۷، ۵ و ۴ اتم کلر در ساختار مولکولی به ترتیب با ۲۷/۵۰، ۱۹/۴۰، ۱۷/۳۰ و ۱۵/۷۰ درصد از فراوان‌ترین همولوگ‌ها در نیمرخ خاک بودند (۲۰). ژو و همکاران (۴۰) نیز با بررسی ترکیبات PCB در خاک‌های آلوده شهر برایتون در انگلستان نتیجه گرفتند که همولوگ‌های واجد ۶ اتم کلر در ساختار مولکولی با ۵۳/۲۰٪ تا ۶۱/۶۰٪ از بیشترین و

نتایج بررسی توزیع ترکیبات PCB در نمونه‌های خاک (شکل ۲) نشان داد که ۴۶/۳۰ و ۵۳/۷۰ درصد از توزیع PCBها در خاک منطقه مورد مطالعه به ترتیب مربوط به ترکیبات سبک و ترکیبات سنگین بوده است. در پژوهشی مشابه، توزیع PCBهای سبک و سنگین در خاک اطراف لندفیل شهر گدانسک لهستان، به ترتیب برابر با ۳۷/۱۰٪ و ۶۲/۹۰٪ گزارش شد (۲۵). از طرفی، توزیع PCBهای سبک و سنگین در خاک مناطق به شدت صنعتی شده شهر قوجاایلی در ترکیه به ترتیب برابر با ۷۸/۵۹٪ و ۲۱/۴۱٪ گزارش شد (۴). نتایج پژوهشی که با هدف تعیین محتوی PCBs در خاک‌های سطحی نپال انجام شد، نشان داد که نرخ توزیع PCBهای سبک در نمونه‌های خاک مناطق کاتماندو، پوخارا، بیراتناگر و بیرگونج به ترتیب برابر با ۳۲/۱۳، ۳۷/۷۰، ۵۰/۶۸ و

شد، می توان منبع تولید سایر PCBها را نیز با این فرایند مرتبط دانست. هرچند، از تأثیر دفع نامناسب و غیر اصولی (Inappropriate Disposal) مواد زائد حاوی PCBs و فرایند تبخیر از محل دفن زباله نیز به عنوان منابع انتشار این ترکیبات در محیط نباید غافل شد (۱ و ۳۰). علاوه بر این، ثابت شده است که ترکیبات پلی کلره بی فنیل از قابلیت جذب توسط ذرات گردوغبار و به تبع آن جابجایی توسط این ذرات برخوردار هستند (۹). به طوری که، این ترکیبات ممکن است در محلی بسیار دورتر از منطقه مورد مطالعه تولید شده و به واسطه وزش بادهای غالب توسط ذرات گردوغبار به سایر مناطق منتقل شده باشند (۲۵). بنابراین، شناسایی ترکیبات PCB در ایستگاه های دور از لندفیل به ویژه مکان های نمونه برداری واقع در مناطق مسکونی را می توان با این ویژگی نیز مرتبط دانست. همان طور که نتایج نشان داد، میانگین غلظت PCBها در خاک ایستگاه ۷ با کاربری کشاورزی از میانگین غلظت این ترکیبات در خاک ایستگاه های ۸، ۹ و ۱۰ با کاربری صنعتی و مسکونی بیشتر بود. که این موضوع را می توان با جذب PCBها توسط مواد آلی خاک مرتبط دانست (۱۶).

نتایج خروجی مدل تجزیه مؤلفه های اصلی احتمال ترکیب نمونه های خاک و مخلوط های آروکلر تجاری (شکل ۳) بیانگر استخراج ۲ مؤلفه اصلی PC1 و PC2 با واریانس مقدار ویژه به ترتیب برابر با ۵۷/۲۰٪ و ۱۶/۴۰٪ بود که در مجموع ۷۴٪ از واریانس کل را تشکیل داده و هر ۱۰ نمونه خاک را شامل می شوند. همان طور که در شکل ۳ دیده می شود، از مجموع ۱۰ نمونه خاک، مؤلفه اصلی اول به عنوان طبقه غالب، شامل ۸ نمونه خاک است. در PC1، بارهای عاملی مثبت قابل توجه برای ۸۰٪ از نمونه های خاک به ترتیب شامل 5S، 1S، 2S، 6S، 7S، 3S، 4S و 8S مشاهده شد. در حالی که، در PC2، بارهای عاملی مثبت قابل توجه برای 9S و 10S مشاهده شد. از این رو، نتایج تحلیل عاملی تا حد زیادی با نتایج ماتریس همبستگی پیرسون (جدول ۳) که بیانگر وجود همبستگی

