



بررسی ضریب توزیع استرانسیم در نمونه‌ای از خاک تهران

شیوا باقری^۱، سید امیرحسین فقهی^۱، حسین قاسمی مبتکر^{۲*}، امیرمسعود طاهریان^۲، حسن آقاییان^۲، طاهر یوسفی^۲
 ۱. دانشکده مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، کدپستی: ۱۹۸۳۹۶۹۴۱۱، تهران - ایران
 ۲. پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران - ایران
 ۳. شرکت مدیریت پسمان‌های پرتوزای ایران، کدپستی: ۱۴۳۹۵۵۹۳۱، تهران - ایران

*Email: hghasemi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۵

چکیده

این تحقیق به بررسی ضریب توزیع استرانسیم در نمونه‌ای از خاک منطقه جنوب تهران می‌پردازد. در این تحقیق از روش ستونی برای تعیین ضریب توزیع استرانسیم استفاده شده است. همچنین اثر سه فاکتور pH، غلظت استرانسیم و ارتفاع خاک در ستون با استفاده از طراحی آزمایش به روش RSM مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور برای هر پارامتر ۵ سطح مختلف در نظر گرفته شد و آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار MiniTab طراحی و انجام گردیدند. طبق نتایج به دست آمده در مدل پیش‌بینی شده، pH، ارتفاع ستون، برهم‌کنش بین pH و ارتفاع ستون، برهم‌کنش بین pH و غلظت استرانسیم و برهم‌کنش بین غلظت استرانسیم و ارتفاع ستون حایز اهمیت هستند. توان دوم ضرایب و هم‌چنین غلظت استرانسیم تأثیر زیادی بر میزان ضریب توزیع نداشته است. بیش‌ترین اثر ناشی از ارتفاع ستون می‌باشد که با افزایش ارتفاع ستون ضریب توزیع بیش‌تر می‌شود. میزان تطابق معادله پیش‌بینی کننده با مقادیر واقعی ۹۶/۳۹٪ است که مقدار قابل قبولی است.

کلیدواژه‌ها: ضریب توزیع، استرانسیم، روش سطوح پاسخ، جذب

Investigating the distribution coefficient of strontium in a sample of Tehran soil

Sh. Bagheri¹, S.A.H. Fegghi¹, H. Ghasemi Mobtaker^{2*}, A.M. Taherian³, H. Aghayan², T. Yousefi²

1. Nuclear Engineering School, Shahid Beheshti University, Postal code: 1983969411, Tehran-Iran
2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box:11365-8486, Tehran-Iran
3. Radioactive Waste Management Company, Postal code: 1439955931, Tehran-Iran

Research Article

Received 14.12.2021, Accepted 25.1.2022

Abstract

This study investigates the distribution coefficient of strontium in a soil sample in the south of Tehran. In this research, the columnar method was used to determine the distribution coefficient of strontium. Also, the effect of three factors, pH, strontium concentration, and soil height in the column was studied using the RSM method's experimental design. For this purpose, five different levels were considered for each parameter, and the experiments were designed and performed by MiniTab software. According to the results obtained in the predicted model, pH, column height, interaction between pH and column height, the interaction between pH and strontium concentration, and interaction between strontium concentration and column height are important. The square of the coefficients as well as the concentration of strontium, did not have much effect on the distribution coefficient. The most significant effect is due to the height of the column, which increases with increasing the height of the column. The rate of conformity of the predictive equation with the actual values is 96.39%, which is an acceptable value.

Keywords: Distribution coefficient, Strontium, Response surface method, Adsorption



۱. مقدمه

میزان آلودگی و سرعت حرکت آن و قدرت بازداری خاک از گسترش آلودگی در منطقه کسب نمود. یکی از روش‌های رایج برای اندازه‌گیری K_d روش ستونی می‌باشد. در این روش محلولی حاوی مقادیر مشخصی از رادیونوکلیید از ستونی از خاک با دانسیته خاص عبور داده می‌شود. غلظت سیال خروجی به صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه سرعت آب در منافذ از یک ردیاب مانند فلوروسین استفاده می‌شود. در نهایت داده‌ها به صورت یک منحنی شکست رسم می‌گردند. متوسط زمان حضور برای یک ورودی پله‌ای به صورت زیر می‌باشد:

$$t_{step} = \frac{\int_{C_{min}}^{C_{max}} t dC}{\int_{t_{min}}^{t_{max}} C_i dt} \quad (1)$$

در این معادله C_{max} ، بیش‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده در پساب بر حسب g/ml و C_{min} ، کم‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده در پساب بر حسب g/ml می‌باشد. زمانی که منحنی خروجی ایده‌آل باشد، T_{step} برابر با زمانی است که منحنی شکست به ۰/۵ یا ۵۰٪ از شکست برسد. به عبارت دیگر $C_i/C_o = 0.5$ خواهد بود. فاکتور تأخیر نسبت سرعت منافذ آب به سرعت آلاینده تعریف می‌شود و واحد آن سانتی‌متر بر ساعت است. این فاکتور با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$R_f = \frac{V_p}{V_c} \quad (2)$$

سرعت منافذ آبی به عنوان سرعت ردیاب غیر قابل جذب تعریف می‌شود. مقدار ضریب توزیع K_d را می‌توان مستقیماً با استفاده از فاکتور تأخیر و خواص خاک محاسبه کرد. ضریب توزیع را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد که در آن n تخلخل کل و ρ_b دانسیته می‌باشد [۸-۱۴].

