تخمین ضریب توزیع نیکل با استفاده از توابع انتقالی در برخی از خاک‌های استان مازندران

اسماعیل الهیاری [۱]، بهروز عظیم‌زاده [۲]، مهران شیروانی [۳]، حسین خادمی [۴]، محمدرضا مصدقی [۵]
۱-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳-دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴-استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده
اندازه‌گیری مستقیم ضرایب جذب آلاینده‌ها در خاک دشوار و زمان‌بر می‌باشد. ایجاد و استفاده از توابع انتقالی در پیش‌بینی این ضرایب راه‌کاری سریع و ارزان‌قیمت است. هدف این پژوهش برقراری روابطی رگرسیونی میان برخی ویژگی‌های زودیافت و ضریب توزیع نیکل در برخی خاک‌های استان مازندران بود. ویژگی‌های زودیافت خاک‌های شامل pH، رسانایی الکتریکی (EC)، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)، درصد ماده آلی (SOM)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، و درصد شن، سیلت و رس در ۱۰۲ نمونه خاک مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند. همچنین ضریب توزیع (K_d) نیکل از طریق آزمایش‌های تعادلی بسته[۳۳] برای تمامی خاک‌ها تعیین شدند. نتایج نشان داد میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و K_d نیکل همبستگی معنی‌داری وجود دارد. معادلات رگرسیونی ایجادشده نشان دادند SOM، رس، CCE و CEC از مهم‌ترین پارامترهای ورودی در توابع انتقالی هستند. هم‌چنین ایجاد توابع انتقالی در نمونه خاک‌هایی که کاربری‌های یکسان دارند باعث افزایش دقت مدل‌ها می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: نیکل، ضریب توزیع، توابع انتقالی، آلودگی خاک

مقدمه
در میان تمام پدیدهایی که تحرک فلزات سنگین را در محیط‌های متخلخل کنترل می‌کنند، انتقال از فاز محلول به فاز جامد یک پدیده مهم بشمار می‌آید. این پدیده که جذب نامیده می‌شود بر تجمع و تحرک فلزات در خاک بسیار تأثیرگذار است. تأثیر جذب بر سرنوشت فلزات در خاک به وسیله ضریب توزیع[۳۴] یا فاکتور دیرآیی[۳۵] وارد معادلات و مدل‌های انتقال املاح می‌شود. به همین دلیل است که امروزه استفاده از روابط جذب به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی تحرک فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، مدل‌سازی تحرک و انتقال آلاینده‌ها و انتخاب روش‌های مناسب پاک‌سازی مناطق آلوده مستلزم تعیین و تخمین ضرایب جذب آلاینده‌ها در خاک است (Limousin, *et al.*, ۲۰۰۷).

پارامترهای جذبی مورد استفاده در مدل‌های انتقال املاح، مانند ضریب توزیع، از ویژگی‌های دیریافت خاک هستند که اندازه‌گیری و تعیین آنها دشوار، وقت‌گیر و پرهزینه است. در این حالت استفاده از ویژگی‌های ساده و زودیافت خاک در قالب توابع انتقالی[۳۶] خاک بسیار مفید است. در حقیقت توابع انتقالی خاک، از روش‌های غیرمستقیم برای برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک می‌باشند و ویژگی‌های زودیافت خاک را به سایر ویژگی‌های خاک ارتباط می‌دهند. توابع انتقالی به روش‌های مختلف از جمله رگرسیونی و شبکه عصبی و با استفاده از دانسته‌های موجود و زودیافت خاک بسط داده می‌شوند. توابع انتقالی عمدتاً جهت تخمین گنجایش تبادل کاتیونی و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند و مطالعه‌ای در ارتباط با تخمین پارامترهای هم‌دمای جذب از طریق ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک صورت نگرفته و یا بسیار محدود است (Agyare, *et al.*, ۲۰۰۷; Lee, *et al.*, ۱۹۹۶; Pachepsky and Rawls, ۱۹۹۹).

