



بررسی عوامل مؤثر در جذب عناصر در خاک

محسن جلالی

استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

شناخت عوامل مؤثر در جذب (Sorption) عناصر در خاک، نقش مهمی را در سیستم‌های زراعی و زیست محیطی و در مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و آبشویی عناصر ایفا می‌نماید. از هم‌دماهای جذب به منظور تعیین میزان نگهداری عناصر در خاک استفاده می‌شود. ضریب جذب برای بیان ارتباط بین مقدار عنصر جذب شده توسط ماده جاذب و مقدار محلول در آب در حالت تعادل، مورد استفاده قرار می‌گیرد. جذب و آبشویی عناصر از خاک تحت تأثیر ضریب جذب خاک می‌باشد. ضریب جذب در خاک نشان‌دهنده توانایی خاک در نگهداری عناصر است. بطور کلی ضریب جذب بالا، نشان‌دهنده جذب بیشتر عناصر در خاک و در نتیجه هدرروی کمتر آن‌ها می‌باشد. ضریب جذب خاک علاوه بر مقدار و نوع رس، مقدار ماده آلی، به غلظت سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول خاک، قدرت یونی، لیگاندهای آلی، پی‌اچ، غلظت عنصر، فشار، دما، و نسبت خاک به محلول بستگی دارد. تحقیقات زیادی جهت بررسی ارتباط بین ضریب جذب و خصوصیات خاک و هدرروی عناصر از طریق آبشویی از خاک صورت گرفته است. همچنین در این راستا از مدل‌های تجربی و مکانیستیکی برای توصیف فرآیند جذب استفاده شده است. نکته‌ای که باید در تفسیر نتایج آزمایشگاهی و تعمیم آن‌ها به شرایط مزرعه در نظر گرفته شود این است که در اغلب موارد، بین شرایط آزمایشگاهی و شرایط حاکم بر مزرعه، تفاوت‌هایی وجود دارد که ممکن است نتایج نهایی را تحت تأثیر قرار دهند. پیشنهاد می‌گردد، اندازه‌گیری هم‌دماهای جذب و دفع عناصر در خاک‌های آهکی در دمای 25 ± 3 درجه سانتیگراد، پی‌اچ $7/5 \pm 0/2$ و در حضور کلرید کلسیم $0/01$ مولار به عنوان الکترولیت زمینه انجام شود. در این مقاله به بررسی برخی از عوامل مؤثر بر جذب عناصر، استفاده از معادلات تجربی و مدل‌های مکانیستیکی پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: ضریب جذب، آبشویی، مدل‌های مکانیستیکی، خاک‌های آهکی

مقدمه

جذب (Sorption) و دفع عناصر در خاک‌ها مهم‌ترین فرآیندهایی هستند که تحرک و زیست‌فراهمی عناصر را در خاک تعیین می‌کنند. جذب، به حذف عناصر از محلول خاک اشاره دارد و نشان‌دهنده مکانیسم‌هایی است که تحرک و زیست‌فراهمی عناصر در خاک را کنترل می‌کنند. به دلیل اینکه مکانیسم نگهداری یون‌ها بر روی سطوح خاک اغلب نامعلوم است، اصطلاح جذب به طور کلی دربرگیرنده خروج یک یون از فاز محلول به فاز جامد بوده و شامل سه فرآیند مهم جذب سطحی، رسوب سطحی و تثبیت می‌باشد (بردل و همکاران، ۲۰۰۴). دفع یون‌های جذب شده از فاز جامد، در دسترس بودن و آبشویی آن‌ها از خاک را کنترل می‌کند. ضریب جذب برای بیان ارتباط بین مقدار عنصر جذب شده توسط خاک و مقدار محلول در آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد و جذب و آبشویی عناصر از خاک تحت تأثیر ضریب جذب خاک می‌باشد (وگا و همکاران، ۲۰۰۸).