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b K_d}{n} \quad (3)$$

فاکتورهای مختلفی می‌توانند بر میزان K_d مؤثر باشند که در این پروژه سه فاکتور ارتفاع ستون، غلظت استرانسیم و pH انتخاب شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. در این کار این سه فاکتور با استفاده از روش Response Surface به کمک نرم‌افزار MiniTab بررسی گردیده و معادله پیش‌بینی کننده‌ی K_d در شرایط مختلف به دست آمد. همچنین برهم‌کنش فاکتورها نیز بررسی گردید.

با پیشرفت و توسعه فن‌آوری و افزایش جمعیت، گسترش آلودگی‌ها در مناطق مختلف از جمله مناطق صنعتی و کشاورزی رشد چشمگیری داشته است. آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین و رادیونوکلییدها در نتیجه بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، مصرف مواد شیمیایی، استخراج معادن و همچنین منابعی مانند ضایعات کشاورزی و فاضلاب‌ها ایجاد شده و به اتمسفر و محیط‌های خاکی و آبی وارد می‌شوند. مواد شیمیایی انباشته شده در مراکز دفن پسماندها ممکن است به آب‌های زیرزمینی، کانال‌های زه‌کشی یا جریان‌های سطحی راه پیدا کنند. این بحث برای مواد پرتوزا و مواد شیمیایی منتشر شده از مراکز نگهداری پسماندها و پسمانگورها نیز صادق است.

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در محاسبات تحلیل ایمنی پسمانگور پسماندهای هسته‌ای، مقادیر ضرایب توزیع (K_d) می‌باشد و این مقادیر در خاک‌هایی با جنس‌های مختلف متفاوت است. تعیین این مقادیر به صورت آزمایشگاهی امری بسیار ضروری و حایز اهمیت است.

آلودگی محیط زیست به وسیله مواد پرتوزا و فلزات سنگین به دلیل اثرات زیان‌بار آن‌ها از اهمیت بیش‌تری برخوردار است و اثرات آن در اکوسیستم بسیار نگران‌کننده‌تر است. این مواد به اشکال قابل انتقال تبدیل شده و در محیط‌های پذیرنده رسوبات تجمع می‌یابند. این آلودگی‌ها وارد زنجیره غذایی شده و بسیاری از آن‌ها حتی در غلظت‌های کم نیز سمی و مضر می‌باشند.

یکی از این رادیونوکلییدها استرانسیم-۹۰ است که عنصری با نیمه‌عمر ۲۸ سال و دارای میل ترکیبی بسیار بالا و به شدت سمی است. در اطفال جذب استرانسیم زیادی، باعث اختلالات رشد می‌شود. وقتی جذب استرانسیم بسیار زیاد باشد، رشد استخوان‌ها دچار مشکل می‌شود. اگر جذب استرانسیم پرتوزا خیلی زیاد باشد، باعث کم‌خونی و کمبود اکسیژن می‌شود. غلظت بسیار بالای استرانسیم به خاطر آسیب به ماده ژنتیکی سلول‌ها باعث سرطان می‌شود. از طرفی استرانسیم از نظر شیمیایی بسیار شبیه به عنصر کلسیم بوده و می‌تواند در استخوان و دندان‌ها تجمع پیدا کند و خطر اصلی در رابطه با استرانسیم ناشی از همین موضوع می‌باشد [۱-۷].

در این تحقیق ضریب توزیع استرانسیم در نمونه‌ای از خاک منطق جنوبی تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آن‌جا که جهت جریان‌های آب زیرزمینی به سمت جنوب تهران بوده و در صورت بروز حوادثی که منجر به نشت رادیونوکلییدها گردد این آلودگی به سمت جنوب تهران خواهد رفت، با آگاهی از ضریب توزیع خاک منطقه می‌توان پیش‌بینی‌های مناسبی در خصوص