همولوگ های واجد ۱۰ اتم کلر در ساختار مولکولی (Deca-CBs) با ۰/۲۰٪ تا ۲/۴۰٪ از کمترین ترخ توزیع در نمونه های خاک برخوردار بودند. نتایج پژوهش صالح اوغلو و همکاران (۳۱) نشان داد که کمینه و بیشینه توزیع PCBها در خاک سطحی مناطق صنعتی شهر بورسا به ترتیب مربوط به ترکیبات به ۹ اتم کلر در ساختار مولکولی (Nano-CBs) و ترکیبات با ۵ اتم کلر در ساختار مولکولی بوده است. در پژوهشی دیگر، توزیع PCBهای سبک و سنگین در نمونه های خاک سطحی شهر پکن، به ترتیب برابر با ۷۱٪ و ۲۹٪ گزارش شد (۳۷).

از آنجا که ثابت شده است طی فرایند احتراق مواد حاوی کلر، همولوگ های سبک PCBها بیشتر از PCBهای سنگین متصاعد می شوند (۲۵)، در خصوص منابع تخلیه PCBها در خاک منطقه مورد مطالعه نیز می توان اذعان داشت با توجه به این که ۴۶/۳۰٪ از کل غلظت ترکیبات PCB در نمونه ها به ترکیبات سبک شامل 8PCB، 18PCB، 28PCB، 31PCB، 44PCB، 52PCB و 70PCB اختصاص داشت، بنابراین، وجود ترکیبات PCB در نمونه ها را احتمالاً می توان با فرایند احتراق ترکیبات حاوی اتم کلر مرتبط دانست. از طرفی، نتایج تحلیل عاملی برای تعیین منشأ ترکیبات پلی کلره بی فنیل سبک و سنگین در نمونه ها نشان داد که در مؤلفه PC1، بارهای عاملی مثبت قابل توجه به ترتیب نزولی  $138PCB < 105PCB < 18PCB < 8PCB < 180PCB < 101PCB < 70PCB < 31PCB < 194PCB < 52PCB < 151PCB < 195PCB < 28PCB < 153PCB < 44PCB$  مشاهده شد. در حالی که، در PC2، بارهای عاملی مثبت متوسط به ترتیب نزولی  $28PCB > 44PCB$ ، بارهای عاملی مثبت متوسط به ترتیب نزولی  $44PCB > 194PCB > 31PCB > 52PCB$  مشاهده شد. به بیان دیگر، احتمالاً منشأ تولید همولوگ ها با تعداد اتم کلر کم و همولوگ ها با تعداد اتم زیاد یکسان بوده است. بنابراین، همان طور که قبلاً فرایند احتراق به عنوان منبع احتمالی تولید PCBهای واجد تعداد کم اتم کلر در ساختار مولکولی معرفی

با توجه به این که از بین ترکیبات PCB شناسایی شده در خاک منطقه مورد مطالعه، عامل هم‌ارزی سمیت فقط برای ترکیب PCB ۱۰۵ توسط USEPA تعیین شده است، بنابراین، شاخص خطر سلامت کل ناشی از قرار گرفتن در معرض خاک آلوده به PCBs در محدوده  $10^{-4} \times 5/40$  تا  $10^{-3} \times 1/17$  با میانگین  $10^{-4} \times 9/03$  متغیر بود (جدول ۴). در سایر پژوهش‌ها، وو و همکاران (۳۷) مقدار TEQ مجموع ۷ ترکیب به شدت کلره شبه-دی اکسین (Dioxin-like PCB) شامل CB-۷۷، CB-۸۱، CB-۱۱۸، CB-۱۲۳، CB-۱۵۶، CB-۱۶۷، CB-۱۸۹، در خاک سطحی شهر پکن برابر با  $10^{-4} \times 3/50$  و بزرگ‌تر از محدوده خطر گزارش کردند. جی و همکاران (۱۰) مقادیر خطر سرطان‌زایی قرار گرفتن در معرض ترکیبات PCB خاک سطحی میدوی اتول از طریق مسیرهای بلع، تنفس و تماس پوستی را کوچک‌تر از محدوده خطر گزارش کردند. نتایج محاسبه شاخص خطر سرطان‌زایی ترکیبات PCB در خاک سطحی مناطق صنعتی شهر چتیسگر هند برابر با  $10^{-8} \times 3/10$  گزارش شد. از طرفی، مشخص شد که ترتیب نزولی مقادیر خطر سرطان‌زایی بصورت بلع مستقیم < تماس پوستی < تنفس بوده است (۲۱). لانگ و همکاران (۲۲) نیز خطر سرطان‌زایی dl-PCBs نمونه خاک مصب تالاب لیاو چین را برابر با  $10^{-8} \times 1/44$  گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، ترتیب نزولی مقادیر مخاطره سلامت ترکیبات PCB در خاک مناطق مسکونی و بوستان‌های عمومی و شخصی بخارست رومانی بصورت تماس پوستی < بلع مستقیم < تنفس گزارش شد (۱۷). آنه و همکاران (۱) نیز مقادیر خطر سرطان‌زایی PCBها در خاک مناطق شمالی ویتنام را بسیار کوچک‌تر از مقادیر بحرانی (Critical Values) برای سلامت انسان گزارش کردند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه ۳۰ نمونه خاک سطحی با هدف شناسایی، تعیین محتوی، منشأیابی و ارزیابی خطر سلامت ترکیبات