از ضرایب جذب می‌توان برای مقایسه خاک‌ها و یا جاذب‌ها استفاده نمود (نیدو و همکاران، ۱۹۹۴). ضرایب جذب عناصر در خاک تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از جمله پی‌اچ محلول، ظرفیت تبادل کاتیونی، قدرت یونی، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و یا لیگاندهای آلی موجود در محلول، غلظت عنصر در محلول، یون‌های رقیب، یون‌های همراه و در دسترس بودن مکان‌های جذبی اجزای مختلف خاک از جمله کربنات‌ها، فسفات‌ها، مواد آلی، سیلیکات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدها قرار دارند (آلوا و همکاران، ۱۹۹۱؛ نیدو و همکاران، ۱۹۹۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این‌ها، جذب، تحت تأثیر عوامل خارجی مانند فشار، دما،



نسبت خاک به محلول و نحوه مطالعه، نمونه برداری و ذخیره سازی خاکها قبل از آزمایش می باشد (بل و بیتس، ۱۹۸۸؛ استاونتن، ۱۹۹۴؛ هارتر و نیدو، ۲۰۰۱). بنابراین، نتایج به دست آمده از روش های مختلف مورد استفاده در آزمایشگاه های متفاوت را نمی توان به آسانی با یکدیگر مقایسه نمود. در نظر نگرفتن هریک از این عوامل می تواند منجر به اشتباهات قابل توجهی در مقایسه نتایج گردد. با توجه به گستردگی مبحث جذب و تفاوت مکانیسم های جذب عناصر مختلف، در این بررسی تلاش شده است کلیاتی پیرامون پدیده جذب و عوامل و مکانیسم های مؤثر در جذب عناصر مختلف، ارائه گردد.

عوامل مؤثر بر جذب عناصر در خاک

قدرت یونی

ترکیب محلول خاک به طور چشمگیری با نوع خاک و تغییرات محیط خاک تغییر می کند. معمولاً انتظار می رود قدرت یونی خاک های به شدت هوادیده مانند خاک های اکسی سول در مناطق حاره ای کمتر از ۵ میلی مول در لیتر باشد اما انتی-سول هایی که کمتر هوادیده شده اند یا اینسپتی سول های مناطق معتدل، معمولاً دارای قدرت یونی ۱۰ میلی مول در لیتر یا بیشتر هستند (هارتر و نیدو، ۲۰۰۱). قدرت یونی، متناسب با غلظت آنیون ها و کاتیون ها در هر خاک تغییر می کند و اساساً، هم به تشکیل خاک و هم به شرایط فعلی خاک بستگی دارد. بدیهی است که خاک های اسیدی و قلیایی و یا آهنکی، تفاوت زیادی در قدرت یونی دارند. به نظر می رسد که قدرت یونی ۰/۰۱ مولار برای شبیه سازی شرایط محلول خاک در مزرعه مناسب تر باشد (هارتر و نیدو، ۲۰۰۱). قدرت یونی ۰/۰۳ مولار، تنها برای شبیه سازی خاک های کشت شده و یا خاک های شور که انتظار می رود قدرت یونی بالاتر از ۰/۰۱ مولار داشته باشند، مناسب به نظر می رسد. نیدو و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که تغییر در قدرت یونی و ترکیب محلول، ویژگی های شیمیایی جذب سطحی خاک ها و در نتیجه ظرفیت خاک برای جذب عناصر را تحت تأثیر قرار می دهد. به عنوان مثال، حضور کلسیم، جذب کادمیوم را از طریق تأثیر بر پتانسیل سطحی خاک، ضخامت لایه دوگانه الکتریکی و رقابت با کادمیوم برای مکان های جذبی، کاهش می دهد. فتوت و نیدو (۱۹۹۷) نشان دادند که تغییر در نسبت خاک به محلول می تواند بر گونه بندی عناصر مس و روی در فاز آبی خاکها مؤثر باشد. همچنین کاهش قدرت یونی محلول خاک در اثر افزایش نسبت خاک به محلول، منجر به تغییرات قابل توجه در غلظت جفت های یونی و عناصر آب-پوشی شده آزاد و واکنش های کمپلکس شدن می گردد. با وجود شناخت تأثیر بار یون و قدرت یونی بر برهمکنش های عناصر، مطالعات بسیاری بر روی جذب سطحی عناصر در حضور الکترولیت های زمینه مختلف با دامنه وسیعی از کاتیون ها، آنیون ها و قدرت یونی صورت گرفته است.