جدول ۱. جدول طراحی رندوم برای RSM

Order	pt Type	Blocks	H(cm)	pH	C(ppm)
۱	۱	۱	۴	۴	۳۵۰
۲	۱	۱	۴	۸	۳۵۰
۳	۱	۱	۲	۴	۲۵۰
۴	۱	۱	۲	۸	۲۵۰
۵	۱	۱	۲	۸	۳۵۰
۶	-۱	۱	۵	۶	۳۰۰
۷	-۱	۱	۱	۶	۳۰۰
۸	۱	۱	۴	۸	۲۵۰
۹	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۰	۱	۱	۲	۴	۳۵۰
۱۱	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۲	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۳	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۴	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۵	-۱	۱	۳	۲	۳۰۰
۱۶	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۷	-۱	۱	۳	۱۰	۳۰۰
۱۸	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۱۹	۱	۱	۴	۴	۲۵۰
۲۰	-۱	۱	۳	۶	۲۰۰
۲۱	۰	۱	۳	۶	۳۰۰
۲۲	-۱	۱	۳	۶	۴۰۰

جدول ۲. فازهای شناسایی شده توسط آنالیز XRD در نمونه خاک

فرمول شیمیایی	کانی
SiO_2	کوارتز
$Na_x(Al, Mg)_y Si_z O_{3z} (OH)_t - xH_2O$	مونتموریلونیت
$(K, Na)(Al, Mg, Fe)_x (Si_y Al_z) O_{3y} (OH)_t$	مسکوویت
$CaCO_3$	کلسیم کربنات
$NH_4 Ca_4 P_2 O_{14} \cdot 2H_2O$	آمونیم کلسیم فسفات هیدرات

جدول ۳. نتایج آنالیز XRF نمونه خاک

درصد وزنی در خاک	ترکیب
۶۶٫۰۶	SiO_2
۱۰٫۶۳	Al_2O_3
۱٫۳۶	Fe_2O_3
۰٫۲۶	FeO
۴٫۶۵	MgO
۸٫۸۰	CaO
۰٫۱۷	Na_2O
۰٫۴۷	K_2O

۲. مواد شیمیایی و دستگاه‌وری

نمونه‌ای از خاک از مناطق جنوبی تهران به دست آمد. این نمونه دانه‌بندی شد و ذرات دارای ابعاد ۱۸۰-۲۰۰ میکرومتر برای انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند. مواد شیمیایی مورد استفاده همگی دارای خلوص تجزیه‌ای بوده و از شرکت مرک تهیه شده بودند. روش پراش اشعه ایکس برای شناسایی اجزای خاک استفاده شد که برای این منظور از دستگاه پراش اشعه ایکس ساخت STOE آلمان مدل STADI MP استفاده گردید. ترکیب شیمیایی خاک با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس به دست آمد که برای این منظور از دستگاه فلورسانس ساخت OXFORD مدل ED ۲۰۰۰ استفاده شد. در این تحقیق اثر سه فاکتور pH، ارتفاع ستون و غلظت محلول استرانسیم بر روی K_d استرانسیم در جذب ستونی مطالعه گردید. ستون توسط وزن مشخصی از خاک (برای به دست آوردن ارتفاع خاص ستون) پر شد و محلول استرانسیم با غلظت و pH معین از ستون عبور داده شد. سرعت جریان عبور محلول از ستون در طی آزمایش توسط پمپ پریستالتیک ثابت نگه داشته شد و نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص جمع‌آوری گردیدند. غلظت استرانسیم در نمونه توسط روش ICP تعیین گردید. مقادیر K_d از فاکتور بازداری (Rf) محاسبه گردید. سرعت آب حفره که به صورت سرعت ردیاب جذب نشده تعریف می‌شود توسط فلوروسین تعیین گردید. از روش طراحی آزمایش برای ارزیابی اثر پارامترهای مذکور بر روی K_d استفاده گردید. برای این منظور روش سطوح پاسخ (RSM) به کار گرفته شد که از نرم‌افزار MiniTab برای اجرای آن استفاده شد. ۵ سطح برای هر پارامتر در نظر گرفته شد. مقادیر pH شامل مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ می‌باشند. ارتفاع خاک نیز شامل مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر می‌باشند. غلظت‌های انتخاب شده عبارتند از ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ ppm. جدول ۱ طراحی رندوم را برای RSM نشان می‌دهد. سطوح پارامترها در این جدول نشان داده شده است.

۳. نتایج و بحث

جدول ۲ فازهای اصلی تعیین شده توسط روش XRD در نمونه خاک را نشان می‌دهد که در آن ترکیباتی مثل کوارتز، مونتموریلونیت، مسکوویت و ... دیده می‌شوند. جدول ۳ نتایج آنالیز XRF را نشان می‌دهد. طبق نتایج این آنالیز، نمونه خاک می‌تواند به عنوان خاک ماسه‌ای رسی در نظر گرفته شود.