براساس اطلاعات به دست آمده برخی ویژگی‌های زودیافت خاک مانند pH، درصد رس، TOC ،CECو غلظت اکسیدهای آهن و آلومینیوم بر مقدار ضرایب جذب مؤثر می‌باشند (Lee, *et al.*, ۱۹۹۶). از آنجایی که روش‌های آزمایشگاهی تعیین ضرایب جذب با صرف هزینه و وقت زیادی همراه است، تخمین ضرایب جذب توسط روش‌های آماری با کمک ویژگی‌های زودیافت خاک ضروری می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از داده‌های زودیافت خاک و توابع انتقالی رگرسیونی، ضریب توزیع نیکل در خاک که برای پیش‌بینی تحرک و انتقال نیکل در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد با کم‌ترین صرف هزینه و زمان، تخمین زده شود.

---
[۳۳] Equilibrium batch experiment
[۳۴] Distribution coefficient
[۳۵] Retardation factor
[۳۶] Pedotransfer functions

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک

منطقه مورد مطالعه بخشی از زمین‌های مرکزی استان مازندران می‌باشد که از دیدگاه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و تراکم جمعیتی با اهمیت‌ترین منطقه به شمار می‌رود. منطقه مطالعاتی از نظر جغرافیایی بین مدارهای جغرافیایی ۰۳۶ تا ۴۷ ۳۶ عرض شمالی و ۱۹ ۵۲ تا ۵۳ طول شرقی قرار داشته و دارای وسعتی بالغ بر ۴۹۰۰ کیلومتر مربع است. تغییرات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه گسترده و بین ۳۰- تا ۳۰۰۰ متر، از ارتفاعات البرز تا ساحل دریای مازندران امتداد دارد. این منطقه دارای بارندگی سالیانه بین ۳۰۰-۱۲۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۸ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد پژوهش دارای رژیم‌های رطوبتی آکوئیک، زریک و یودیک و رژیم‌های حرارتی مزیک و ترمیک می‌باشد. نمونه‌برداری خاک با استفاده از روش شبکه‌بندی منظم با نمونه‌برداری تصادفی[۳۷] انجام شده و تعداد ۱۰۲ نمونه مرکب خاک سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری از کاربری‌های شهری، زراعی (شالیزار و کشت دیم)، باغ (مرکبات)، مرتع و جنگلی برداشته شد.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

نمونه خاک‌ها پس از هوا-خشک و خردشدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی ویژگی‌های زودیافت خاک شامل pH (در سوسپانسیون ۱ به ۲ خاک و محلول ۰۱/۰ مولار کلرید کلسیم)، رسانایی الکتریکی () درصد رس، شن و سیلت (روش پیپت)، میزان مواد آلی (روش والکی-بلاک)، آهک معادل (روش تیتراسیون اسید و باز) و گنجایش تبادل کاتیونی (روش عصاره‌گیری با استات سدیم ۱ نرمال) اندازه‌گیری شدند (Burt, ۲۰۰۴). هم‌چنین پارامترهای کمکی دیگری مانند میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات ($_g$) نیز محاسبه شدند (Shirazi and Boersma, ۱۹۸۴):

$$d_g = \exp(a) \qquad a = 0.01\sum_{i=1}^{n} f_i \ln M_i \qquad (۱)$$

$$\sigma_g = \exp(b) \qquad b = \left(0.01\sum_{i=1}^{n} f_i \ln^2 M_i - a^2\right)^{0.5} \qquad (۲)$$

که در این روابط f_i درصد فراوانی جز iام و M_i میانگین حسابی اندازه ذرات جز iام است. این دو کمّیت (d_g و $_g$) به خوبی توزیع غیرنرمال (لگ-نرمال) اندازه ذرات اولیه خاك را کمی نموده و گاهی در استخراج توابع انتقالی خاك به عنوان تخمین‌گر بهتر از درصد ذرات اولیه ظاهر می‌شوند.

