مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱ شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۳۱-۳۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تعیین ضریب توزیع و بررسی رفتار جذبی کبالت در خاک آبرفت پسماندگاه انارک

امیر مسعود طاهریان[۱]، علی مالکی[۱]، سمانه ذوالقدری[۲]، حسن یوسف نیا[۲]*، زهرا شیری یکتا[۳]، سمانه صرفی[۳]، حسن آقایان[۳] و سعید مومن زاده[۱]

[۱] شرکت پسماندازی صنعت هسته‌ای ایران، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

[۲] پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

[۳] پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کدپستی: ۸۳۶-۱۴۸۹۳.

پست الکترونیکی : hyousefnia@aeoi.org.ir

چکیده

تحلیل ایمنی ساختگاه انارک به عنوان تنها مرکز دفع پسماندهای پرتوزا به منظور حفظ سلامت انسان و محیط زیست حائز اهمیت ویژه‌ای است. ضرایب توزیع مواد پرتوزا در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، یکی از پارامترهای تاثیرگذار در محاسبات تحلیل ایمنی به شمار می‌آید. لذا در این مطالعه، ضریب توزیع کبالت در خاک آبرفت پسماندگاه انارک به روش بچ تعیین شد و اثر غلظت آلاینده، دانه‌بندی خاک و نسبت خاک به محلول مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین رفتار جذبی کبالت در خاک انارک، ایزوترم‌های جذب خطی، فرندلیچ و لانگمویر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقدار میانگین ضریب توزیع کبالت در خاک مذکور برابر با ۲۴۷/۱۸ mL/g محاسبه گردید. رفتار جذبی کبالت در خاک انارک از ایزوترم جذب لانگمویر با همبستگی مثبت و معنی دار تبعیت کرد. بیشینه مقدار جذب کبالت برابر با ۰/۰۲۹ میلی‌گرم بر گرم خاک تعیین گردید. نتایج ضریب توزیع حاصل در این مطالعه از اکثر مقادیر ارائه شده در سایر تحقیقات پیشین کمتر است که می‌تواند به ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک (شنی لومی) مرتبط باشد.

کلیدواژگان: ضریب توزیع، کبالت، پسماندگاه، انارک، روش بچ.

۱. مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل ایمنی تاسیسات دفع نزدیک به سطح ، ضرایب توزیع مواد پرتوزا در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. ضریب توزیع که به صورت نسبت مقدار جاذب جذب شده در واحد جرم خاک به مقدار جاذب باقیمانده در محلول در حالت تعادل تعریف می‌شود [۲،۱] ، جذب سطحی رادیونوکلیدها توسط خاک و مقدار انتقال داده شده‌ی آن‌ها توسط آب را در نظر می‌گیرد. از ضرایب توزیع به دلیل سادگی مفهومی آن‌ها، در مدل‌سازی حمل و نقل و ارزیابی خطر استفاده

می‌شود. در حالی‌که روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب توزیع تعریف شده است، روش بچ مرسوم‌ترین روش می‌باشد [۳ ، ٤].

مقادیر ضریب توزیع بسیار متغیر است و به شدت به ویژگی‌های خاک و منطقه وابسته است. از پارامترهای موثر بر مقادیر ضریب توزیع می‌توان به ویژگی‌های خاک (pH، محتوای رس ، درصد ماده آلی و ظرفیت تبادل کانیونی)، محلول (آب زیر زمینی آلوده شده)، آلاینده (غلظت) و جزئیات آزمایشگاهی (زمان مجاورت، pH سوسپانسیون محلول- خاک، نسبت محلول به خاک و غلظت) اشاره نمود[۵ ، ٦]. بر این اساس، آژانس بین المللی انرژی اتمی به کشورهای دارنده تاسیسات دفع نزدیک سطح توصیه نموده است که ضرایب توزیع مختص به سایت خود را در زمان انجام تحلیل ایمنی استفاده نمایند[۷].