جدول ۴. K_d محاسبه شده برای هر آزمایش

شماره آزمایش	$t_{step}(h)$	$K_d (cm^2/g)$
۱	۷,۱۸۰	۲۰,۵۴
۲	۵,۱۶۶	۱۷,۹۰
۳	۵,۳۰۲	۱۴,۲۰
۴	۵,۰۵۲	۱۹,۳۰
۵	۳,۳۷۹	۲۵,۲۶
۶	۱۳,۳۰۹	۲۵,۶۲
۷	۲,۳۹۱	۲۱,۱۰
۸	۱۰,۲۴۵	۲۸,۵۰
۹	۶,۷۸۴	۲۳,۴۰
۱۰	۴,۱۱۵	۲۵,۶۰
۱۱	۶,۴۱۲	۲۲,۵۰
۱۲	۶,۷۴۵	۲۳,۷۲
۱۳	۷,۸۰۹	۲۲,۶۰
۱۴	۷,۴۲۲	۲۱,۳۵
۱۵	۲,۵۶۴	۲۱,۲۰
۱۶	۷,۰۴۰	۲۳,۴۶
۱۷	۷,۷۰۷	۲۳,۱۰
۱۸	۷,۱۱۷	۲۲,۲۰
۱۹	۸,۹۶۲	۲۵,۹۰
۲۰	۱۰,۵۲۹	۲۲,۳۰
۲۱	۷,۴۲۲	۲۲,۸۰
۲۲	۵,۵۹۶	۲۱,۴۱۰

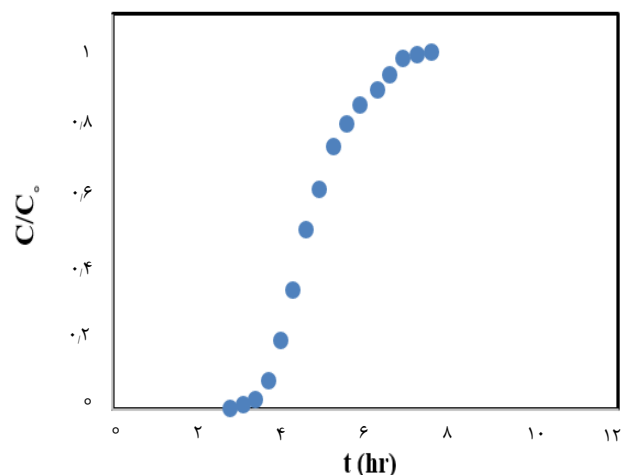
جدول ۵ نتایج مربوط به اهمیت فاکتورهای مختلف و اهمیت برهم‌کنش آن‌ها در میزان K_d به دست آمده و همچنین رگرسیون مربوط به میزان تطابق معادله پیش‌بینی K_d در شرایط مختلف با مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. در این جدول خطای استاندارد مربوط به ضرایب عوامل و برهم‌کنش‌های آن‌ها نیز مشاهده می‌شود. میزان اهمیت هر یک از اثرات در ستون P آورده شده است که بر اساس آن می‌توان نتیجه گرفت اثر مربوط به غلظت از اهمیت کمی در محاسبه ضریب توزیع برخوردار است، زیرا مقدار P برای این اثر بیشتر از سطح اطمینان ۰,۰۵ می‌باشد ($P=۰,۱۲۴$). همان‌طور که مشاهده می‌شود جملات شامل توان دوم فاکتورهای مؤثر، اهمیت چندانی در معادله پیش‌بینی ندارند. میزان تطابق معادله پیش‌بینی‌کننده با مقادیر واقعی ۹۶,۳۹٪ است که مقدار قابل قبولی است.

همان‌گونه که در بخش قبلی بیان شد تعداد ۲۲ آزمایش برای سه متغیر طراحی گردید. نمودارهای C/C_0 برحسب زمان برای تمامی آزمایشات ترسیم گردید. شکل ۱ نمودار نوعی را برای یکی از آزمایش‌ها نشان می‌دهد. به منظور ممانعت از حجیم شدن مطلب، از آوردن تمامی نمودارها که ۲۲ نمودار می‌باشند، خودداری نموده و فقط یکی از آن‌ها را به عنوان نمونه در این جا آورده‌ایم.

t_{step} برحسب ساعت با استفاده از فرمول ۱ محاسبه شد. برای محاسبه انتگرال از نرم‌افزار Excel استفاده شد. همان‌طور که گفته شد برای محاسبه فاکتور بازداری، به نسبت سرعت آب در منافذ به سرعت آلاینده نیاز داریم. برای محاسبه سرعت آب در منافذ از محلول ۱۰ ppm فلورسین و ارتفاع ستون خاک برابر با ۴,۲ cm استفاده شد. با انجام این آزمایش سرعت آب در منافذ برابر با ۰,۰۸۳۳۳ به دست آمد. به این ترتیب طبق فرمول داریم:

$$V_p = H / t = 4,2 / 0,083333 = 50,4002 \text{ cm / hr} \quad (4)$$

V_c نیز برای هر آزمایش محاسبه گردید. با جاگذاری مقدار ρ_b (که برابر با $2,5 \text{ g/cm}^3$ به دست آمد) و مقدار تخلخل (که برابر ۰,۵ محاسبه گردید) در معادله ۳، مقدار K_d برای آزمایشات مختلف، محاسبه گردید. مقادیر t_{step} و K_d محاسبه شده برای آزمایشات، در جدول ۴ آورده شده است. مقادیر K_d به دست آمده از محاسبات بالا به عنوان پاسخ وارد نرم‌افزار Minitab گردید.



