

## جذب نیکل در برخی از خاک‌های آهکی ایران

هادی واثقی‌راد<sup>۱</sup>، \*کریم شهبازی<sup>۲</sup> و علی خانمیزی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، <sup>۲</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، <sup>۳</sup> استادیار گروه خاکشناسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** حضور فلزات سنگین در محیط زیست به دلیل سمیت، سرطان‌زایی و عدم امکان تخریب زیستی آن‌ها، باعث ایجاد نگرانی شدیدی گردیده است. نیکل ممکن است از طرق مختلف به خاک‌ها کشاورزی وارد و تجمع یابد. جذب فلزات از فاز مایع بر روی فاز جامد یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شیمیایی می‌باشد که رفتار و زیست‌فراهمی فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این فرآیند غلظت یون‌های فلزی و کمپلکس‌ها را در محلول خاک کنترل کرده و می‌تواند تأثیر عمده‌ای روی جذب آن‌ها از طریق ریشه گیاهان داشته باشد. آنالیز همدماهای جذب یک روش مفید برای مطالعه نگهداری فلزات در خاک‌ها بوده و اطلاعات مفیدی درباره ظرفیت نگهداری خاک و قدرتی که توسط آن جذب‌شونده توسط خاک نگهداری می‌شود را به ما می‌دهد. هدف از این پژوهش مطالعه رفتار جذبی نیکل به‌وسیله خاک‌های آهکی ایران و ارتباط آن با بعضی از ویژگی‌های خاک برای فهم بهتر سرنوشت این فلز در خاک‌های آهکی بود.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش مشخصات جذب نیکل در ۲۰ خاک آهکی ایران در دامنه‌ای از غلظت نیکل ( $5/87-751/23 \text{ mgL}^{-1}$ ) و دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از همدماهای جذب لانگمویر، فروندلیچ و ریدلیچ-پترسون مورد مطالعه قرار گرفت. برای برازش مدل‌های همدماهای جذب از نرم‌افزار Curve Expert استفاده گردید. ضریب تعیین ( $r^2$ ) بالا و خطای استاندارد تخمین پایین (SEE) به‌عنوان ملاکی برای انتخاب بهترین مدل استفاده شد.

**یافته‌ها:** مدل فروندلیچ توانست داده‌های مربوط به همدماهای جذب نیکل را توصیف کند ( $0/99$  میانگین،  $r^2=0/92-1/00$ ). پارامتر بدون بعد  $n$  که ممکن است نشان‌دهنده توزیع انرژی مکان‌های جذب برای خاک‌های مختلف باشد دامنه‌ای بین  $2/07$  تا  $3/15$  و میانگین  $2/46$  داشت. همچنین ضرایب تعیین و خطای استاندارد تخمین برازش معادله لانگمویر به داده‌های جذب نشان داد که رفتار جذبی نیکل توسط خاک‌های آهکی می‌تواند توسط این معادله توضیح داده شود ( $0/98$  میانگین،  $r^2=0/94-0/99$ ). نتایج نشان داد که حداکثر جذب در خاک‌های مورد مطالعه بین  $1369$  تا  $5378$  با میانگین  $3605$  میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. ضریب انرژی پیوندی ( $K_L$ ) در خاک‌ها مختلف بین  $0/008$  تا  $0/029$  با میانگین  $0/015$  لیتر بر میلی‌گرم بود که نشان‌دهنده دامنه کم تغییرات این پارامتر در میان خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. ضریب توزیع ( $K_d$ ) برای خاک‌های مورد مطالعه بین  $22/6$  تا  $122/5$  با میانگین  $54/8$  لیتر بر کیلوگرم بود. با توجه به مقادیر ضرایب تعیین ( $0/99$  میانگین،  $r^2=0/94-1/00$ ) و خطای استاندارد تخمین ( $96/9$ )

\* مسئول مکاتبه: [shahbazikarim@yahoo.com](mailto:shahbazikarim@yahoo.com)

میانگین،  $163/3 - 47/9$  (SEE) معادله ریدلیج- پترسون بهترین برازش را به داده جذب نیکل در خاک‌های مورد مطالعه داشت. حداکثر جذب نیکل ( $q_{max}$ ) رابطه مثبت و معنی‌داری با مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی ( $P < 0/01$ )،  $r^2 = 0/76$ ، رس ( $r^2 = 0/75$ ،  $P < 0/01$ ) و کربن آلی ( $r^2 = 0/50$ ،  $P < 0/01$ ) خاک داشت. ضریب فروندلیج ( $K_F$ ) همبستگی معنی‌داری با مقدار کربن آلی و رس خاک داشت در حالی که پارامترهای معادله ریدلیج- پترسون رابطه معنی‌داری با ویژگی‌های خاک نداشتند.

**نتیجه‌گیری:** همدماهای اندازه‌گیری شده برای جذب نیکل در همه خاک‌ها رفتار کاملاً غیرخطی نشان دادند. مدل‌های فروندلیج، لانگمویر و ریدلیج- پترسون به خوبی بر داده‌های جذب نیکل در خاک‌های مورد مطالعه برازش گردیدند. نتایج این پژوهش نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس و مواد آلی مهم‌ترین ویژگی‌های هستند که جذب نیکل را تحت تأثیر قرار می‌دهند در حالی که مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های آهکی تأثیری بر مقدار جذب نیکل ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** همدماهای جذب، خاک‌های آهکی، معادله ریدلیج- پترسون، لانگمویر، فروندلیج

### مقدمه

در سال‌های اخیر حضور فلزات سنگین در محیط زیست به دلیل سمیت، سرطان‌زایی و عدم امکان تخریب زیستی آنها، باعث ایجاد نگرانی شدیدی گردیده است. نیکل ممکن است از طریق به‌کار بردن کودهای فسفاتی، حشره‌کش‌ها و دیگر مواد پسماند از صنایع همانند باتری‌های نیکل- کادمیم، آبکاری نیکل، فرمولاسیون رنگ‌ها، تولید چربی‌های گیاهی و غیره به خاک‌های کشاورزی وارد و تجمع یابد (۱۹)، جذب فلزات از فاز مایع بر روی فاز جامد یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شیمیایی می‌باشد که رفتار و زیست‌فراهمی فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این فرآیند غلظت یون‌های فلزی و کمپلکس‌ها را در محلول خاک کنترل کرده و می‌تواند تأثیر عمده‌ای روی جذب آنها از طریق ریشه گیاهان داشته باشد.