آزمایش‌های تعادلی بسته جذب نیکل

نمونه‌های ۱ گرمی از هر خاک به همراه ۳۰ میلی‌لیتر محلول ۰۱/۰ مولار $CaCl_2$ که حاوی غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل (از نمک $NiCl_2$) بود به لوله‌های سانتریفوژ ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شدند. لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲± ۱۶۰ دور در دقیقه به‌هم زده شدند. بلافاصله پس از سپری‌شدن زمان هم‌زدن، سوسپانسیون‌ها با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شده و محلول صاف رویین با دقت به ظروفی از جنس پلی‌اتیلن منتقل شد. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری غلظت نیکل توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این پژوهش برای هر خاک سه تکرار در نظر گرفته شد. غلظت تعادلی نیکل جذب‌شده توسط خاک‌ها (q_e)، با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد (Sparks, ۲۰۰۳):

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{W} \qquad (۳)$$

در این رابطه C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و تعادلی فلز در فاز محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر بوده و V و W به ترتیب حجم فاز محلول (لیتر) و جرم خاک (گرم) می‌باشند. شیب هم‌دمای خطی جذب یا ضریب توزیع (K_d) که در واقع ارتباط بین غلظت گونه جذب‌شده توسط ذرات خاک با غلظت تعادلی آن گونه را نشان می‌دهد (معادله ۴)، از طریق رسم مقدار فلز جذب‌شده توسط خاک در برابر غلظت فلز در فاز محلول در زمان تعادل به دست آمد (Sparks, ۲۰۰۳):

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \qquad (۴)$$

توسعه توابع انتقالی

در این پژوهش هم از مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی و هم از مدل رگرسیونی چندمتغیره غیرخطی برای استخراج بهترین توابع انتقالی استفاده شد. بدین منظور روش رگرسیون گام به گام[۳۸] به کار گرفته شد. متغیرهای مستقل برای تخمین ضریب توزیع جذب

[۳۷] Random sampling within blocks

[۳۸] Stepwise regression

شامل pH، رسانایی الکتریکی، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، درصد ماده آلی، رس، سیلت و شن بود. بررسی نرمال‌بودن داده‌ها با کمک آزمون کلموگروف-اسمیرنوف صورت پذیرفت. داده‌های غیرنرمال با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند. برای کمّی کردن دقت توابع انتقالی خاك استخراجی از ضریب تبیین[۳۹] (R^2) استفاده شد (Pachepsky and Rawls, ۱۹۹۹).

نتایج و بحث

همبستگی میان K_d نیکل و ویژگی‌های خاک

جدول ۱ ضرایب همبستگی بین ضریب توزیع (K_d) نیکل و ویژگی خاک‌ها در کاربری‌های مختلف و کل نمونه خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در خاک های جنگلی K_dبیش‌ترین همبستگی را با کربنات کلسیم و پس از آن به ترتیب با گنجایش تبادل کاتیونی و pH داشت. احتمالاً این تأثیر زیاد کربنات کلسیم معادل به دلیل اثر مستقیم آن در افزایش pH خاک و جذب و رسوب نیکل و همچنین اثر غیرمستقیم آن بر گنجایش تبادل کاتیونی می‌باشد. با افزایش میزان کربنات کلسیم، pH خاک به طور غیرخطی افزایش پیدا می‌کند و گروه‌های عامل سطوح رس و مواد آلی پروتون‌زائی نموده و دارای بار منفی می‌شوند که همین موضوع باعث افزایش گنجایش تبادل کاتیونی می‌شود (Martinez and Motto, ۲۰۰۰). K_d در خاک‌های مرتعی مورد مطالعه با ماده آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، درصد شن و رس خاک همبستگی معنی‌داری نشان داد. همبستگی قوی و منفی K_d با درصد شن خاک به دلیل کاهش سهم بخش رس با افزایش درصد شن می‌باشد که باعث کاهش جذب نیکل در خاک می‌شود. در خاک‌های زراعی K_d با درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم، ماده آلی و درصد شن خاک همبستگی معنی‌دار نشان داد. همبستگی منفی درصد شن با K_d همان طور که قبلاً هم به آن اشاره شد به دلیل تحت تأثیر قرار دادن درصد رس می‌باشد. در خاک‌های باغی مورد مطالعه K_d با گنجایش تبادل کاتیونی، ماده آلی، درصد رس و شن خاک همبستگی معنی‌دار داشت. در خاک‌های شهری نیز K_d با درصد شن، درصد سیلت، گنجایش تبادل کاتیونی، ماده آلی و درصد رس خاک همبستگی معنی‌دار نشان داد. در برخی موارد ذرات سیلت نیز می‌توانند دارای بار منفی باشند، و در نتیجه باعث افزایش جذب نیکل می‌شوند (Limousin, *et al.*, ۲۰۰۷). همچنین در جدول ۱ ضرایب همبستگی بین پارامتر جذبی نیکل و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کل خاک‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. ضریب توزیع K_d، با تمام پارامترهای اندازه‌گیری‌شده همبستگی معنی‌دار داشته و به آنها وابسته می‌باشد.