شکل ۱. منحنی شکست نوعی برای یکی از آزمایش‌ها با شرایط $pH=4, H=2 \text{ cm}, C=250 \text{ ppm}$

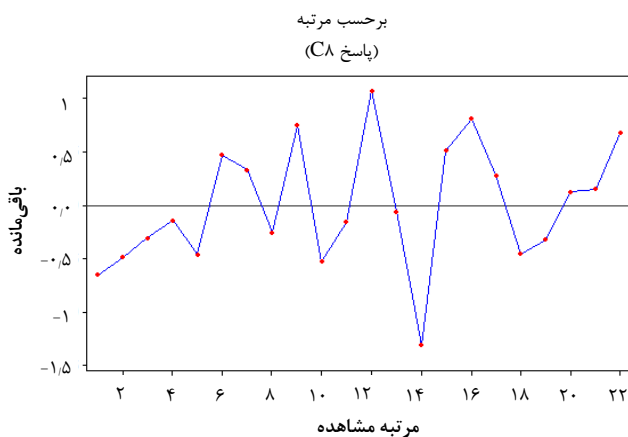


جدول ۶. میزان انطباق مدل با پاسخ آزمایشها

obs	مرتبۀ Std	C ₁	برازش	برازش SE	باقی مانده	St Resid
۱	۶	۲۰,۵۴	۲۱,۱۹	۰,۵۹۵	-۰,۶۵	-۱,۳۹
۲	۸	۱۷,۹	۱۸,۳۸۵	۰,۵۹۵	-۰,۴۸۵	-۱,۰۴
۳	۱	۱۴,۲	۱۴,۵۰۵	۰,۵۹۵	-۰,۳۰۵	-۰,۶۵
۴	۳	۱۹,۳	۱۹,۴۴	۰,۵۹۵	-۰,۱۴	-۰,۳
۵	۷	۲۵,۲۶	۲۵,۷۲۵	۰,۵۹۵	-۰,۴۶۵	-۱
۶	۱۰	۲۵,۶۲	۲۵,۱۵۵	۰,۶۲۴	۰,۴۶۵	۱,۰۹
۷	۹	۲۱,۱	۲۰,۷۷۵	۰,۶۲۴	۰,۳۲۵	۰,۷۶
۸	۴	۲۸,۵	۲۸,۷۶	۰,۵۹۵	-۰,۲۶	-۰,۵۶
۹	۱۷	۲۳,۴	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	-۰,۷۴۵	-۱,۰۵
۱۰	۵	۲۵,۶	۲۶,۱۳	۰,۵۹۵	-۰,۵۳	-۱,۱۳
۱۱	۱۶	۲۲,۵	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	-۰,۱۵۵	-۰,۲۲
۱۲	۲۰	۲۳,۷۲	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	۱,۰۶۵	۱,۵
۱۳	۱۹	۲۲,۶	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	-۰,۰۵۵	-۰,۰۸
۱۴	۲۱	۲۱,۳۵	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	-۱,۳۰۵	-۱,۸۴
۱۵	۱۱	۲۱,۲	۲۰,۶۹	۰,۶۲۴	۰,۵۱	۱,۱۹
۱۶	۲۲	۲۳,۴۶	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	۰,۸۰۵	۱,۱۴
۱۷	۱۲	۲۳,۱	۲۲,۸۲	۰,۶۲۴	۰,۲۸	۰,۶۶
۱۸	۱۵	۲۲,۲	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	-۰,۴۵۵	-۰,۶۴
۱۹	۲	۲۵,۹	۲۶,۲۲۵	۰,۵۹۵	-۰,۳۲۵	-۰,۷
۲۰	۱۳	۲۲,۳	۲۲,۱۸	۰,۶۲۴	۰,۱۲	۰,۲۸
۲۱	۱۸	۲۲,۸	۲۲,۶۵۵	۰,۲۶۳	۰,۱۴۵	۰,۲
۲۲	۱۴	۲۴,۱	۲۳,۴۳	۰,۶۲۴	۰,۶۷	۱,۵۷