بوسینلی و همکاران (۲۰۰۴)، مکانیسم‌های جذب نیکل در خاک آهکی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که نیکل به‌وسیله کربنات‌ها در خاک آهکی نگه داشته می‌شود و مکانیسم نگه‌داشت نیکل در خاک‌های آهکی علاوه بر مکانیسم شناخته شده

رسوب به‌صورت هیدرواکساید در pH بالا که ناشی از حضور کربنات‌ها می‌باشد، از طریق تشکیل کمپلکس قوی به‌صورت تشکیل نمک دوتایی کربنات Ni/Ca یا مخلوط هیدرواکساید‌ها و کربنات‌های Ni/Al صورت می‌گیرد. مطالعه آنها همچنین نشان داد که رس‌های مونت موریلونایت و ایلایت ممکن است در جذب نیکل از طریق مکانیزم تبادل یون به‌صورت غیراختصاصی نقش داشته باشند، اما به‌طورکلی نگه‌داشت نیکل در خاک آهکی مورد مطالعه، اختصاصی بوده و می‌توان فرض کرد که مکانیسم جذب بر روی رس کاملاً تحت تأثیر دو اثر (رسوب و تشکیل کمپلکس نیکل) ناشی از حضور کربنات کلسیم می‌باشد. اما در خاک‌های تروپیکال، کائولینایت، اکسیدهای آهن و آلومینیم کانی‌های ثانویه مهم می‌باشند که باعث تحرک و زیست‌فراهمی کم فلزات سنگین می‌شوند. یون‌های فلزی می‌توانند به‌صورت الکترواستاتیکی یا با تشکیل پیوندهای کووالنت یا جزئی کووالنت با اتم‌های اکسیژن موجود در ساختار کانی‌ها، بروی این مواد جذب گردند (۳). مقدار مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH و کربنات کلسیم خاک‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های

برازش دارند و پارامتر حداکثر جذب مدل لانگمویر، هم در خاک‌های شمال و هم در خاک‌های جنوب با ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط دارد (۱). نتایج پژوهش قاسمی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که مدل فروندلیچ بهتر از مدل لانگمویر بر داده‌های جذب نیکل و کادمیم برازش می‌یابد و حداکثر جذب کادمیم تحت شرایط رقابت با نیکل کم‌تر از شرایط غیررقابتی می‌باشد (۱۱). جلالی و محرمی (۲۰۰۷) گزارش کردند در یک سیستم رقابتی حاوی عناصر Ni, Cu, Zn, Cd و Mn، در بیش‌تر موارد داده‌های جذب به‌وسیله مدل لانگمویر توصیف گردیدند و تمام خاک‌ها ظرفیت جذب و قدرت پیوندی بالاتری را نسبت به Cu نشان دادند (۱۳).

در این مطالعه رفتار جذبی نیکل به‌وسیله خاک‌های آهکی ایران که دارای دامنه وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بودند و ارتباط آن با بعضی از ویژگی‌های خاک برای فهم بهتر سرنوشت این فلز در خاک‌های آهکی مورد مطالعه قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۰ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) به صورت مرکب از مناطق مختلف کشاورزی ایران که دارای دامنه وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بودند تهیه گردید (جدول ۱). نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها مانند بافت خاک با روش هیدرومتری (۶)، درصد کربن آلی به روش والکی‌بلک اصلاح شده (۱۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم  $pH=8.2$  (۱۰)، کربنات‌کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۲)، قابلیت هدایت الکتریکی (۲۱)،  $pH$  گل اشباع (۲۷) اندازه‌گیری شدند.

خاک می‌باشند که رفتار جذبی و در نتیجه زیست‌فراهمی فلزات را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۵). مواد آلی خاک دارای تعداد زیادی از انواع مختلف گروه‌های عاملی و مکان‌های تبادل بوده که با تشکیل کمپلکس‌های سطحی، تبادل یونی و رسوب سطحی قابلیت نگهداری فلزات سنگین را افزایش می‌دهد (۷). مکلبراید (۱۹۸۹) توالی زیر را برای تمایل فلز برای مواد آلی پیشنهاد داد  $Cu > Ni > Mg > Mn > Zn > Ca > Co > Pb > (۱۶)$ . همان‌طور که  $pH$  افزایش می‌یابد، تنها جذب Cu به‌وسیله کلئیدهای آلی، درون‌کره‌ای (جذب اختصاصی) می‌باشد (۴) و بدین ترتیب، بیش‌تر کاتیون‌ها به‌وسیله این کلئیدها با پیوند متوسط نگهداری می‌شوند (۲۸). گونه یونی غالب نیکل در خاک  $Ni(H_2O)_6^{2+}$  می‌باشد که فعالیت آن با افزایش  $pH$  و همچنین تشکیل کمپلکس با ترکیبات آلی و غیرآلی کاهش می‌یابد. در بخش جامد خاک نیکل ممکن است به‌صورت ترکیبات آلی یا غیرآلی یافت شود و همچنین در این حالت،  $pH$  مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده واکنش جذب این فلز روی کلئیدهای خاک می‌باشد (۲۸).

آنالیز همدماهای جذب یک روش مفید برای مطالعه نگهداری فلزات در خاک‌ها می‌باشد. همدماهای جذب اطلاعات مفیدی درباره ظرفیت نگهداری خاک و قدرتی که توسط آن جذب‌شونده توسط خاک نگهداری می‌شود را به ما می‌دهد. جذب فلزات سنگین روی ترکیبات خاک می‌تواند به‌وسیله یک مدل جذب خطی، لانگمویر، یا فروندلیچ (۲۶) توضیح داده شود. ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه الگوی جذب نیکل و رابطه آن با ویژگی‌های خاک در خاک‌های شمال و جنوب ایران گزارش کردند که مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ و ریدلیچ-پترسون بهتر از مدل‌های دیگر بر داده‌های جذب نیکل

برای برآزش مدل‌های همدماهای جذب از نرم‌افزار Curve Expert استفاده گردید. ضریب تعیین ( $R^2$ ) بالا و خطای استاندارد تخمین پایین (SEE) به‌عنوان ملاکی برای انتخاب بهترین مدل استفاده شد. خطای استاندارد تخمین با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$SEE = \left[ \frac{\sum (q - q^*)^2}{n - 2} \right]^{0.5} \quad (4)$$

در اینجا  $q$  و  $q^*$  به ترتیب مقادیر نیکل جذب‌شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند و  $n$ : تعداد اندازه‌گیری می‌باشد.

### نتایج و بحث

مقادیر نیکل جذب‌شده در مقابل غلظت تعادلی نیکل در محلول برای خاک‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. الگوی تغییرات نیکل جذب‌شده در مقابل غلظت تعادلی نیکل در محلول شکل غیرخطی داشت که نشان‌دهنده محدودیت جذب نیکل و تمایل زیاد جذب در غلظت‌های پایین می‌باشد. مقدار نیکل جذب‌شده به‌وسیله نمونه‌های خاک با افزایش مقدار نیکل استفاده شده در آزمایش، به‌خصوص در غلظت‌های پایین نیکل اولیه، افزایش یافت و با افزایش مقدار جذب و نزدیک شدن به حداکثر جذب، تمایل به جذب نیکل توسط سطوح جذبی کاهش نشان داد.

برای توضیح داده‌های جذب نیکل به‌وسیله خاک‌ها از معادله‌های فروندلیچ، لانگمویر و ریدلیچ-پترسون استفاده گردید و ارزیابی معادله‌ها با استفاده از ضریب تعیین ( $R^2$ ) و خطای معیار تخمین (SEE) صورت گرفت.