مثبت قوی بین PCBهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک ایستگاه ۱ با ایستگاه‌های ۲ تا ۶ ( $P < 0/001$ ،  $0.813-0.659$ )؛ ایستگاه ۲ با ایستگاه‌های ۳ تا ۷ ( $P < 0/001$ ،  $0.817-0.645$ )؛ ایستگاه ۳ با ایستگاه‌های ۴ تا ۶ ( $P < 0/001$ ،  $0.766-0.697$ )؛ ایستگاه ۴ با ایستگاه ۵ ( $r=0.786$ ،  $P < 0/001$ )؛ ایستگاه ۵ با ایستگاه‌های ۶ و ۷ ( $r=0.743$ ،  $P < 0/001$ )؛ ایستگاه ۶ با ایستگاه ۷ ( $r=0.911$ ،  $P < 0/001$ ) از حیث ترکیبات PCB بود، همخوانی دارد. بنابراین، می‌توان اذعان داشت که ۸۰٪ از PCBهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک احتمالاً از یک منبع عمومی مشترک انتشار یافته‌اند.

عمده همولوگ‌های پلی‌کلره بی‌فنیل تولید و مصرف شده در ایران در زمره ترکیبات با وزن مولکولی کم به‌ویژه tri-CBs و tetra-CBs هستند که در روغن ترانسفورماتورها، خازن‌ها، سیالات هیدرولیک، روان‌کننده‌ها و عوامل ضد رسوب استفاده می‌شوند، و از طرفی، PCBهای سنگین از جمله ترکیبات penta-CBs به‌عنوان افزودنی در رنگ‌ها و یا پوشش کابل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، قرار گرفتن آروکلرهای تجاری کم‌کلر یعنی ترکیبات ۱۰۱۶، ۱۲۴۲ و ۱۲۴۸ در PC1 به‌عنوان طبقه نمونه‌های غالب (شکل ۳) که بیشتر دربرگیرنده PCBهای با وزن مولکولی کم هستند را می‌توان توجیه کرد. علاوه بر این، قرار گرفتن ترکیب تجاری آروکلر ۱۲۵۴ در طبقه نمونه‌های واجد PCBهای سنگین نیز با خروجی تحلیل عاملی مطابقت دارد. در این خصوص، هر چند تعیین منبع تولید PCBها با استناد به نتایج تحلیل عاملی چندان خالی از ابهام نیست، ولی یافته‌های برخی از پژوهش‌های مشابه (۱، ۲۵ و ۳۷) با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. در صورتی که، هالفدجی و همکاران (۱۵) ترکیبات تجاری آروکلر ۱۲۵۴ و ۱۲۶۰ را به‌عنوان منابع PCBها در خاک مناطق مسکونی و صنعتی شهر اوران الجزایر معرفی کردند. همچنین، کیم و همکاران (۲۰) نیز آروکلر ۱۲۵۴ را به‌عنوان منبع اصلی PCBها در خاک مناطق کشاورزی شهرهای گوانگ‌یانگ و اولسان کره جنوبی معرفی کردند.