جدول ۷. خروجی نرم افزار Mintab برای جدول ANOVA

منبع	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
رگرسیون	۹	۱۸۳,۰۱۳	۱۸۳,۰۱۳	۲۰,۳۳۴۷	۳۵,۵۷	۰
خطی	۳	۲۵,۲۸۴	۲۵,۲۸۴	۸,۴۲۷۹	۱۴,۷۴	۰
مربعی	۳	۱,۸۱۳	۱,۸۱۳	۰,۶۰۴۴	۱,۰۶	۰,۴۰۳
اثر متقابل	۳	۱۵۵,۹۱۶	۱۵۵,۹۱۶	۵۱,۹۷۱۹	۹۰,۹۲	۰,۰۰۰
خطای باقی مانده	۱۲	۶,۸۶۰	۶,۸۶۰	۰,۵۷۱۶		
عدم برازش	۵	۲,۶۴۲	۲,۶۴۲	۰,۵۲۸۵	۰,۸۸	۰,۵۴۲
خطای خالص	۷	۴,۲۱۷	۴,۲۱۷	۰,۶۰۲۵		
کل	۲۱	۱۸۹,۸۷۲				



شکل ۲. نمودار خطاهای باقی مانده برحسب شماره آزمایش.

جدول ۵. نتایج مربوط به اهمیت فاکتورهای مختلف و اهمیت برهم کنش آنها

Term	Coef	SE Coef	T	P
constant	۲۲,۶۵۵۰	۰,۲۶۲۷	۸۶,۲۵۱	۰,۰۰۰
H	۱,۰۹۵۰	۰,۱۸۹۰	۵,۷۹۳	۰,۰۰۰
pH	۰,۵۳۲۵	۰,۱۸۹۰	۲,۸۱۷	۰,۰۱۶
C	۰,۳۱۲۵	۰,۱۸۹۰	۱,۶۵۳	۰,۱۲۴
H*H	۰,۰۷۷۵	۰,۱۴۴۷	۰,۵۳۶	۰,۶۰۲
pH*pH	-۰,۲۲۵۰	۰,۱۴۴۷	-۱,۵۵۵	۰,۱۴۶
C*C	۰,۰۳۷۵	۰,۱۴۴۷	۰,۲۵۹	۰,۸۰۰
H*pH	-۰,۶۰۰۰	۰,۲۶۷۳	-۲,۲۴۵	۰,۰۴۴
H*C	-۴,۱۶۵۰	۰,۲۶۷۳	-۱۵,۵۸۱	۰,۰۰۰
pH*C	-۱,۳۳۵۰	۰,۲۶۷۳	-۴,۹۹۴	۰,۰۰۰

S=۰,۷۵۶۰۷۳ PRESS=۲۶,۵۰۵
 R-Sq=۰,۹۶۳۹ R-Sq(adj)=۰,۹۳۶۸

جدول ۶ میزان انطباق مدل با پاسخ آزمایشها را نشان می دهد. در این جدول مقدار پاسخ هر آزمایش، مقدار پاسخ منطبق شده توسط مدل، خطای استاندارد انطباق و باقی مانده ای استاندارد ارایه شده است. خطای باقی مانده استاندارد به صورت زیر بیان می شود:

$$St\ Resid = \frac{Residual}{Sd\ of\ Residual} \quad (۵)$$

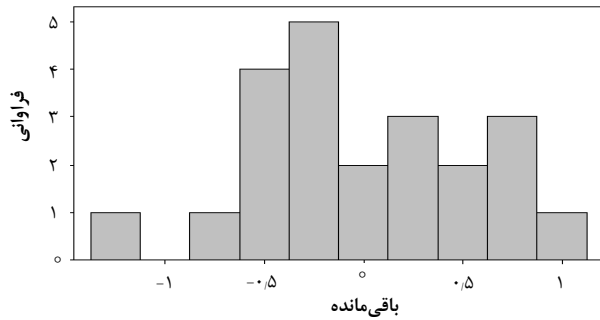
$St\ Resid$ معیاری برای مشاهدات غیرعادی است و اغلب محدوده ای بین ۲- تا ۲+ دارد.

خروجی نرم افزار Mintab برای جدول ANOVA به صورت زیر است (جدول ۷) که با توجه به ضریب اطمینان ۰,۰۵ نتایج را می توان تحلیل کرد. با توجه به آن که مقدار P به دست آمده برای ضریب جملات خطی و جملات برهم کنش بین عوامل، کم تر از سطح اطمینان ۰,۰۵ است، می توان نتیجه گرفت که مدل دارای انحنای نبوده و جملات مربوط به برهم کنش بین عوامل دارای اهمیت زیادی هستند.

شکل ۲ نمودار توزیع خطاهای باقی مانده برحسب ترتیب پاسخها را نشان می دهد. در این نمودار میزان خطای باقی مانده هر آزمایش بر اساس شماره آزمایش رسم شده است.