برای بررسی همدماهای جذب نیکل، ۲/۵ گرم از هر خاک (در دو تکرار) در لوله‌های سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتر ریخته و پس از اضافه کردن ۲۵ میلی‌لیتر محلول نیترات نیکل (۵/۸۷، ۱۱/۷۴، ۲۳/۴۸، ۴۶/۹۶، ۹۳/۹۰، ۱۸۷/۸۰، ۳۷۵/۶۲ و ۷۵۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر نیکل در نیترات کلسیم ۰/۰۱ مولار) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور به‌مدت ۲۴ ساعت تکان داده شد. پس از رسیدن به زمان تعادل لوله‌ها از انکوباتور خارج گردیده و پس از سانتریفیوژ کردن به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، غلظت نیکل در مایع صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین‌المر مدل ۱۱۰۰ اندازه‌گیری شد. غلظت نیکل جذب‌شده از اختلاف غلظت تعادلی نیکل و غلظت اولیه آن محاسبه گردید. به‌منظور توصیف داده‌های جذب از معادله‌های فروندلیچ (رابطه ۱)، لانگمویر (رابطه ۲) و ریدلیچ پترسون (رابطه ۳) استفاده شد.

$$q = K_F C^{1/n} \quad (1)$$

$$q = q_{\max} \frac{K_L C}{1 + K_L C} \quad (2)$$

$$q = \frac{K_{RP} C}{1 + a_{RP} C^B} \quad (3)$$

که در آن‌ها،  $q$ : مقدار نیکل جذب‌شده و  $q_{\max}$ : حداکثر ظرفیت جذب نیکل ( $\text{mg kg}^{-1}$ )،  $K_F$  و  $n$ : ضرایب ثابت فروندلیچ بوده و به‌ترتیب در ارتباط با ظرفیت جذب و شدت جذب می‌باشند،  $K_L$ : ثابت لانگمویر بوده و مرتبط با انرژی جذب می‌باشد.  $K_{RP}$ ،  $a_{RP}$  و  $B$  ثابت‌های معادله ریدلیچ-پترسون می‌باشند (۱۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Selected characteristics of the studied soils.

CCE <sup>†</sup>	OC <sup>‡</sup>	رس Clay (g kg <sup>-1</sup> )	CEC <sup>‡</sup> (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	EC <sup>1</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	pH	بافت خاک Soil texture	استان Province	شماره خاک Soil No.
191.1	2.7	140	6.4	1.02	7.63	Sandy loam	آ- شرقی East-A.	1
63.7	15.4	240	21.6	2.29	7.80	Loam	آ- غربی West-A.	2
22.1	14.6	520	38.2	2.09	7.34	Clay	آ- غربی West-A.	3
12.3	9.4	360	27.5	0.91	6.99	Clay loam	اردبیل Ardebil	4
46.6	14.2	420	30.3	0.66	7.45	Silty clay	اردبیل Ardebil	5
90.7	0.6	100	6.6	0.81	7.66	Sandy clay	خراسان Khorasan	6
507.2	16.8	480	16.2	1.07	7.76	Silty clay	خراسان Khorasan	7
155.0	1.0	80	2.5	0.80	8.30	Sandy loam	سمنان Semnan	8
210.7	5.3	320	17.2	1.59	7.78	Silty clay loam	قزوین Ghazvin	9
171.5	9.2	360	19.6	2.11	7.69	Silty clay loam	قزوین Ghazvin	10
90.7	5.0	290	16.4	1.11	7.29	Clay loam	البرز Alborz	11
12.3	10.5	160	11.0	0.91	7.71	Loam	گلستان Golestan	12
93.1	14.0	380	12.5	0.80	7.92	Silty clay loam	گلستان Golestan	13
535.0	7.4	280	15.2	0.90	7.82	Clay loam	خوزستان Khuzestan	14
400.0	7.8	200	8.0	1.34	7.49	Loam	خوزستان Khuzestan	15
400.0	5.7	160	12.2	2.30	7.34	Loam	خوزستان Khuzestan	16
320.0	5.1	380	21.6	2.10	7.69	Silty clay loam	خوزستان Khuzestan	17
350.0	6.4	240	20.8	1.01	7.38	Silty loam	خوزستان Khuzestan	18
477.5	1.0	140	4.2	1.76	7.79	Loam	خوزستان Khuzestan	19
460.0	0.96	310	21.0	1.35	7.85	Clay loam	تهران Tehran	20

۱- هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)

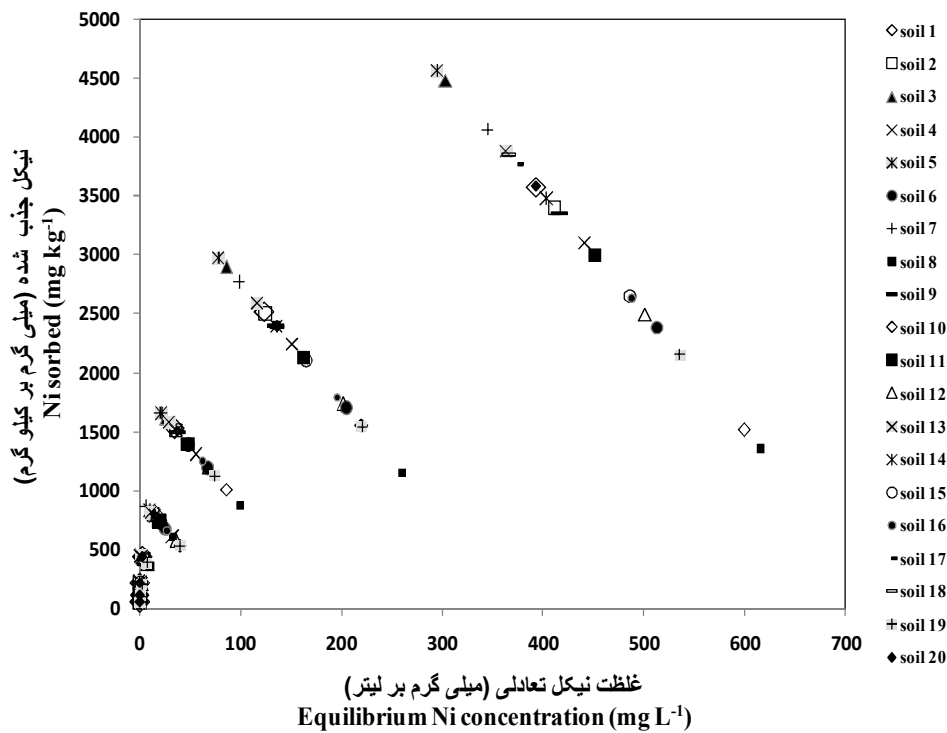
۲- ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation exchange capacity)

۳- کربن آلی (Organic carbon)

۴- کربنات کلسیم معادل (Calcium carbonate equivalent)

جدول ۲- پارامترهای مدل لانگمویر، فروندلیچ و ردلیچ-پتerson، ضرایب تعیین و خطای معیار تخمین برای جذب نیکل روی خاک‌های مورد مطالعه.