انتشار کبالت در اکوسیستم‌ها به دلیل اثرات مشاهده شده بر سیستم عصبی انسان بسیار مورد توجه است [۸] . ضریب توزیع کبالت به روش بچ در منابع مختلفی گزارش شده است، لیکن مقادیر ارائه شده از ۳۳ L/kg تا ۱۵۰۰L/kg متغیر است [۹-۱٦] . با عنایت به ساخت پسماندگاه انارک و لزوم تحلیل ایمنی پسماندگاه، در این تحقیق سعی شد مقدار ضریب توزیع کبالت در خاک پسماندگاه انارک به روش بچ تعیین گردد. به منظور واقعی‌تر نمودن شرایط آزمایش از آب زیر زمینی انارک استفاده شد. همچنین رفتار جذبی کبالت در خاک انارک با استفاده از ایزوترم های جذب خطی، فرندلیچ و لانگمویر مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

نمونه خاک از محل آبرفت پسماندگاه انارک و تا عمق ۱ متر روی سنگ بستر تهیه شد. همچنین نمونه آب موجود در ترانشه تحقیقاتی در داخل پسماندگاه به عنوان نماینده شاخص کیفی آب پسماندگاه نیز فراهم شد. دستگاه سانتریفیوژ مدل MISTRAL 1000 (ساخت شرکت MSE) و دستگاه شیکر مدل WPE 45 (ساخت شرکت MEMMERT) برای انجام آزمایشات مرتبط با تعیین ضریب توزیع مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین غلظت اولیه و غلظت باقیمانده کبالت پس از مجاورت با خاک از دستگاه ICP-MS مدل9000 DRC (ساخت شرکت PerkinElmer) استفاده گردید.

۱.۲. تعیین ضریب توزیع کبالت در خاک انارک

در این تحقیق، به منظور تعیین ضریب توزیع کبالت از روش بچ استفاده گردید و اثرات غلظت آلاینده، دانه‌بندی خاک و نسبت خاک به محلول مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، دو مجموعه آزمایش طراحی و انجام پذیرفت.

آزمایش اول، با هدف بررسی اثر دانه‌بندی خاک و غلظت آلاینده در ضریب توزیع کبالت انجام پذیرفت. برای این منظور، دانه-بندی خاک با استفاده از الک‌های شماره ۵ و ۲۰۰ به ترتیب با اندازه چشمه ٤ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر صورت پذیرفت. بدین‌ترتیب آزمایشات برای خاک با سه نوع دانه‌بندی مختلف: طبیعی (عبوری از الک ۵)، خاک بین الک ۵ و ۲۰۰ و ریزدانه (عبوری از الک ۲۰۰) انجام شد. در تمامی این مجموعه از آزمایشات، نسبت خاک به محلول، برابر با ۰/۰۲ در نظر گرفته شد.

در آزمایش دوم، اثر نسبت خاک به محلول و همچنین غلظت آلاینده در ضریب توزیع کبالت مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش، خاک عبوری از الک ۵ به عنوان خاک طبیعی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. اما روش انجام کار در هر دو مجموعه آزمایش یکسان و به شرح ذیل می‌باشد:

۰/۵ گرم از خاک توزین شده و در ظروف پلی اتیلنی قرار گرفت. محلول کبالت با غلظت ها و حجم‌های معین به خاک اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت درون شیکر با دور ۲۰۰ rpm

قرار گرفت و پس از آن به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ rpm قرار داده شدند. قسمت مایع فوقانی مخلوط جدا شد و میزان یون کبالت توسط دستگاه ICP-MS آنالیز گردید. ضریب توزیع کبالت از رابطه ۱ تعیین گردید[۱۷].

$$K_d = \frac{B-A}{A} \times \frac{V}{m}, \quad (۱)$$

در این معادله، B مقدار گونه مورد جذب (توریم) قبل از تبادل یون در فاز محلول، A مقدار گونه مورد جذب بعد از تبادل یون در فاز محلول، V حجم محلول حاوی گونه مورد جذب بر حسب میلی‌لیتر و m وزن مبادله کننده بر حسب گرم می‌باشد. تمام آزمایشات سه بار تکرار شد.

۲.۲. بررسی رفتار جذبی کبالت در خاک انارک

رفتار جذبی کبالت در خاک انارک برای تعیین نوع ایزوترم جذب، خطی، فرندلیچ و لانگمویر با استفاده از روابط ۲، ۳ و ٤ مورد بررسی قرار گرفت. در این معادلات، q_e مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم جاذب و c_e غلظت تعادلی فلز برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند. در روابط ۳ و ٤، k_f و n به ترتیب ظرفیت جذب و قدرت اتصال و q_m و k_L به‌ترتیب حداکثر جذب و ثابت مربوط به انرژی اتصال می‌باشند[۱۸ و ۱۹].