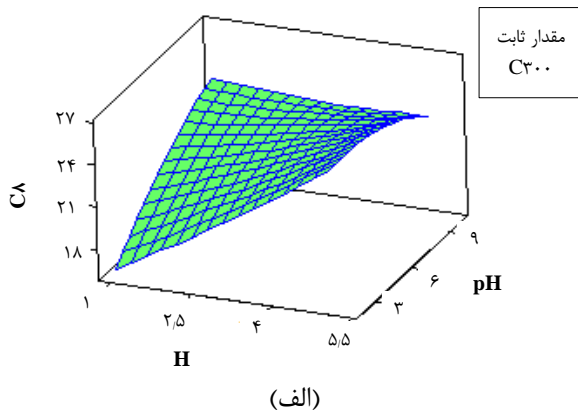
عدم وجود نظم و جهت گیری خاص بین خطاهای باقی مانده، نشان دهنده توزیع نرمال خطاهای باقی مانده در بین تمام آزمایشها می باشد که این امر خود باعث حذف خطاهای غیرتصادفی خواهد شد.



هیستوگرام
(پاسخ CA)

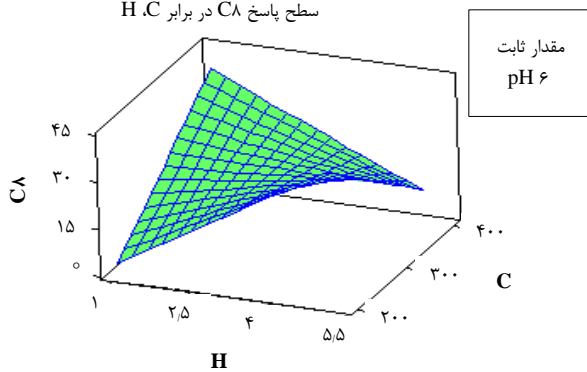
شکل ۳. هیستوگرام خطاهای باقی مانده.

سطح پاسخ CA در برابر pH.H



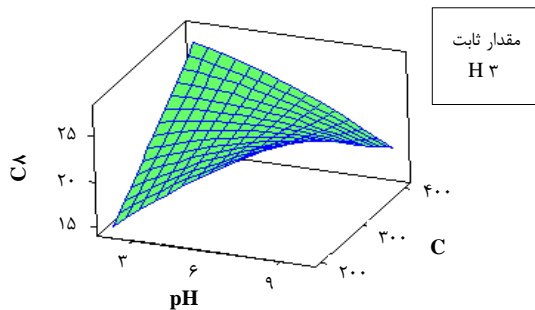
(الف)

سطح پاسخ CA در برابر H.C



(ب)

سطح پاسخ CA در برابر pH.C



(ج)

شکل ۴. نمودارهای سطوح پاسخ که در الف) pH ثابت است، ب) غلظت و ج) ارتفاع ستون.

نمودار هیستوگرام خطاهای باقی مانده در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رود یک روند توزیع تقریباً نرمال مشاهده می شود که در صورت افزایش تعداد آزمایش ها، تمایل نمودار به حالت توزیع نرمال (گوسی) بیش تر می شود. سطوح پاسخ برای سه عامل غلظت محلول استرانسیم، ارتفاع ستون خاک و pH به صورت نمودارهای سه بعدی به دست آمده اند (شکل ۴). این نمودارها براساس مقادیر ثابت برای یک عامل و رسم پاسخ برای دو عامل دیگر ترسیم شده اند. در نهایت با استفاده از ضرایب و مقدار P با ضریب اطمینان کم تر از ۰٫۰۵ و فرمول ذکر شده در بالا رابطه‌ی زیر برای ضریب توزیع یون استرانسیم در خاک و ارتفاع خاک، غلظت و pH پیش بینی شد:

$$K_d = -88.4800 + 27.42H + 5.84625pH - 0.3(H \times pH) - 0.833(H \times C) - 0.1335(pH \times C) \quad (6)$$

این رابطه نشان می دهد که بیش ترین تأثیر ناشی از ارتفاع ستون و سپس pH بوده و در رتبه های بعدی برهم کنش بین فاکتورها قرار دارند. غلظت استرانسیم تأثیری بر میزان K_d نداشته است.

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات تعیین ضریب توزیع مشخص شد که با افزایش ارتفاع خاک زمان شکست افزایش یافته است، زیرا با افزایش ارتفاع ستون خاک، مواضع بیشتری برای جذب استرانسیم در خاک ایجاد می شود که در نهایت باعث افزایش ظرفیت جذب و افزایش زمان شکست می شود و همین طور به دلیل طولانی شدن مسیر عبور محلول از خاک، استرانسیم فرصت بیشتری برای جذب دارد در نتیجه میزان جذب افزایش یافته و نقطه شکست دیرتر ظاهر می گردد.

تغییر غلظت بر روی سرعت اشباع شدن ستون و زمان شکست مؤثر است. با افزایش غلظت اولیه استرانسیم زمان شکست کاهش یافته است. این نتیجه به این دلیل است که غلظت بالای یون فلزی ستون خاک را سریع تر اشباع می کند. چون ذرات جاذب در معرض غلظت های بیشتری از استرانسیم قرار می گیرند. همچنین با افزایش غلظت استرانسیم منحنی های شکست تیزتری به دست می آیند که نشان دهنده ناحیه انتقال جرم کوچک تر و سرعت جذب بالاتر می باشد.