منجر به سرطان‌زایی متوسط ناشی از ترکیب 105PCB خواهد شد. در پایان، با توجه به مخاطرات ترکیبات PCB بر سلامت محیط و انسان، نسبت به شناسایی، تعیین محتوی، تعیین منابع تولید و نظارت منظم و دوره‌ای این ترکیبات در محیط‌های مختلف و تلاش برای کنترل و کاهش آلودگی آن‌ها به منظور حفظ سلامت محیط و شهروندان توصیه می‌شود. از طرفی، پیشنهاد می‌شود در مطالعه‌های آتی نسبت به ارزیابی خطر بوم‌شناختی این ترکیبات نیز اقدام شود.

### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط زیست با کد ۱۷۱۴۸۴۰۵۰۷۶۱۷۷۷۱۱۶۲۲۹۲۰۴۹ مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، قدردانی می‌نمایند.

پلی کلره بی فنیل در خاک سطحی اطراف مجتمع دفع و پردازش پسماند جامد شهری آرادکوه تهران در سال ۱۳۹۹ انجام یافت. نتایج بیانگر شناسایی ۱۵ ترکیب PCB با میانگین مجموع مقادیر ۳۵۹ میلی گرم در کیلوگرم در نمونه‌های خاک بود. با توجه به نتایج آزمون تجزیه مؤلفه‌های اصلی و همچنین سهم زیاد غلظت همولوگ‌های سبک از کل غلظت ترکیبات PCB شناسایی شده در نمونه‌ها، می‌توان وجود ترکیبات PCB در نمونه‌ها را با فرایند احتراق ترکیبات حاوی اتم کلر مرتبط دانست. نتایج نشان داد که میانگین غلظت ترکیبات 8PCB، 138PCB، 105PCB، 101PCB، 70PCB، 31PCB، 28PCB و 195PCB در نمونه‌های خاک سطحی از حد مجاز بیشتر بوده است. در حالی که، میانگین غلظت سایر PCBها اختلاف معنی‌دار آماری با حد مجاز نداشته است. مقادیر فاکتور سرطان‌زایی ناشی از قرارگرفتن در معرض PCBها از طریق بلع مستقیم، تنفس و یا تماس پوستی با خاک آلوده و همچنین فاکتور سرطان‌زایی کل نشان داد که مواجهه با خاک آلوده،

### منابع مورد استفاده

- Anh, H. Q., I. Watanabe, K. Tomioka, T. B. Minh and S. Takahashi. 2019. Characterization of 209 polychlorinated biphenyls in street dust from northern Vietnam: Contamination status, potential sources, and risk assessment. *Science of the Total Environment* 652: 345-355.
- Cachada, A., L. V. Lopes, A. S. Hursthouse, M. Biasioli, H. Grcman, E. Otabbong, C. M. Davidson and A. C. Duarte. 2009. The variability of polychlorinated biphenyls levels in urban soils from five European cities. *Environmental Pollution* 157: 511-518.
- Cetin, B. 2016. Investigation of PAHs, PCBs and PCNs in soils around a heavily industrialized area in Kocaeli, Turkey: Concentrations, distributions, sources and toxicological effects. *Science of the Total Environment* 560-561: 160-169.
- Cetin, B., S. Yurdakul, M. Keles, I. Celik, F. Ozturk and C. Dogan. 2017. Atmospheric concentrations, distributions and air-soil exchange tendencies of PAHs and PCBs in a heavily industrialized area in Kocaeli, Turkey. *Chemosphere* 183: 69-79.
- Chandra Yadav, I., N. Linthoingambi Devi, J. Li and G. Zhang. 2017. Polychlorinated biphenyls in Nepalese surface soils: Spatial distribution, air-soil exchange, and soil-air partitioning. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144: 498-506.
- Chen, M., P. Huan and L. Chen. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Urumqi, China: Distribution, source contributions, and potential health risks. *Environmental Monitoring and Assessment* 185 (7): 5639-5651.
- Davodpour, R., S. Sobhanardakani, M. Cheraghi, N. Abdi and B. Lorestani. 2019. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 77 (3): 344-358.
- Emoyan, O. O., E. O. Onocha and G. O. Tesic. 2020. Concentration assessment and source evaluation of 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from selected vehicle-parks in southern Nigeria. *Scientific African* 7: 1-13.
- Galbán-Malagón, C. J., S. Del Vento, A. Cabrerizo and J. Dachs. 2013. Factors affecting the atmospheric occurrence and deposition of polychlorinated biphenyls in the Southern Ocean. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13: 12029-12041.