Langmuir		Freundlich		Redlich-Peterson			شماره خاک						
SEE	r <sup>2</sup>	q <sub>max</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sub>L</sub> (L mg <sup>-1</sup> )	SEE	r <sup>2</sup>	n	K <sub>F</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	SEE	r <sup>2</sup>	β	α <sub>RP</sub> (kg mg <sup>-1</sup> )	K <sub>RP</sub> (L kg <sup>-1</sup> )	Soil No.
167.1	0.94	1756.5	0.017	183.6	0.92	3.08	214.4	163.3	0.94	0.77	0.37	146.0	1
152.3	0.99	3758.5	0.018	161.5	0.99	2.61	351.4	114.9	0.99	0.76	0.19	163.4	2
159.3	0.99	5378.3	0.015	180.9	0.99	2.21	348.2	124.1	1.00	0.76	0.12	144.5	3
123.6	0.99	3791.5	0.010	145.9	0.99	2.26	218.5	78.6	1.00	0.70	0.22	116.7	4
171.1	0.99	5320.2	0.018	207.3	0.99	2.31	399.9	135.5	0.99	0.79	0.11	161.3	5
158.6	0.97	2610.2	0.013	73.4	0.99	2.52	202.9	61.7	1.00	0.64	1.72	433.6	6
251.4	0.98	4224.0	0.029	124.2	0.99	2.74	493.1	69.7	1.00	0.69	1.52	1012.6	7
99.5	0.97	1369.1	0.024	72.9	0.98	3.15	186.1	47.9	0.99	0.75	0.82	226.1	8
174.2	0.98	3719.1	0.017	134.2	0.99	2.58	332.5	118.3	0.99	0.66	1.07	481.8	9
158.7	0.99	4032.7	0.016	158.9	0.99	2.45	321.9	115.6	0.99	0.74	0.18	149.5	10
152.7	0.98	3333.1	0.014	122.8	0.99	2.41	245.2	82.0	1.00	0.68	0.40	182.5	11
140.7	0.98	3023.6	0.008	112.6	0.99	2.18	146.5	106.2	0.99	0.60	0.66	144.7	12
208.0	0.98	4310.6	0.017	114.7	0.99	2.44	352.7	91.0	1.00	0.64	1.13	547.2	13
172.8	0.98	3858.0	0.016	143.0	0.99	2.39	289.4	86.7	1.00	0.69	0.38	212.8	14
112.6	0.99	2910.0	0.018	172.5	0.97	2.65	272.3	100.6	0.99	0.87	0.06	74.0	15
158.1	0.98	3007.6	0.010	81.4	0.99	2.32	183.9	77.4	0.99	0.60	1.44	329.1	16
168.0	0.99	4514.0	0.011	115.4	0.99	2.13	235.9	91.2	1.00	0.65	0.27	139.6	17
206.2	0.98	4682.4	0.010	103.7	1.00	2.07	223.1	94.2	1.00	0.57	1.15	347.8	18
154.1	0.97	2514.0	0.009	114.6	0.98	2.35	151.9	111.0	0.98	0.61	1.56	293.0	19
198.8	0.98	3987.8	0.015	105.6	0.99	2.36	290.1	67.3	1.00	0.64	0.86	371.3	20



شکل ۱- همدماهای جذب نیکل در خاک‌های مختلف.

Figure 1. Nickel sorption isotherms for different soils.

این واقعیت است که شکل کلی همدماهای جذب نیکل همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود شبیه یکدیگر می‌باشند. همچنین شکل این همدمها نشان‌دهنده منحنی نوع L می‌باشد که توسط اسپوزیتو (۱۹۸۴) توضیح داده شده است (۲۶). مقادیر به‌دست آمده برای n در این مطالعه بیش از مقادیر گزارش شده به‌وسیله بوچر و همکاران (۱۹۸۹) (۰/۷۴ تا ۰/۶۵) و لیژیا و سلیم (۲۰۰۹) (۰/۵۶-۰/۵۰) می‌باشد ولی با مقادیر گزارش شده برای خاک‌های آهکی توسط ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) (۲/۸۶-۲/۱۳) مطابقت دارد (۸، ۱۵، ۱). مقایسه مقدار n در بین خاک‌ها نشان داد که خاک ۸ بالاترین مقدار و خاک ۱۸ کم‌ترین مقدار را دارد. پارامتر  $K_F$  ضریب فروندلیچ می‌باشد که مقدار آن برای خاک‌های مورد مطالعه دامنه‌ای بین ۱۴۶ تا

مدل فروندلیچ به خوبی توانست داده‌های مربوط به همدماهای جذب نیکل را توصیف کند (۰/۹۹ میانگین،  $r^2=0.92-1/0.0$ ) (جدول ۲ و شکل ۲). پارامتر بدون بعد n ممکن است نشان‌دهنده توزیع انرژی مکان‌های جذب غیرهمگن برای نگهداری یون به‌وسیله سطح باشد (۲۴). غیرخطی بودن و رقابت اغلب به‌عنوان ویژگی‌های فرآیندهای جذب سایت خاص در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت ابتدا جذب در مکان‌های با بالاترین تمایل (انرژی) جذب اتفاق می‌افتد و سپس با افزایش غلظت، مکان‌های با پتانسیل جذبی پایین اشغال می‌گردند. مقدار n برای خاک‌های مختلف دامنه‌ای بین ۲/۰۷ تا ۳/۱۵ و میانگین ۲/۴۶ داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر پارامتر n در یک محدوده بسیار باریکی برای همه خاک‌ها قرار دارد و منعکس‌کننده

مورد مطالعه را بین ۳۴۴۱ تا ۸۵۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. ضریب انرژی پیوندی ( $K_L$ ) در خاک‌ها مختلف بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۲۹ با میانگین ۰/۰۱۵ لیتر بر میلی گرم بود که نشان‌دهنده دامنه کم تغییرات این پارامتر در میان خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد.

در غلظت‌های خیلی پایین معادله لانگمویر می‌تواند به صورت زیر ساده گردد (۵):

$$q = K_d C \quad (5)$$

که در آن،  $K_d$  ( $q_{max} K_L$ ) ضریب تناسب جذب، مطابق با شیب همدمای جذب خطی می‌باشد. ضریب توزیع ( $K_d$ ) یکی از ویژگی‌های بسیار مهم کاربردی برای رفتار جذبی می‌باشد. مقدار ضریب توزیع برای خاک‌های مورد مطالعه بین ۲۲/۶ تا ۱۲۲/۵ با میانگین ۵۴/۸ لیتر بر کیلوگرم بود. خاک ۱۹ دارای کم‌ترین مقدار ضریب توزیع می‌باشد. این خاک در بین خاک‌ها مورد مطالعه با مقدار ۱۴۰ گرم بر کیلوگرم رس و بافت لوم، جزء خاک‌های سبک بوده و همچنین دارای مقادیر کم کربن آلی (۱/۰ گرم بر کیلوگرم) و ظرفیت تبادل کاتیونی (۴/۲ سانتی مول بار بر کیلوگرم) می‌باشد.