$$q_e = a + b(c_e), \quad (۲)$$

$$\ln(q_e) = Ln(k_f) + \frac{1}{n} Ln(c_e), \quad (۳)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{k_L q_m} \cdot \frac{1}{c_e}. \quad (٤)$$

در ایزوترم جذب لانگمویر، پارامتر بدون بعد R_L برای ارزیابی جذب بهینه به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

$$R_L = \frac{1}{1+k_L c_0}. \quad (۵)$$

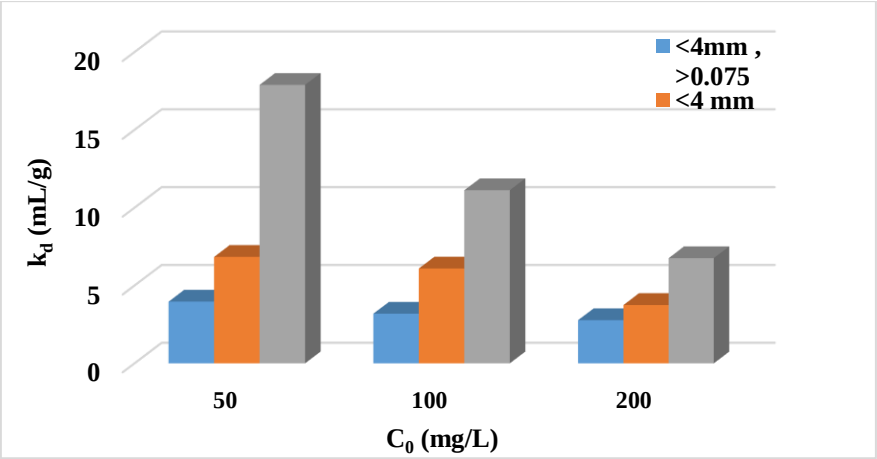
در این رابطه، C_0 حداکثر غلظت اولیه جزء جذب شده بر حسب میلی گرم در لیتر است. $R_L > 1$ و $R_L < 1$ به ترتیب جذب نامطلوب و مطلوب را نشان می‌دهند و $R_L = 0$ به عنوان جذب برگشت ناپذیر تعریف می‌شود.

۳. نتایج و بحث

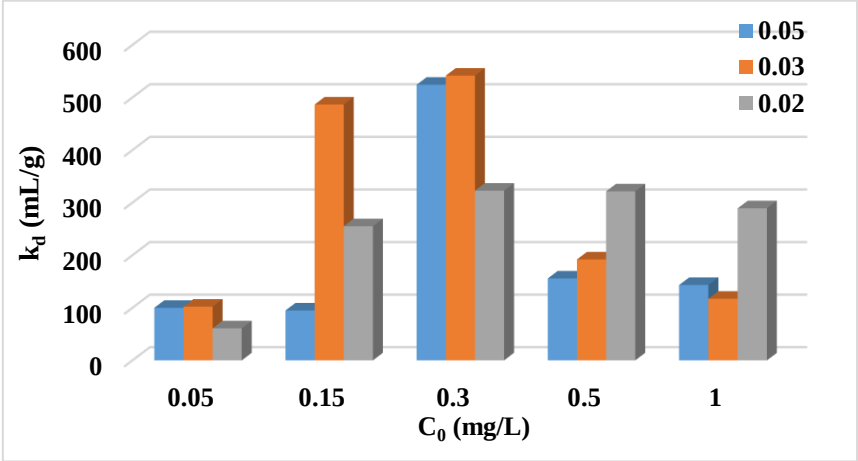
۱.۳. تعیین ضریب توزیع کبالت در خاک انارک

در شکل ۱، مقادیر ضریب توزیع کبالت بر حسب غلظت آلاینده برای دانه‌بندی‌های مختلف خاک ارائه شده است (نتایج آزمایش اول). نتایج حاکی از افزایش ضریب توزیع با کاهش اندازه ذرات خاک می‌باشد که در تطابق با سایر تحقیقات پیشین می‌باشد [۲۰]. کاهش اندازه ذرات باعث افزایش مساحت سطح می‌گردد. از طرف دیگر، کاهش اندازه مش‌های مورد استفاده، باعث افزایش درصد کانی‌های رسی مانند مونتموریلونیت می‌شود. مونتموریلونیت دارای تبادلات کاتیونی و قدرت جذب سطحی بالا بوده و برای ایزوله کردن پسماندگاه‌ها از آن استفاده می‌شود. این کانی رسی دارای یون‌های مثبت Na^+ قابل تعویض در ساختار خود می‌باشد که با یون‌های محلول در آب مانند کبالت تبادل یونی انجام داده و باعث جذب آن می‌گردد.