10. Ge, J., L. A. Woodward, Q. X. Li and J. Wang. 2013. Distribution, sources and risk assessment of polychlorinated biphenyls in soils from the Midway Atoll, North Pacific Ocean. *PLoS ONE* 8 (8): 1-7.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. PP: 383-411. In: A. Klute (Ed). *Methods of Soil Analysis Part I, Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, USA.
12. Gerritse, R. G. and W. V. Driel. 1984. The relationship between adsorption of trace metals, organic matter, and pH in temperate soils. *Journal of Environmental Quality* 13: 197-204.
13. Gholamalifard, M., J. Phillips and M. Jalili Ghazizade. 2017. Evaluation of unmitigated options for municipal waste disposal site in Tehran, Iran using an integrated assessment approach. *Journal of Environmental Planning and Management* 60 (5): 792-820.
14. Gilbert, E., D. K. Doodoo, F. Okhai-Sam, D. K. Essumang and E. K. Quagraine. 2006. Characterization and source assessment of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the Fosu Lagoon, Ghana. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 41 (12): 2747-2775.
15. Halfadji, A., A. Touabet, F. Portet-Koltalo, F. Le-Derf and N. Merlet-Machour. 2019. Concentrations and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in agricultural, urban/residential, and industrial soils, east of Oran (Northwest Algeria). *Polycyclic Aromatic Compounds* 39 (4): 299-310.
16. Heywood, E., J. Wright, C. L. Wienburg, H. I. J. Black, S. M. Long, D. Osborn and D. J. Spurgeon. 2006. Factors influencing the national distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in British soils. *Environmental Science and Technology* 40: 7629-7635.
17. Ivanescu, V. 2015. Human health risk assessment posed by PCB exposure in Bucharest area. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 6: 453-458.
18. Ju, J. H., I. S. Lee, W. J. Sim, H. Eun and J. E. Oh. 2009. Analysis and evaluation of chlorinated persistent organic compounds and PAHs in sludge in Korea. *Chemosphere* 74: 441-447.
19. Kelepertsis, A., D. Alexakis and I. Kita. 2001. Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki Area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health* 23 (2): 117-135.
20. Kim, L., J. W. Jeon, J. Y. Son, M. K. Park, C. S. Kim, H. J. Jeon, T. H. Nam, K. Kim, B. J. Park, S. D. Choi and S. E. Lee. 2017. Monitoring and risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs) in agricultural soil from two industrialized areas. *Environmental Geochemistry and Health* 39: 279-291.
21. Kumar, B., V. Kumar Verma, S. Kumar Singh, S. Kumar, C. Shekhar Sharma and A. B. Akolkar. 2014. Polychlorinated biphenyls in residential soils and their health risk and hazard in an industrial city in India. *Journal of Public Health Research* 3 (2): 252.
22. Lang, Y. h., G. I. Li, W. Yang, X. m. Wang and P. Peng. 2014. Ecological risk and health risk assessment of dioxin-like PCBs in Liaohe Estuarine Wetland soils, China. *Polycyclic Aromatic Compounds* 34: 425-438.
23. Majlessi, M., M. Zamanzadeh, N. Alavi, N. Amanidaz and R. Bakhshoodeh. 2019. Generation rates and current management of municipal, construction and demolition wastes in Tehran. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 21: 191-200.
24. Meijer, S. N., W. A. Ockenden, A. Sweetman, K. Breivik, J. O. Grimalt and K. C. Jones. 2003. Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes. *Environmental Science and Technology* 37 (4): 667-672.
25. Melnyk, A., A. Dettlaff, K. Kuklińska, J. Namieśnik and L. Wolska. 2015. Concentration and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface soil near a municipal solid waste (MSW) landfill. *Science of the Total Environment* 530-531: 18-27.
26. Mohammadi Roozbahani, M., S. Sobhanardakani, H. Karimi and R. Sorooshnia. 2015. Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. *Iranian Journal of Toxicology* 9 (29): 1336-1341.
27. Mostafa, R. A., L. T. Wade, T. S. Sweet, A. K. A. Al-Alimi and O. A. Barakat. 2009. Distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen. *Journal of Marine Systems* 78: 1-8.
28. Pawelczyk, A. 2013. Assessment of health risk associated with persistent organic pollutants in water. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 497-508.
29. Peng, C., W. Chen, X. Liao, M. Wang, Z. Ouyang, W. Jiao and Y. Bai. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of Beijing: status, sources, distribution and potential risk. *Environmental Pollution* 159 (3): 802-808.
30. Romano, S., R. Piazza, C. Mugnai, S. Giuliani, L. G. Bellucci, N. H. Cu, M. Vecchiato, S. Zambon, D. H. Nhon and M. Frignani. 2013. PBDEs and PCBs in sediments of the Thi Nai Lagoon (Central Vietnam) and soils from its mainland. *Chemosphere* 90: 2396-2402.