جسنز و همکاران (۱۹۷۸) معادله سه پارامتری که ابتدا به وسیله ریدلیچ-پترسون (۱۹۵۹) پیشنهاد شده بود را به صورتی که در برگرنده ویژگی‌های معادلات لانگمویر و فروندلیچ باشد تغییر دادند (۱۴) (رابطه ۳). در غلظت‌های پایین همدمای ریدلیچ-پترسون به همدمای لانگمویر نزدیک می‌شود و در غلظت‌های بالا رفتارشان همانند همدمای فروندلیچ

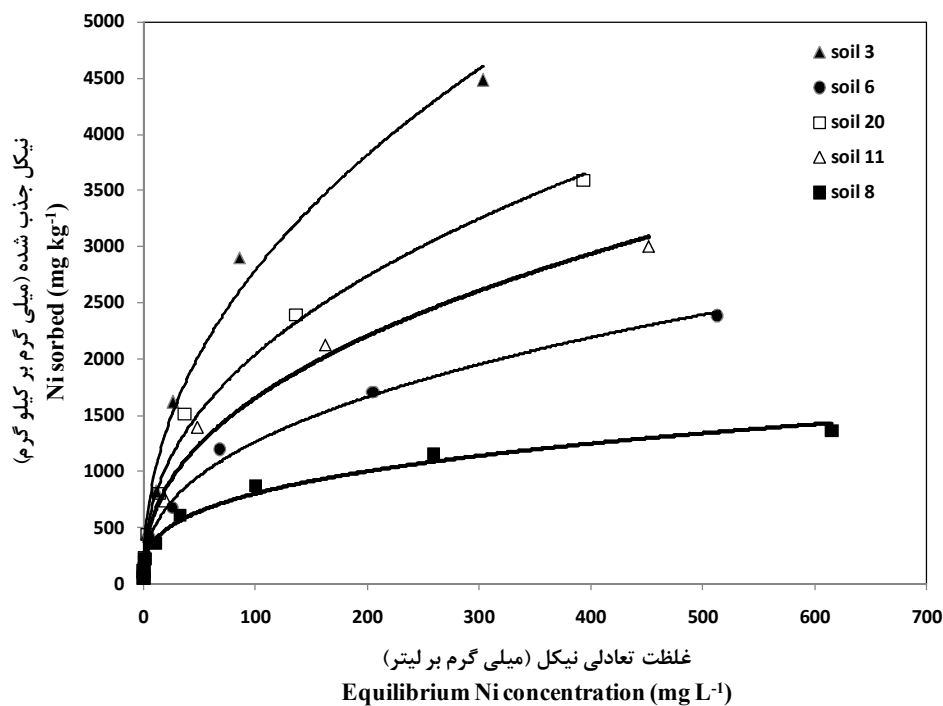
۴۹۳ و میانگین ۲۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم داشت. بیش‌ترین مقدار آن مربوط به خاک شماره ۷ و کم‌ترین آن مربوط به خاک شماره ۱۲ بود. مقدار به‌دست آمده برای پارامتر  $K_F$  در این مطالعه با مقدار گزارش شده توسط ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) (میانگین ۲۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم برای خاک‌های با آهک بالا) مطابقت داشت.

ضرایب تعیین و خطای استاندارد تخمین برآزش معادله لانگمویر به داده‌های جذب نشان داد که رفتار جذبی نیکل توسط خاک‌های آهکی به خوبی می‌تواند توسط این معادله توضیح داده شود (۰/۹۸ میانگین،  $r^2=0.94-0.99$ ) (جدول ۲ و شکل ۳). نتایج نشان داد که حداکثر جذب در خاک‌های مورد مطالعه بین ۱۳۶۹ تا ۵۳۷۸ با میانگین ۳۶۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در میان خاک‌های مورد مطالعه، خاک شماره ۳ دارای بیش‌ترین ظرفیت جذب و خاک شماره ۸ کم‌ترین ظرفیت جذب را داشت. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود خاک شماره ۳ در بین خاک‌ها مورد مطالعه دارای بیش‌ترین مقدار رس (۵۲۰ گرم بر کیلوگرم) و مواد آلی (۱۴/۶ گرم بر کیلوگرم) بوده در حالی که مقدار کربنات کلسیم معادل آن پایین می‌باشد و خاک شماره ۸ با داشتن مقدار رس ۸۰ گرم بر کیلوگرم، دارای بافت سبک در میان خاک‌های مورد مطالعه است. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت رس و مواد آلی در ظرفیت جذب نیکل در خاک‌های آهکی می‌باشد. ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که فرم خطی مدل لانگمویر به خوبی می‌تواند جذب نیکل بر روی خاک‌های آهکی را توضیح دهد. آنان حداکثر جذب برای خاک‌های



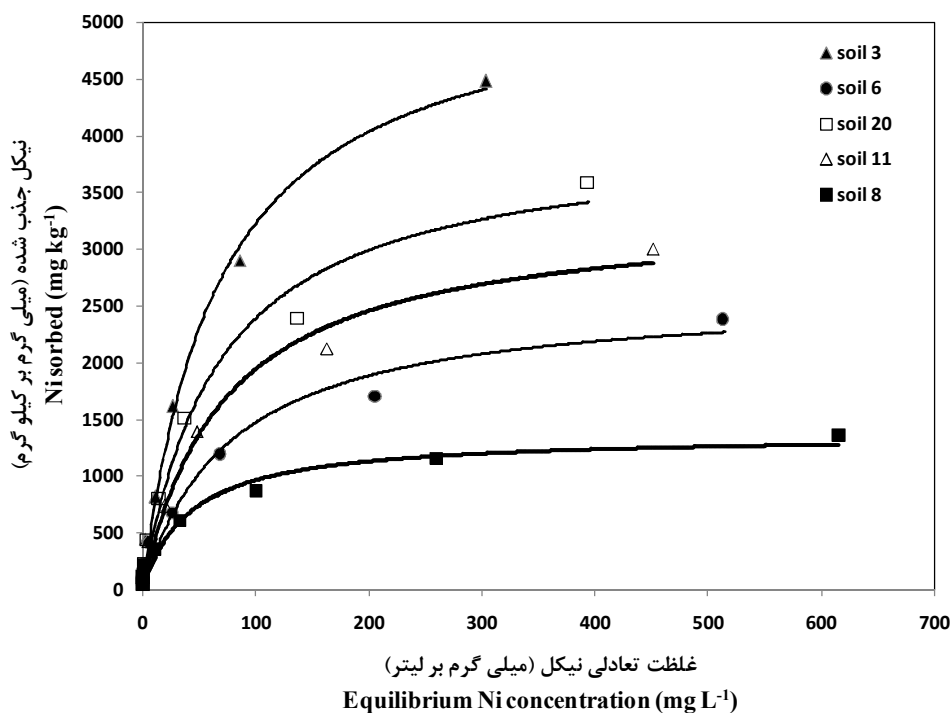
(میانگین؛ ۲۸۳ لیتر بر کیلوگرم، ۰/۷۱ کیلوگرم بر میلی‌گرم و ۰/۶۹ به ترتیب برای پارمترهای  $K_{RP}$ ،  $a_{RP}$  و  $\beta$ ) با مقادیر گزارش شده توسط ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) برای خاک‌های با آهک بالا (میانگین؛ ۱۱۲ لیتر بر کیلوگرم، ۰/۱۵ کیلوگرم بر میلی‌گرم و ۰/۵۳ به ترتیب برای پارمترهای  $K_{RP}$ ،  $a_{RP}$  و  $\beta$ ) (۱) و همچنین جذب نیکل توسط پیت (۲/۰۲ لیتر بر کیلوگرم، ۱۳/۵۵ کیلوگرم بر میلی‌گرم و ۰/۹ به ترتیب برای پارمترهای  $K_{RP}$ ،  $a_{RP}$  و  $\beta$ ) (۱۲) متفاوت بود. البته در دو پژوهش ذکر شده از فرم خطی این معادله برای برازش داده‌ها استفاده شده بود.