الکترولیت

تأثیر کاتیون های شاخص بر جذب عناصر را می توان هم از طریق رقابت مستقیم برای جذب بر روی مکان ها و هم از طریق تأثیر بر شیمی لایه دوگانه پخشیده توجیه نمود. از آنجا که ظرفیت یون می تواند چگالی بار سطحی را تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین پتانسیل جذب سطحی به ظرفیت یون بستگی دارد (باودن و همکاران، ۱۹۷۳). یون های کلسیم و سدیم، دو کاتیون غالب هستند که معمولاً برای مطالعات جذب استفاده می شوند. مطالعات جذب نشان داده اند که جذب عناصر در حضور کلسیم در مقایسه با سدیم کاهش پیدا می کند.

جلالی و احمدی محمد زینلی (۲۰۱۲) و (۲۰۱۳)، تأثیر یون های معمول (کلسیم، پتاسیم، سدیم، آمونیوم، کلر، نترات و دی هیدروژن فسفات) را بر جذب روی و مس در خاک های آهنکی غرب ایران با استفاده از محلول های ۱۰ میلی مولار KCl، KNO_3 ، KH_2PO_4 ، $Ca(NO_3)_2$ ، $NaNO_3$ و NH_4NO_3 به عنوان الکترولیت زمینه بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که یون های آمونیوم و پتاسیم، جذب روی را در مقایسه با یون سدیم به طرز مشابهی کاهش دادند. یون دی هیدروژن فسفات، جذب روی را در مقایسه با یون های نترات و کلر کاهش داد. استفاده از نترات آمونیوم، نگهداری مس در خاکها را افزایش و استفاده از نترات کلسیم، نگهداری مس را در تمام خاکها کاهش داد (جلالی و احمدی محمد زینلی، ۲۰۱۳). محرمی و جلالی (۲۰۱۳) اثر یون همراه در جذب و دفع آهن و منگنز را بر روی ۶ نمونه خاک آهنکی غرب ایران، بررسی کردند. یون های



سدیم و پتاسیم تأثیر مشابهی در جذب مس داشتند. جذب مس توسط دی هیدروژن فسفات و نیترات و کلر کاهش یافت. نتایج آن‌ها نشان داد که خطر آبشویی مس به آب‌های زیرزمینی در حضور یون‌های نیترات و کلسیم نسبت به حضور سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها بیشتر بود. دو آنیون غالب که معمولاً در الکترولیت زمینه استفاده می‌شوند، کلر و نیترات می‌باشند. با اینکه این آنیون‌ها معمولاً در محلول خاک حضور دارند، اما غالباً غلظت آن‌ها در محلول الکترولیت بسیار بیشتر از محلول خاک است. همان‌طور که قبلاً بحث شد، چنین غلظت‌های بالایی می‌توانند هم از طریق تشکیل کمپلکس‌های عنصر-لیگاند و هم تغییر چگالی بار سطح خاک از طریق تشکیل پیوندهای کووالانسی، بر واکنش‌های جذب تأثیر بگذارند. بنابراین، تأثیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر جذب عناصر در خاک، قابل توجه می‌باشد و عدم توجه به تأثیر آن‌ها منجر به ارائه نتایجی می‌گردد که با نتایج واقعی فاصله خواهند داشت.