مراجع

1. Z. Ning, et al, *Strontium adsorption and penetration in kaolinite at low Sr²⁺ concentration*, *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(1), 14-17 (2017).
2. E. Başçetin, G. Atun, *Adsorption behavior of strontium on binary mineral mixtures of Montmorillonite and Kaolinite*, *Appl. Radiat. Isotopes*, **64** (8), 957-964 (2006).
3. *Geological disposal of spent fuel and high-level and alpha bearing wastes*, *Proceedings of symp, Antwerp, Belgium, 19-23 October 1992*, IAEA Publication, Vienna, Austria, (1993).
4. R.L. Bunde, et al, *Effects of calcium and magnesium on strontium distribution coefficients*, *Environ. Geol.*, **32** (3), 219-229 (1997).
5. M. Simad, "Nuclear power and fossil fuels: study of a symbiotic relationship", *Invited paper, Int. Energy Conf.*, Tehran, Iran, (1998).
6. U. Asim, et al, *Morphology controlled facile synthesis of MnO₂ adsorbents for rapid Strontium removal*, *J. Ind. Eng. Chem.*, **98**, 375-382 (2021).
7. J. Zhang, et al, *Distinctive two-step intercalation of Sr²⁺ into a coordination polymer with record high ⁹⁰Sr uptake capabilities*, *Chem*, **5**, 977-994 (2019).
8. A.H.M.J. Al-Obaidy, *Distribution of some metals in sediments and water in Tigris River*, *J. Global Ecol. Environ.*, **4**, 140-146 (2016).
9. Stephen D. Page, (Director), *Understanding Variation in Partition Coefficient, K_d Values*, EPA 402-R-99-004A, August (1999).
10. H.M.N. Kamel, *Adsorption models of ¹³⁷Cs radionuclide and Sr (II) on some Egyptian soils*, *J. of Environ. Radio.*, **101**, 297-303 (2010).
11. M.H. Gerzabek, F. Strebl, B. Temmel, *Plant uptake of radionuclides in lysimeter experiments*, *Environ. Pollut.*, **99**, 93-103 (1998).
12. C. Bucur, et al, *Diffusion Coefficients of Critical Radionuclides from Radioactive Waste in Geological Medium*, *WM'00 Conference, February 27 – March 2*, (2000), Tucson, AZ.
13. D.J. Ashworth, G. Shaw, *A comparison of the soil migration and plant uptake of radioactive chlorine and iodine from contaminated groundwater*, *J. Environ.*, **89**, 61-80 (2006).
14. S. Kasar, et al, *Sorption and desorption studies of Cs and Sr in contaminated soil samples around Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*, *J. Soils Sediments*, **20**, 392-403 (2020).

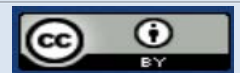
طبق رابطه به دست آمده از Mintab رابطه بین ضریب توزیع استرانسیم و غلظت، ارتفاع و pH محلول دارای یک عبارت خطی بوده و جملات مربوط به برهم‌کنش بین عوامل دارای اهمیت زیادی هستند. عدم وجود هرگونه نظم و یا جهت‌گیری خاص بین خطاهای باقی‌مانده به معنای توزیع نرمال این خطاها در بین مقادیر منطبق شده توسط مدل می‌باشد.

طبق ضرایب تخمین زده شده و به دست آمده از داده‌های تجربی، ارتفاع خاک بیش‌ترین اثر را در مقدار ضریب توزیع استرانسیم در خاک دارد و با افزایش ارتفاع خاک، مقدار ضریب توزیع استرانسیم افزایش یافت. در واقع با افزایش ارتفاع، رادیونوکلید مسیر طولانی‌تری را طی کرده و مواضع بیش‌تری برای جذب استرانسیم در خاک فراهم شده و ظرفیت جذب افزایش می‌یابد که در نهایت باعث افزایش مقدار ضریب توزیع می‌گردد.

با توجه به ضرایب به دست آمده، بعد از ارتفاع خاک، مقدار pH مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر روی مقدار ضریب توزیع یون استرانسیم در خاک است. وابستگی مقدار pH به واکنش‌های تشکیل کمپلکس و برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک موجب می‌شود که pH یکی از مؤثرترین عوامل در فرایند جذب و مقدار ضریب توزیع باشد.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

شیوا باقری، سید امیرحسین فقهی، حسین قاسمی مبتکر، امیرمسعود طاهریان، حسن آقایان، طاهر یوسفی (۱۴۰۱)، بررسی ضریب توزیع استرانسیم در نمونه‌های از خاک تهران، ۱۵۵-۱۴۹، ۱۰۲

DOI: 10.24200/nst.2022.1478

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1364.html