شکل ۲، مقادیر ضرایب توزیع کبالت در خاک انارک را برای غلظت‌های مختلف کبالت و نسبت‌های مختلف خاک به محلول نشان می‌دهد (نتایج آزمایش دوم). همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار ضریب توزیع با نسبت خاک به محلول، از الگوی منظمی پیروی نمی‌کند.



شکل ۱: مقادیر ضریب توزیع کبالت (mL/g) بر حسب غلظت آلاینده و برای دانه‌بندی‌های مختلف خاک.



شکل ۲: مقادیر ضریب توزیع کبالت (mL/g) بر حسب غلظت آلاینده و برای نسبت‌های مختلف خاک به محلول.

همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، با افزایش غلظت کبالت از ۰/۰۵ تا ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، ضریب توزیع افزایش می‌یابد اما با افزایش بیشتر غلظت کبالت، ضریب توزیع کاهش می‌یابد. کاهش ضریب توزیع در غلظت‌های بالاتر می‌تواند به اشباع شدن جایگاه‌های جذب موجود در سطح خاک مرتبط باشد که در نتیجه خاک نمی‌تواند مقادیر بیشتری را جذب نمایند. نتایج آزمایشات اول نیز حاکی از کاهش ضریب توزیع با افزایش غلظت کبالت می‌باشد که نتایج آزمایشات دوم را تایید می‌کند.

امروزه مطالعات متعددی برای تعیین ضرایب توزیع کبالت در خاک‌های مختلف صورت پذیرفته است[۵، ۹-۱۶ و ۱۹]. در حالی‌که از روش بچ برای این منظور استفاده شده است، سایر پارامترهای آزمایشگاهی از جمله غلظت، نسبت محلول به خاک و زمان مجاورت در این تحقیقات تا حدودی متفاوت می‌باشد. همچنین ویژگی‌های خاک هر منطقه از جمله نوع خاک، pH و میزان مواد آلی خاک متفاوت بوده که بر طبق مطالعه گارسیا و همکارانش، بیشترین تأثیر را بر میزان ضریب توزیع خواهد داشت. با توجه به تفاوت زیاد در مقادیر گزارش شده ضریب توزیع و توصیه EPA به استفاده از مقادیر ویژه سایت، در این مطالعه، ضریب توزیع کبالت در خاک انارک در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مقدار متوسط ضریب توزیع کبالت حاصل از این مطالعه به انضمام مقادیر ارائه شده در سایر تحقیقات پیشین در جدول ۱ داده شده است.

مقادیر ضریب توزیع حاصل از این مطالعه بسیار کمتر از مقادیر ارائه شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی و مقادیر توصیه شده توسط نرم افزار RESRAD می‌باشد. با این حال، این مقادیر بسیار شبیه به

مقادیر ارائه شده توسط گارسیا و همکارانش هستند [۱۶]، در حالی‌که این گروه تلاش نمودند تا بهترین برآوردهای جدید را برای ضرایب توزیع رادیونوکلئیدها در خاک ارائه نمایند. مقادیر کمتر ضریب توزیع حاصل در این مطالعه می‌تواند به ویژگی‌های خاک مرتبط باشد. نتایج مطالعات ردی و دان در خصوص اثر خاک بر مقادیر ضریب توزیع نشان داد که کمترین مقادیر در خاک لومی شنی با ظرفیت تبادل کم قابل مشاهده است. بنابراین با توجه به بافت خاک انارک (لومی شنی) [۲۰]، مقدار کمتر ضریب توزیع در مقایسه با سایر تحقیقات قابل توجیه است.

جدول ۱: مقایسه ضرایب توزیع کبالت حاصل از این مطالعه با سایر تحقیقات پیشین.