پی‌اچ

پی‌اچ بر نگهداری عناصر در خاک تأثیر می‌گذارد و با افزایش پی‌اچ، ضریب جذب افزایش می‌یابد (دگریس و همکاران، ۲۰۰۹). مریخ‌پور و جلالی (۲۰۱۳) مشاهده نمودند که با افزایش پی‌اچ محلول اولیه از ۲ تا ۴، ظرفیت جذب ژئولیت افزایش یافته و در دامنه پی‌اچ ۴ تا ۷، ظرفیت جذب تقریباً ثابت باقی ماند. طاهروند و جلالی (۲۰۱۶) تأثیر پی‌اچ تعادلی بر جذب، دفع و گونه‌بندی آهن، کادمیوم و نیکل در خاک‌های آهکی را در دامنه پی‌اچ ۲ تا ۹ بررسی نمودند. بر اساس نتایج این مطالعه، جذب عناصر به طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به پی‌اچ بود. جذب عناصر کادمیوم و نیکل با افزایش پی‌اچ تعادلی، افزایش یافت، به طوریکه حداقل و حداکثر جذب عناصر فوق به ترتیب در پی‌اچ‌های ۲ و ۸ مشاهده گردید. نجفی و جلالی (۲۰۱۶) با بررسی جذب و دفع کادمیوم و مس در حضور غلظت‌های مختلف اسیدهای آلی اگزالیک، سیتریک و مالیک و تأثیر اسیدهای آلی فوق بر پی‌اچ تعادلی خاک‌ها بیان نمودند که کاهش پی‌اچ ناشی از افزایش غلظت اسیدهای آلی، رفتار جذب و دفع عناصر را در خاک‌ها به دو دلیل تغییر داد. اول اینکه، با کاهش پی‌اچ، بارهای منفی مکان‌های جذبی خاک کاهش می‌یابد و این می‌تواند منجر به کاهش جذب عنصر به دنبال کاهش پی‌اچ گردد. دوم اینکه، تغییر پی‌اچ به دنبال تغییر غلظت اسید-های آلی، گونه‌های لیگاند‌های آلی را تغییر می‌دهد که این به نوبه خود، بر جذب و دفع عناصر در خاک تأثیر می‌گذارد.

مقدار عنصر

ضریب جذب با افزایش غلظت عنصر کاهش می‌یابد. معمولاً دامنه وسیعی از غلظت‌های عنصر برای مطالعات جذب به کار گرفته می‌شود، اما در بیشتر مطالعات مقدار عنصر مصرفی بسیار کم می‌باشد. با بررسی ۲۶ مقاله در مورد هم‌دهماهای جذب عناصر سرب، کادمیوم، کبالت و نیکل، مشخص شد که دامنه مقدار عنصر افزوده شده به خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)، ۰/۵-۳۳۱۵۲ برای سرب، ۰/۵-۳۲۰۰۰ برای کادمیوم، ۲۵-۱۱۷۸۶ برای کبالت و ۵-۲۵۰۰۰ برای نیکل، بوده است. در بررسی‌های انجام شده در مورد هم‌دهمای جذب فسفر، دامنه مقدار فسفر افزوده شده به خاک پس از بررسی حدود ۱۱ مقاله، ۱۰-۶۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. استفاده از مقادیر زیاد عناصر، اغلب منجر به نتایجی می‌شود که تنها برای شرایطی که غلظت عناصر بیش از حد طبیعی است، معتبر خواهند بود.

مواد آلی

مواد آلی سهم مهمی در جذب عناصر توسط خاک دارند. ساکورای و هوانگ (۱۹۹۵) جذب کادمیوم را با استفاده از مونت موریلونیت و هیدروکسی آلومینیوم مونت موریلونیت و در حضور غلظت‌های مختلف اگزالات به عنوان الکترولیت زمینه مطالعه نمودند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، این سطوح معدنی تمایل بسیار بالایی برای جذب کادمیوم در غیاب اگزالات داشتند. جلالی (۲۰۰۷) در بررسی خصوصیات جذب فسفر در خاک‌های آهکی همدان، همبستگی معنی‌داری بین جذب فسفر و مقدار ماده آلی خاک‌ها مشاهده نمود. نتایج مطالعه فوق نشان داد که در خاک‌های دارای ماده آلی بالاتر، جذب فسفر به دلیل جایگزینی $H_2PO_4^-$ بر روی مکان‌های جذبی و پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم توسط هوموس، کاهش یافت. جلالی و