جدول ۱ - ضرایب همبستگی بین ضریب توزیع جذب نیکل و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

متغیر	K_d					
	کل (n=۱۰۲)	شهری (n=۳۰)	باغ (n=۱۷)	زراعی (n=۲۸)	مرتع (n=۱۷)	جنگل (n=۱۲)
pH	-۲۹/۰**	-۲۲/۰	-۱۳/۰	۰۳/۰	-۲۹/۰	۶۱/۰*
EC	۲۹/۰**	۲۵/۰	۳۵/۰	-۰۴/۰	۰۶/۰	۵۲/۰
CEC	۵۸/۰**	۵۹/۰**	۵۸/۰*	۶۴/۰**	۶۲/۰*	۸۲/۰**
SOM	۵۸/۰**	۵۱/۰**	۵۷/۰*	۵۴/۰**	۶۷/۰**	۴۵/۰
CCE	-۲۴/۰*	-۲۷/۰	۱۱/۰	-۵۴/۰**	۳۸/۰	۸۶/۰**
Sand	-۴۶/۰**	-۷۴/۰**	-۴۹/۰*	-۵۴/۰**	-۶۱/۰*	-۲۸/۰
Clay	۵۴/۰**	۵۱/۰**	۵۲/۰*	۶۹/۰**	۶۰/۰*	۲۴/۰
Silt	۳۲/۰**	۶۳/۰**	۲۱/۰	۱۳/۰	۴۸/۰	۲۰/۰

* و ** به ترتیب بیان‌گر معنی‌داری در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

تخمین ضریب توزیع جذب نیکل با استفاده از رگرسیون چند متغیره

با در نظر گرفتن همبستگی‌ها و ارتباطی که میان ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک با K_d نیکل وجود داشت، توابع انتقالی با استفاده از رگرسیون چند متغیره توسعه داده شدند. در جدول ۲ روابط بدست آمده جهت تخمین K_d نیکل در خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. به منظور بهبود در برآورد K_d نیکل، علاوه بر ارائه توابع انتقالی برای کل منطقه مطالعاتی، داده‌ها بر اساس نوع کاربری‌های مورد استفاده نیز طبقه‌بندی شدند و توابع انتقالی برای هر کاربری به طور جداگانه نیز ارائه گردید. در کاربری جنگل تنها یک معادله بدست آمد (مدل شماره ۱) که تنها پارامتر وارد شده در آن، لگاریتم کربنات کلسیم می‌باشد. واردشدن کربنات کلسیم به عنوان تنها پارامتر در معادله، همان طور که در جدول ۱ مشخص می‌باشد به دلیل همبستگی زیاد (**r=۸۶/۰) این پارامتر با K_d می‌باشد.

جدول ۲- معادله‌های رگرسیونی چندمتغیره جهت تخمین ضریب توزیع (K_d) نیکل درکاربری‌های مختلف

کاربری	شماره	معادله‌ها	R^2
جنگل	۱	K_d= ۰۱/۰+ ۱۱۵/۰(LnCCE)	۷۴۶/۰**
مرتع	۲	K_d= ۲۱/۰- ۹۷۲/۰(d_g)	۳۵۳/۰
	۳	K_d= ۰۳۷/۰ + ۰۱۷/۰ (SOM)	۴۴۶/۰
	۴	K_d= ۰۶/۰ + ۰۲۱/۰ (SOM)+ ۰۰۶/۰(CCE)	۷۸۱/۰**