می‌باشد (۱۲). با توجه به مقادیر ضرایب تعیین (۰/۹۹ میانگین،  $r^2=0.94-1/0.0$  و خطای استاندارد تخمین (۹۶/۹ میانگین،  $SEE=47/9-163/3$ ) معادله ریدلیچ-پترسون بهترین برازش را به داده جذب نیکل در خاک‌های مورد مطالعه داشت (جدول ۲ و شکل ۴). هو و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که معادله ریدلیچ-پترسون بهترین برازش را به داده‌های جذب نیکل بر روی پیت داشت (۲۶). دامنه تغییرات پارمترهای  $K_{RP}$ ،  $a_{RP}$  و  $\beta$  به ترتیب ۷۴-۱۰۱۳ لیتر بر کیلوگرم، ۰/۰۶-۱/۷۲ کیلوگرم بر میلی‌گرم و ۰/۵۷-۰/۸۷ بود. مقادیر به‌دست آمده برای پارمترهای معادله ریدلیچ-پترسون در این مطالعه



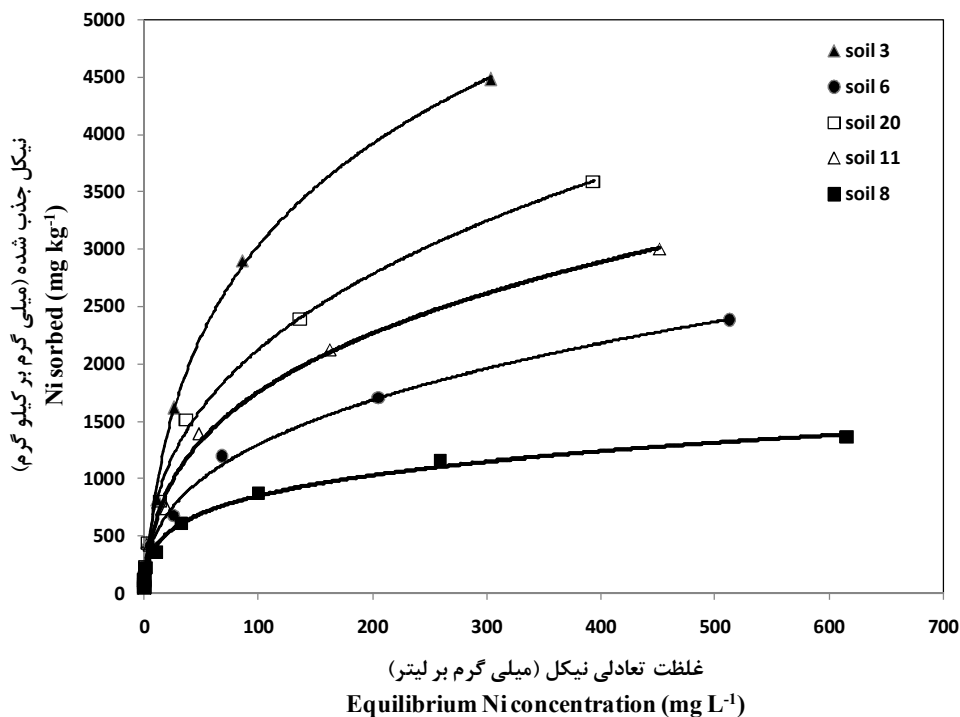
شکل ۲- برازش معادله فروندلیچ بر داده‌های جذب نیکل در خاک‌های ۳، ۶، ۲۰، ۱۱ و ۸.

Figure 2. Fitting of Freundlich equation for nickel sorption data in soils No. 3, 6, 20, 11 and 8.



شکل ۳- برازش معادله لانگمویر بر داده‌های جذب نیکل در خاک‌های ۳، ۶، ۲۰، ۱۱ و ۸.

Figure 3. Fitting of Langmuir equation for nickel sorption data in soils No 3, 6, 20, 11 and 8.



شکل ۴- برازش معادله ریدلیچ-پیترسون بر داده‌های جذب نیکل در خاک‌های ۳، ۶، ۲۰، ۱۱ و ۸.

Figure 4. Fitting of Redlich-Peterson equation for nickel sorption data in soils No 3, 6, 20, 11 and 8.

کربنات کلسیم معادل و پارامترهای معادله‌های استفاده شده برای توضیح جذب نیکل وجود نداشت. نتایج گزارش شده در رابطه با تأثیر کربنات کلسیم در جذب فلزات بسیار متفاوت بوده و گاهی دارای تناقض می‌باشد. ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بین ضریب  $K_F$  و کربنات کلسیم معادل خاک در سطح ۵ درصد رابطه منفی معنی‌داری وجود دارد که آن‌ها دلیل این امر را رابطه منفی بین مقدار کربنات کلسیم معادل و رس خاک بیان کردند (۱). رام‌چاندران و سوزا (۲۰۱۳) نشان دادند که بین پارامتر  $K_F$  و مقدار pH، CEC و  $CaCO_3$  خاک‌ها رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد و ضریب توزیع ( $K_d$ ) با افزایش pH و CEC خاک‌ها افزایش می‌یابد (۱۹). شرفافی و شهبازی (۲۰۱۴) گزارش کردند که هیچ رابطه معنی‌داری بین پارامترهای جذب کادمیم و کربنات کلسیم معادل وجود ندارد (۲۳) در حالی‌که جلالی و محرمی (۲۰۰۷) بین حداکثر جذب کادمیم و کربنات کلسیم خاک در سطح ۵ درصد رابطه معنی‌داری گزارش کردند (۱۳). بوسینلی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که نقش کربنات کلسیم معادل در نگهداری نیکل بیش‌تر از رس می‌باشد. آن‌ها عقیده داشتند که کربنات کلسیم از طریق تشکیل کمپلکس قوی باعث نگهداری نیکل می‌گردد (۹) در حالی‌که صادق و انفیلد (۱۹۸۴) عقیده داشتند که براساس منحنی‌های حلالیت، کربنات نیکل محلول‌تر از آن است که در خاک رسوب کند (۲۲). نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار کربنات کلسیم معادل تأثیری بر روی جذب نیکل ندارد و اهمیت کربنات کلسیم احتمالاً بیش‌تر به‌خاطر تأثیر آن روی pH خاک می‌باشد تا به‌عنوان یک جذب‌کننده.