31. Salihoglu, G., N. Kamil Salihoglu, E. Aksoy and Y. Tasdemir. 2011. Spatial and temporal distribution of polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations in soils of an industrialized city in Turkey. *Journal of Environmental Management* 92: 724-732.
32. Sanctorem, H., M. Elskens, M. Leermakers, Y. Gao, A. Charriau, G. Billon, S. Gosciny, W. De Cooman and W. Baeyens. 2011. Sources of PCDD/Fs, non-ortho PCBs and PAHs in sediments of high and low impacted transboundary rivers (Belgium-France). *Chemosphere* 85: 203-209.
33. Shin, S. K. and T. S. Kim. 2006. Levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oils from Korea. *Journal of Hazardous Materials* 137 (3): 1514-1522.
34. Syed, J. H., R. N. Malik, J. Li and K. C. Jones. 2013. Levels, distribution and air-soil exchange fluxes of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment of Punjab Province, Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 97: 189-195.
35. Verbruggen, E. M. J. and E. Brand. 2014. Risk-based standards for PCBs in soil, Proposals for Environmental Risk Limits and Maximum Values. The Dutch Ministry of Health, Welfare and Sport, National Institute for Public Health and the Environment.
36. Wang, C., S. Zhou, J. Song and S. Wu. 2018. Human health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban soils of Nanjing, China. *Science of the Total Environment* 612: 750-757.
37. Wu, S., X. Xia, L. Yang and H. Liu. 2011. Distribution, source and risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban soils of Beijing, China. *Chemosphere* 82: 732-738.
38. Zhou, J. L., S. J. Rowland, R. F. C. Mantoura and B. J. Harland. 1995. Influence of the nature of particulate organic matter on the sorption of cypermethrin: implications on Koc correlations. *Environment International* 21: 187-195.
39. Zhou, J. L., T. W. Fileman, S. Evans, P. Donkin, J. W. Readman, R. F. C. Mantoura and S. Rowland. 1999. The partition of fluoranthene and pyrene between suspended particles and dissolved phase in the Humber Estuary: a study of the controlling factors. *Science of the Total Environment* 243-244: 305-321.
40. Zhou, J. L., E. Siddiqui, H. H. Ngo and W. Guo. 2014. Estimation of uncertainty in the sampling and analysis of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil in Brighton, UK. *Science of the Total Environment* 497: 163-171.

## Source Identification and Health Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Surface Soils from Vicinity of Arad-Kouh Processing and Disposal Complex, Tehran

S. M. Mohammadi, B. Lorestani\*, S. Sobhanardakani, M. Cheraghi and M. Kiani Sadr<sup>1</sup>

(Received: December 14-2020; Accepted: May 6-2021)

### Abstract

Polychlorinated biphenyls (PCBs) can adversely affect human and environmental health according to long-term half-life and persistence in the environment. Therefore, this study was conducted to detect, identify, and health risk assessment of PCBs in surface soils collected from the vicinity of Arad-Kouh processing and disposal complex, Tehran, in 2020. A total of 30 surface soil samples was collected from 10 sampling sites near the Arad-kouh complex. After extraction of analytes, the gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) method was used to determine PCBs in soil samples. Based on the results, 15 congeners of PCBs were detected in the analyzed soil samples. Also, the minimum, maximum, and mean concentrations of total PCBs ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) were 269, 434, and 359, respectively. Moreover, the results of PCA and significant contribution values of low molecular weight homologs indicated that the presence of PCB compounds in the soil samples was connected with combustion processes in the soil. Besides, as among the detected PCBs, the TEF values only established for PCB105 showed that exposure to contaminated soil could be lead to a moderate level of carcinogenic risk through PCB105. Given that PCBs have adverse effects on the environment and human health, detecting, determining the concentration, source identification, and periodical monitoring of these compounds in different mediums to human health maintenance is strongly recommended.

**Keywords:** Arad-Kouh processing and disposal center, Surface soil, Municipal solid waste, Polychlorinated biphenyls, Tehran

<sup>1</sup>- Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: lorestanib@iauh.ac.ir