[۳۹] Coefficient of determination

	۵	K_d= ۰۴۹/۰ + ۰۱۵/۰ (SOM)+ ۰۰۶/۰(CCE) ۰۰۲/۰- (Sand)	۹۰۳/۰**
	۶	K_d= ۰۰۴/۰ + ۰۱۶/۰ (SOM) ۰۱۶/۰ +(CCE) ۵۲۶/۰-(d_g)	۸۴۸/۰**
زراعی	۷	K_d= ۰۴/۰ + ۰۰۲/۰(Clay)	۴۷۲/۰*
	۸	K_d= ۰۵۱/۰ + ۰۰۲/۰(CEC)	۴۰۹/۰*
	۹	K_d= ۱۲۱/۰ - ۰۰۲/۰($CaCO_3$)	۲۹۰/۰
	۱۰	K_d= ۰۸/۰ + ۰۰۲/۰(CEC)- ۰۰۱/۰(CCE)	۵۱۶/۰**
	۱۱	K_d= ۰۷۶/۰ - ۰۰۲/۰(CCE)- ۰۱۳/۰(SOM)	۴۶۰/۰*
	۱۲	K_d=- ۴۱۲/۰ - ۰۰۱/۰(CCE)+ ۰۲۳/۰(SOM)+ ۰۶۳/۰(pH)	۵۶۲/۰**
باغ	۱۳	K_d= ۰۳۹/۰ + ۰۰۲/۰(CEC)	۳۳۷/۰
	۱۴	K_d= ۰۸۷/ ۰- ۰۰۴/۰($_g$)+ ۰۰۸/۰(SOM)	۵۱۳/۰*
شهری	۱۵	K_d= ۱۰۳/ ۰- ۰۰۱/۰(Sand)	۵۴۶/۰**
	۱۶	K_d= ۰۸/ ۰- ۰۰۱/۰ (Sand)+ ۰۰۷/۰(SOM)	۶۴۱/۰**
	۱۷	K_d= ۰۱۶/ ۰+ ۰۰۲/۰ (CEC)+ ۰۰۱/۰(SOM)	۵۳۶/۰**
کل	۱۸	LnK_d= -۱۷۷/۳ + ۵۰۲/۰ (LnSOM)	۳۴۰/۰
	۱۹	LnK_d= -۱۳۳/۰ + ۰۲۷/۰ (CEC)	۳۸۲/۰*
	۲۰	LnK_d= -۳۹۱/۷ - ۰۳۸/۰(CEC)+ ۵۶۸/۰(pH)	۵۵۲/۰**
	۲۱	LnK_d= -۳۹۲/۳ + ۳۶۸/۰(LnSOM)+ ۰۱۶/۰ (Clay)	۴۳۳/۰**
	۲۲	LnK_d= -۲۱/۹ + ۸۶۶/۰ (LnSOM)+ ۷۹۱/۰ (pH)	۵۶۲/۰**
	۲۳	LnK_d= -۹۸۳/۹ + ۷۴۴/۰ (LnSOM)+ +۸۵۹/۰ (pH)+ ۰۱۹/۰(Clay)	۶۸۵/۰**

* و ** به ترتیب بیان‌گر معنی‌داری در سطوح اماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

در کاربری مرتع، مدل‌های شماره ۲ تا ۶، برای تخمین K_d ارائه شده است. معادله‌ای که بیش‌ترین دقت (R^2=۹۰/۰**) را دارد، در این کاربری بوده و مربوط به مدل شماره ۵ می‌باشد. این مدل یک معادله سه پارامتری بوده و پارامترهای واردشده در آن درصد ماده آلی، کربنات کلسیم و درصد شن خاک می‌باشند. با توجه به اینکه درصد ماده آلی خاک بیش‌ترین همبستگی را با K_d نیکل نشان داد (جدول ۱)، این ویژگی خاک به عنوان اولین متغیر در مدل شماره ۵ برای تخمین K_d نیکل وارد شد. در کاربری زراعی مدلی که بیش‌ترین دقت را دارد، مدل شماره ۱۲ می‌باشد (R^2=۵۶/۰**). این معادله دارای سه پارامتر کربنات کلسیم، درصد ماده آلی خاک و pH می‌باشد.