رابطه بین پارامترهای جذب نیکل و ویژگی‌های خاک: همبستگی بین پارامترهای مختلف معادله‌های استفاده شده و ویژگی‌های خاک در جدول ۳ آورده شده است. بررسی رابطه بین حداکثر مقدار جذب نیکل ( $q_{max}$ ) و ویژگی‌های خاک نشان داد که حداکثر جذب نیکل تحت‌تأثیر مقادیر کربن آلی، ظرفیت رطوبت مزرعه، رس، شن و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌باشد که با نتایج ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد (۱). البته همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود رابطه معنی‌داری بین ویژگی‌های مختلف خاک‌ها وجود داشت. جلالی و محرمی (۲۰۰۷) همچنین گزارش کردند که خاک‌های با CEC بالا ظرفیت بالاتری برای جذب فلزات مورد مطالعه دارند (۱۳).  $K_L$  که مرتبط با انرژی جذب می‌باشد، تنها با pH خاک در سطح ۵ درصد رابطه مثبت و معنی‌داری داشت و دیگر ویژگی‌های خاک رابطه معنی‌داری با این پارامتر نداشتند. ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بین  $K_L$  و مقدار رس خاک رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. ضریب جذب فروندلیج  $K_F$  همبستگی بالایی در سطح ۱ درصد با مقدار کربن آلی خاک، ظرفیت رطوبت زراعی، درصد رس و شن داشت. ادهمی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که رس مهم‌ترین ویژگی خاکی مؤثر بر ضریب  $K_F$  می‌باشد (۱). مکبراید و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که خاک‌هایی که دارای مواد آلی و آهک بالا می‌باشند با نیروی زیادتری فلزات سنگین را نگه می‌دارند (۱۷). بین پارامترهای معادله ریدلیج پترسون و ویژگی‌های خاک همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد (به استثنای ضریب  $ARP$  و ظرفیت تبادل کاتیونی) وجود نداشت. همچنین رابطه معنی‌داری بین

جدول ۳- ضرایب تعیین ( $r^2$ ) بین پارامترهای معادلات لانگمویر، فروندلیچ و ریدلیچ-پتerson و ویژگی های خاک.

**Table 3. Correlation coefficients ( $r^2$ ) between Langmuir, Freundlich and Redlich-Peterson model parameters and selected characteristics of soils.**

CEC	ویژگی خاک characteristic of soil							پارامتر مدل model parameter	
	شن sand	سیلت silt	رس clay	FC <sup>۱</sup>	OC	CCE	pH		EC
-	-	-	-	-	-	-	0.23*	-	$K_L$
0.76**	-0.77**	0.33*	0.75**	0.79**	0.50**	-	-	-	$q_{max}$
0.25*	-0.54**	-	0.60**	0.46**	0.60**	-	-	-	$K_F$
-0.30*	0.24*	-0.21*	-	-0.27*	-	-	0.29*	-	n
-	-	-	-	-	-	-	-	-	$K_{RP}$
-0.26*	-	-	-	-	-	-	-	-	$a_{RP}$
-	-	-	-	-	-	-	-	-	B
0.29*	-0.58**	-	0.66**	0.49**	0.61**	-	-	-	$K_d$

\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ (Significant at the 0.05 probability level)

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ (Significant at the 0.01 probability level)

۱- ظرفیت مزرعه (Field Capacity)

جدول ۴- ضرایب تعیین ( $r^2$ ) بین ویژگی های مختلف خاک.

**Table 4. Correlation coefficients ( $r^2$ ) between different characteristics of soils.**

CEC	شن sand	رس clay	FC	OC	
0.41**	-0.53**	0.54**	0.57**		OC
0.71**	-0.73**	0.88**			FC
0.66**	-0.72**				رس clay
0.43**					شن sand
					CEC

سطح ۱ درصد معنی دار بود. رابطه بین ضریب  $K_{RP}$  معادله ریدلیچ-پتerson و  $K_L$  و  $K_F$  در سطح ۵ درصد معنی دار بود و رابطه معنی داری در سطح ۱ درصد بین ضرایب  $a_{RP}$  و B وجود داشت که می تواند نشان دهنده وابستگی این دو ضریب به یکدیگر باشد (جدول ۵).

همبستگی بین پارامترهای معادله های لانگمویر، فروندلیچ و ریدلیچ-پتerson در جدول ۵ نشان داده شده است. بررسی همبستگی بین پارامترهای مدل های مختلف نشان داد که رابطه معنی داری در سطح ۱ درصد بین ضریب  $K_F$  معادله فروندلیچ و ضرایب معادله لانگمویر وجود دارد. همچنین رابطه بین ضریب n معادله فروندلیچ و ضریب  $K_L$  لانگمویر در

جدول ۵- ضرایب همبستگی خطی ساده بین پارامترهای مدل‌های مختلف.

Table 5. Simple linear correlation coefficients between different models parameters.

B	a <sub>RP</sub>	K <sub>RP</sub>	n	K <sub>F</sub>	q <sub>max</sub>	K <sub>L</sub>
0.53*	-0.02	0.49*	0.71**	0.70**	-0.03	K <sub>L</sub>
-0.03	-0.27	0.11	-0.04	0.63**		q <sub>max</sub>
0.38	-0.16	0.49*	0.09			K <sub>F</sub>
0.50*	0.05	0.17				n
-0.37	0.73**					K <sub>RP</sub>
-0.70**						a <sub>RP</sub>
						B

### نتیجه‌گیری

که ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس و مواد آلی مهم‌ترین ویژگی‌های هستند که جذب نیکل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند در حالی که مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی تأثیری بر مقدار جذب نیکل ندارد.

همدماهای اندازه‌گیری شده برای جذب نیکل در همه خاک‌ها رفتار کاملاً غیرخطی نشان دادند. مدل‌های فروندلیچ، لانگمویر و ریدلیچ-پترسون به خوبی بر داده‌های جذب نیکل در خاک‌های مورد مطالعه برازش گردیدند. نتایج این پژوهش نشان داد

### منابع

- Adhami, E., Salmanpour, A., Omidi, A., Khosravi, N., Ghasemi-Fasaei, R., and Maftoun, M. 2008. Nickel adsorption characteristics of selected soils as related to some soil properties. *Soil and Sediment Contamination*. 17: 643-653.
- Allison, L.E., and Moodi, C.D. 1965. Carbonates, P 1379-1396. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (Eds.), *Methods of soil analysis*. Part 2, Am. Soc. Agron. Madison, WI.
- Araujo, W.S., AmaralSobrinho, N.M.B., Mazur, N., and Gomes, P.C. 2002. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 26: 17-27.
- Bloom, P.R., and McBride, M.B. 1979. Metal ion binding and exchange with hydrogen ions in acid-washed peat. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 687-692.
- Bolt, G.H., and Bruggenwert, M.G.M. 1976. *Soil chemistry, Part A: Basic Elements*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, the Netherlands.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Bradl, H.B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soil constituents. *J. Coll. Int. Sci.* 277: 1-18.
- Buchter, B., Davidoff, B., Amacher, M.C., Hinz, C., Iskandarandl, K., and Selim, H.M. 1989. Correlation of Freundlich K<sub>d</sub> and n retention parameters with soils and elements. *Soil Science*. 148: 5. 370-379.
- Businelli, D., Casciari, F., and Gigliotti, G. 2004. Sorption mechanisms determining Ni (II) retention by a calcareous soil. *Soil Science*. 169: 5. 355-362.

10. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, P 891-902. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2*, ASA, Madison, WI.
11. Ghasemi-Fasaei, R., Mayel, S., and nad Jarrah, M. 2013. Investigation of nickel retention kinetics of selected calcareous soils of Southern Iran. *Intl. J. Agric. Crop Sci.* 5: 17. 1890-1894.
12. Ho, Y.S., Porter, J.F., and McKay, G. 2002. Equilibrium isotherm studies for the sorption of divalent metal ions onto peat: copper, nickel and lead single component systems. *Water, Air, and Soil Pollution.* 141: 1-33.
13. Jalali, M., and Moharrami, S. 2007. Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils of western Iran. *Geoderma.* 140: 156-163.
14. Jossens, L., Prausnitz, J.M., Fritz, W., Schlünder, E.U., and Myers, A.L. 1978. Thermodynamics of multi-solute adsorption from dilute aqueous solutions. *Chem. Eng. Sci.* 33: 1097-1106.
15. Lixia, L., and Selim, H.M. 2009. Competitive sorption of nickel and cadmium in different soils. *Soil Science.* 174: 10. 549-555.
16. McBride, M.B. 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science.* 10: 1-56.
17. McBride, M.B., Martinez, C.E., Topp, E., and Evanis, L. 2000. Trace metal solubility and speciation in a calcareous soil 18 years no-till sludge application. *Soil Science.* 165: 646-656.
18. Nelson, D.W., and Sommer, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, P 539-579. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis.* 2<sup>nd</sup> Ed. ASA Monogr. 9 (2). Am. Soc. Agron. Madison, WI.
19. Ramachandran, V., and Souza, S.F.D. 2013. Adsorption of nickel by Indian soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13: 1. 165-173.
20. Redlich, O., and Peterson, D.L. 1959. A useful adsorption isotherm. *J. Phys. Chem.* 63: 1024.
21. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids, P 417-436. In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods.* SSSA, Madison, WI.
22. Sadiq, M., and Enfield, C.G. 1984. Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils: 1. Theoretical. *Soil Science.* 138: 262-270.
23. Sharafbafi, Sh., and Shahbazi, K. 2014. Adsorption Characteristics of Cadmium by Some Calcareous Soils of Iran. *J. Soil Res.* 28: 1. 63-76.
24. Sheindorf, C., Rebhun, M., and Sheintuch, M. 1981. A Freundlich-type multicomponent isotherm. *J. Coll. Int. Sci.* 79: 136-142.
25. Sparks, D.L. 1999. Kinetics and mechanisms of chemical reactions at the soil mineral/ water interface, P 135-191. In: D.L. Sparks (Ed.), *Soil physical chemistry*, CRC Press, New York.
26. Sposito, G. 1984. *The surface chemistry of soils.* Oxford University Press, New York, NY.
27. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* U.S. Dep. Of Agriculture Handbook no. 60, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
28. Uren, N.C. 1992. Forms, reactions and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy.* 48: 141-203.



## Nickel sorption in selected calcareous soils of Iran

H. Vaseghi-Rad<sup>1</sup>, \*K. Shahbazi<sup>2</sup> and A. Khanmirzaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, <sup>2</sup>Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: 10/28/2014; Accepted: 04/08/2015

### Abstract

**Background and Objectives:** The presence of heavy metals in the environment is causing ever-growing concern due to their toxicity, carcinogenicity and non-biodegradability. Nickel may enter and accumulate in agricultural soils through various ways. One of the most important chemical processes which affects the behavior and bioavailability of heavy metals is sorption of metals from liquid phase on the solid phase. This process controls the concentration of metal ions and complexes in the soil solution and can influence their uptake by plant roots. Sorption isotherm is a useful method to study metals retention in soils as it gives much useful information about sorption capacity of soils. The aim of the present study was to investigate the sorption properties of Ni by calcareous soils of Iran and its relation with some soil properties to better understand the fate of this metal in calcareous soils.

**Materials and Methods:** Nickel (Ni) sorption characteristics in 20 calcareous soils of Iran were investigated in a range from 5.87 to 751.23 mgL<sup>-1</sup> Ni concentration in solution using sorption isotherms of Langmuir, Freundlich and Redlich–Peterson. The “Curve Expert” software was used to fit the models of sorption isotherms. The high coefficient of determination ( $r^2$ ) and low standard error of estimate (SEE) were used as a criterion for selecting the best model.

**Results:** The Ni sorption isotherms could be fitted by the Freundlich model ( $r^2=0.92-1.00$ ; mean 0.99). The dimensionless parameter  $n$  that may indicate the sorption site energy distribution for different soils was between 2.07 and 3.15 and average of 2.46. Also the coefficient of determination and standard error of estimate showed that adsorbed behavior of Ni by calcareous soils can be described by Langmuir adsorption equation ( $r^2=0.94-0.99$ ; mean 0.98). The maximum sorption of studied soils for Ni ranged from 1369 to 5378, with average of 3605 mg/kg. The coefficient of bonding energy ( $K_L$ ) in different soils was between 0.008 and 0.029 with an average of 0.015 L/mg that indicate narrow range of this parameter among the studied soils. The distribution coefficient ( $K_d$ ) ranged from 22.6 to 122.5 with average of 54.8 L/kg. According to the coefficient of determination ( $r^2=0.94-1.00$ ; mean 0.99) and standard error of estimate (SEE= 47.9-163.3; mean 96.9), the Redlich–Peterson equation achieved the best fit to the data of Ni sorption in studied soils. The maximum Ni sorption ( $q_{max}$ ) correlated with organic matter ( $r^2=0.50$ ,  $P<0.01$ ), clay content ( $r^2=0.75$ ,  $P<0.01$ ) and cation exchange capacity ( $r^2=0.76$ ,  $P<0.01$ ). The coefficient of Ferundlich ( $K_f$ ) positively correlated with organic matter and clay content while Ridlich-Pterson parameters were not correlated with the soils properties.

**Conclusion:** The isotherms of Ni sorption showed the completely nonlinear behavior for all soils. Freundlich, Langmuir and Redlich-Patterson equations well fitted to Ni sorption data. The results of this study showed that the cation exchange capacity, clay and organic matter content of soils are the most important properties which could affect Ni sorption while Ni sorption was not affected by calcium carbonate equivalent (CCE).

**Keywords:** Sorption isotherms, Calcareous soils, Ridlich-Pterson, Langmuir, Ferundlich

\* Corresponding Authors; Email: shahbazikarim@yahoo.com