مقادیر ضریب توزیع کبالت			
مقدار میانگین	مقدار بیشینه	مقدار کمینه	منبع
۳۷/۱			[۹]
۱۳۰۰-۶۰			[۱۰]
	۹۵۶۰	۵/۲۷	[۱۱]
۱۳۰۰			[۱۲]
۱۰۰۰			[۱۳]
۱۲۰/۲			[۱۴]
۸۵/۱			[۱۵]
۱۵۰۰	۱۴۰۰۰	۲۰۰	[۵]
۴۸۰	۱۰۳۵۹۵	۲	[۱۶]
۳۳/۸	۲۶۰۴/۱	۵/۲	[۱۹]
۲۴۷/۱۸	۵۴۱/۵۰	۲/۷۷	این مطالعه

۲.۳. بررسی رفتار جذبی کبالت در خاک انارک

مقادیر جذب شده کبالت در خاک انارک (میکروگرم بر گرم خاک) برای غلظت‌های مختلف آلاینده و نسبت‌های مختلف خاک به محلول در جدول ۲ ارائه شده است. با بررسی ایزوترم‌های جذب خطی، فرندلیچ و لانگمویر، نتایج نشان داد که جذب کبالت در خاک انارک از ایزوترم جذب لانگمویر با همبستگی مثبت و معنی‌دار پیروی می‌کند. معادله جذب لانگمویر برای کبالت و پارامترهای ایزوترم لانگمویر در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که انتظار می‌رود، مقدار جذب کبالت در خاک انارک با افزایش غلظت به شدت افزایش می‌یابد که مشاهدات گزارش شده قبلی را تأیید می‌کند [۱۵]. همچنین جذب کبالت توسط خاک با کاهش نسبت خاک به محلول افزایش یافت. نتایج نشان داد که نسبت خاک به محلول می‌تواند بر پارامترهای ایزوترم های جذب و همچنین ضریب توزیع تأثیر بگذارد. حداکثر جذب برای کبالت برابر با ۰/۰۲۹ میلی‌گرم در گرم خاک برآورد شده است. مقدار R_L برای تمامی نسبت‌های خاک/محلول، کمتر از ۱ به دست آمد که نشاندهنده جذب مطلوب می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر جذب شده کبالت در خاک (میکروگرم بر گرم خاک).

غلظت کبالت (mg/L)	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۳	۰/۵	۱/۰
نسبت خاک/محلول					
۰/۰۲۵	۱/۱۶	۵/۳۶	۱۳/۵۶	۱۸/۰۲	۳۷/۶۰
۰/۰۳۳	۱/۰۲	۴/۳۸	۱۰/۸۳	۱۳/۰۰	۲۵/۵۶
۰/۰۵۰	۰/۸۰	۲/۵۶	۷/۳۴	۹/۱۸	۱۷/۷۸

جدول ۳: معادله جذب و پارامترهای جذب لانگمویر برای عنصر کبالت در خاک انارک.

	نسبت خاک به محلول		
	۰/۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲۵
معادله	y = ۶۳.۹۸۱x	y = ۵۰.۵۷۷x	y = ۴۴.۹۸x
	− ۳۴.۴۶۵	− ۵۰.۳۹۳	− ۵۵.۹۷۱
فاکتور همبستگی	۰/۹۹۷۴	۰/۹۸۹۴	۰/۹۸۸۱
q_m (میلی‌گرم بر گرم خاک)	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸
K_L	۰/۵۴	۰/۹۸	۱/۲۳
R_L	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۴۵

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، مقدار ضریب توزیع کبالت در خاک انارک در محدوده ۶۱/۰۵– ۵۴۱/۵۰ و با مقدار میانگین ۲۴۷/۱۸ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب توزیع به پارامترهای غلظت و نسبت خاک به محلول وابسته است. مقدار ضریب توزیع کبالت با افزایش غلظت تا mg/L ۰/۳، افزایش و سپس کاهش می‌یابد. الگوی منظمی از تغییرات ضریب توزیع با نسبت خاک به محلول مشاهده نشد. مقدار ضریب توزیع کبالت در خاک انارک از اکثر مقادیر گزارش شده در سایر تحقیقات علمی کمتر بدست آمد که می‌تواند به ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک (شنی لومی) مرتبط باشد. این مقدار، بیشترین تطابق را با مقدارارائه شده توسط گارسیا و همکارانش نشان داد. جذب کبالت در خاک انارک از ایزوترم جذب لانگمویر با همبستگی مثبت و معنی دار تبعیت می‌کند. با افزایش غلظت کبالت و کاهش نسبت خاک به محلول، میزان جذب کبالت در خاک انارک افزایش یافت. نتایج نشان داد که نسبت خاک به محلول می تواند بر پارامترهای ایزوترم های جذب تاثیرگذار باشد. بیشینه مقدار جذب برای کبالت برابر با ۰/۰۲۹ میلی‌گرم بر گرم خاک تعیین شد.

۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که مراتب تشکر و قدردانی خود را از پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای و شرکت پسمانداری صنعت هسته‌ای ایران که ما را در انجام و ارتقا کیفی این پژوهش یاری نمودند، اعلام نمایند.

٦. مراجع

1. Environmental Protection Agency, Understanding Variation in Partitioning Coefficients, Kd Values: VolumeI: The Kd Model, Methods Of Measurement, And, Application Of chemical Reaction Codes. Washington : Office Of Air and Radiation, 1999.
2. International Atomic Energy Agency, Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a co-ordinated research project. IAEA, Austria, 2004.
3. Environmental Protection Agency, Site Characterization for Subsurface Remediation. EPA/625/4-91/026, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1991.
4. ASTM (American Society of Testing and Materials). (1987). "24-hour Batch-Type Measurement of Contaminant Sorption by Soils and Sediments." In Annual Book of ASTM Standards, Water and Environmental Technology, Volume 11.04, Philadelphia, Pennsylvania, pp. 163-167.
5. S. Sheppard, J. Long, B. Sanipelli, G. Sohlenius. Solid/liquid partition coefficients (Kd) for selected soils and sediments at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. ECOMatters Inc. Canada (2009).
6. H. Vandenhove, C. Gil-García, A. Rigol, M.Vidal, New best estimates for radionuclide solid-liquid distribution coefficients in soils. Part 2: naturally occurring radionuclides. J. Environ. Radioact.100 (9) (2009) 697-703.
7. International Atomic Energy Agency, Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities, IAEA-TECDOC-1380. IAEA, Austria (2003).
8. L. Leyssens, B. Vinck, C. Van Der Straeten, F. Wuyts, L. Maes, Cobalt toxicity in humans-A review of the potential sources and systemic health effects. Toxicology. 15 (2017) 43-56.
9. B. Buchter, B. Davidoff, M. C. Amacher, C. Hinz, I. K. Iskandar, H. M. Selim, Correlation of Freundlich Kd and n retention parameters with soils and elements. Soil. Sci. 148 (1989) 370-379.
10. D. H. Thibault, M. I. Sheppard, P. A. Smith, A critical compilation and review of default soil solid/liquid partition coefficients, Kd, for use in environmental assessments. Atomic Energy of Canada Limited, AECL-10125. Canada, 1990.
11. M. A. Bangash, J. Hanif, M.Ali Khan, Sorption behavior of cobalt on illitic soil. Waste management, 12 (1992) 29-38.
12. International Atomic Energy Agency, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, Technical Report Series No. 364, IAEA, Austria, 1994.
13. C. Yu, User's Manual for RESRAD Version 6. U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, 2001.
14. Environmental Agency of the State of Sao Paulo, Report establishment of guiding values for soils and groundwater of the State of Sao Paulo. São Paulo, Brazil, 2001.
15. M. R. Soares, Distribution coefficient (Kd) of heavy metals in soils of the State of São Paulo. University of São Paulo. (In Portuguese), 2004.

16. C. Gil-García, K. Tagami, S. Uchida, A. Rigol, M. Vidal, New best estimates for radionuclide solid-liquid distribution coefficients in soils. Part 3: miscellany of radionuclides (Cd, Co, Ni, Zn, I, Se, Sb, Pu, Am, and others). J. Environ. Radioact. 100 (9) (2009) 704-715.
17. K. G.Varshney, S. Agrawal, K. Varshney, U. Sharma, S. Rani, Radiation stability of some thermally stable inorganic ion exchangers. J. Radioanal. Nucl. Chem. 82 (1984) 299-308.
18. V. K. Jain, R. A. Pandya, S. G. Pillai, Y. K. Agrawal, P. H. Kanaiya, Solid-phase extractive preconcentration and separation of lanthanum (III) and cerium (III) using a polymer-supported chelating calix [4] arene resin. J. Anal. Chem. 62 (2007) 104-112.
19. A. M. de Souza Braz, A. R. Fernandes, J. R. Ferreira, L. R. Alleoni. Distribution coefficients of potentially toxic elements in soils from the eastern Amazon. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 20 (10) (2013) 7231-742.
20. A. Taherian, A. Maleki, S. Zolghadri, H. Yousefnia, Z. Shiri-Yekta, S. Sarfi, H. Aghayan, S. Momenzadeh, Distribution coefficient determination of thorium on alluvium soil of Anarak Nuclear Repository. JonSat. 43 (1) (2022) 106-115.