بهترین معادله‌ای که در کاربری باغ می‌تواند جهت تخمین K_d نیکل مورد استفاده قرار گیرد، مدل شماره ۱۴ می‌باشد (R^2=۵۱/۰*). این معادله دو پارامتری بوده و پارامترهای واردشده در آن شامل $_g$ و درصد ماده آلی خاک می‌باشد. در کاربری شهری، ، مدل شماره ۱۷ بیش‌ترین دقت و ضریب تبیین را دارا می‌باشد (R^2=۵۴/۰**). پارامترهای واردشده در این مدل، گنجایش تبادل کاتیونی و درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

برای تخمین K_d نیکل کل منطقه مورد مطالعه، ۶ معادله بدست آمد که پارامترهای واردشده در این معادله‌ها درصد ماده آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، pH و درصد رس خاک می‌باشند. بهترین مدلی که برای تخمین K_d نیکل در کل منطقه مطالعاتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، معادله شماره ۲۳ می‌باشد که در بین سایر معادله‌ها بیش‌ترین دقت (R^2=۶۹/۰**) را دارد. این معادله یک معادله سه پارامتری می‌باشد که پارامترهای واردشده در آن شامل لگاریتم درصد ماده آلی، pH و درصد رس خاک می‌باشند. رابطه K_d با ماده آلی خاک یک رابطه لگاریتمی بوده و با افزایش ماده آلی خاک، K_d به صورت غیریکنواخت و نمایی افزایش می‌یابد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت مواد آلی در جذب و نگهداری نیکل یا به طور کلی فلزات سنگین در خاک می‌باشد، ولی رابطه pH و درصد رس با K_d به صورت خطی می‌باشد.

منابع

Agyare W.A.S., Park J. and Vlek P.L.G. ۲۰۰۷. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. Vadose Zone Journal. ۶(۲): ۴۲۳–۴۳۱.

Burt R. ۲۰۰۴. Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations, Report No. ۴۲, version ۴.۰, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA.

Lee S.Z. Allen H.E. Huang C.P. Sparks D.L. Sanders P.F. and Peijnenburg W.J. ۱۹۹۶. Predicting soil-water partition coefficients for cadmium. Environmental Science & Technology. ۳۰(۱۲): ۳۴۱۸–۳۴۲۴.

Limousin G., Gaudet J.P. Charlet L. Szenknect S. Barthes V. and Krimissa M. ۲۰۰۷. Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. Applied Geochemistry. ۲۲: ۲۴۹–۲۷۵.

Martinez C.E. and Motto H.L. ۲۰۰۰. Solubility of lead, zinc, and copper added to mineral soils. Environmental Pollution. ۱۰۷: ۱۵۳–۱۵۸.

Pachepsky Y.A. and Rawls W.J. ۱۹۹۹. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. Soil Science Society of America Journal. ۶۳: ۱۷۸۴–۱۷۵۷.

Shirazi M.A. and Boersma L., ۱۹۸۴. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Science Society of America Journal. ۴۸: ۱۴۲–۱۴۷.
Sparks D. L. ۲۰۰۳. Environmental Soil Chemistry. ۲nd ed. Academic Press, New York.

Abstract

Direct measurement of sorption coefficients of pollutants in the soil is difficult and laborious. Modeling and applying of pedotransfer functions is a fast and inexpensive procedure to indirectly estimate the sorption coefficients from the easily-available soil properties. The purpose of this study is to derive regression pedotransfer functions between some easily-available properties and nickel distribution coefficient (K_d) in ۱۰۲ soil samples from Mazandaran province. Easily-available soil properties including, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity (CEC), organic matter (SOM), calcium carbonate equivalent (CCE), sand, silt and clay contents were determined according to the standard methods. Also, nickel K_d values were obtained by equilibrium batch experiments. The results showed significant correlation between the physical and chemical properties of the soils and nickel K_d values. Soil pH, SOM, clay, CCE and CEC were the most important variables entered the pedotransfer functions for predicting the Kd value. Moreover, developing the pedotransfer functions in different landuses increased the accuracy of the models.