جلیلی (۲۰۱۱) جذب رقابتی عناصر روی، کادمیوم، مس و نیکل را پس از اصلاح خاک‌ها با لجن فاضلاب، کود مرغی و کمپوست پسماند شهری، بررسی نمودند و پس از مقایسه نتایج در خاک‌های اصلاح شده و خاک شاهد، دریافتند که افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک‌های آهکی، جذب عناصر کادمیوم، مس و نیکل را کاهش داد. آن‌ها بیان نمودند که اثرات جذب ترجیحی و ماده آلی باید در ارزیابی خطرات مربوط به کاربرد لجن فاضلاب، کود مرغی و مواد آلی کمپوست شده در خاک‌های آهکی، در نظر گرفته شود. فن و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه تأثیر ماده آلی بر جذب روی در خاک نتیجه گرفتند که با افزایش میزان ماده آلی، متوسط انرژی آزاد پیوند یون‌های روی با ذرات خاک، کاهش یافته و بخش بیشتری از یون‌های روی در محلول باقی مانده و بنابراین جذب کاهش یافت. از طرف دیگر، نتایج آن‌ها نشان داد که پس از حذف ماده آلی از خاک، میزان جذب غیراختصاصی روی (کمپلکس برون‌کره) افزایش یافته و مقدار روی پیوند یافته به هومیک اسید تقریباً به صفر کاهش یافت.

یون‌های رقیب

یون‌های مختلف در محلول خاک برای جذب بر روی مکان‌های تبادلی با یکدیگر رقابت می‌کنند. موریرا و آلیونی (۲۰۱۰) با بررسی جذب روی، کادمیوم، مس و نیکل در خاک‌های مناطق حاره‌ای در سیستم‌های رقابتی و غیررقابتی، بیان نمودند که رقابت عناصر، جذب همه عناصر را تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش حداکثر جذب عناصر گردید. آن‌ها گزارش کردند که توالی جذب عناصر در حالت غیررقابتی به صورت مس < روی < نیکل < کادمیوم بود. در حالیکه در سیستم رقابتی، توالی مس < کادمیوم < روی < نیکل به دست آمد. جلالی و مرادی (۲۰۱۳) پس از بررسی جذب رقابتی کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی در خاک‌های آهکی آلوده و غیرآلوده، بیان نمودند که مقدار عنصر جذب شده بر روی مکان‌های جذبی به وسیله حضور عناصر دیگر، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مریخ‌پور و جلالی (۲۰۱۳)، جذب عناصر سرب، کادمیوم، مس و نیکل بر روی زئولیت طبیعی را در سیستم‌های تک عنصری و رقابتی بررسی و کاهش قابل توجه جذب در سیستم‌های رقابتی را مشاهده نمودند. بر اساس نتایج مطالعه فوق، در سیستم تک عنصری، جذب سرب بر روی زئولیت به صورت ترجیحی بود در حالیکه در سیستم رقابتی، ترجیح زئولیت برای جذب مس بیش از سایر عناصر بود. فیضی و جلالی (۲۰۱۵) در بررسی ظرفیت جذب بقایای گیاهی نشان دادند که جذب عناصر آهن، روی، کادمیوم، مس، منگنز و نیکل، در سیستم رقابتی کمتر از سیستم تک عنصری بود.

عوامل محیطی تأثیرگذار بر جذب

فشار و دما

فشار و دما فرآیندهای جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. محققان نشان داده‌اند که با افزایش دما و فشار، جذب افزایش می‌یابد. درعمل، اگر آزمایشگاه امکانات کنترل دما را نداشته باشد، دما به طور قابل توجهی در تابستان و زمستان تغییر می‌نماید. مهدادی (۱۹۹۳) نشان داده است که ده درجه تفاوت دما می‌تواند سینتیک جذب، غلظت تعادلی عنصر و زمان مورد نیاز برای رسیدن به تعادل را تحت تأثیر قرار دهد. چنین تغییر دمایی می‌تواند موجب تغییر در نتایج آزمایشگاهی گردد.

نسبت خاک به محلول

به منظور بررسی رفتار جذب و واجذب عناصر در خاک، از نسبت‌های بسیار متفاوت خاک به محلول استفاده شده است. چانگ و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی جذب مس در نسبت‌های خاک به محلول مختلف، به این نتیجه رسیدند که با کاهش نسبت خاک به محلول، میزان جذب مس افزایش یافت. دو و هایاشی (۲۰۰۵) مشاهده کردند که تأثیر پی‌اچ بر جذب کادمیوم، وابسته به نسبت خاک به محلول بود، به طوری که در نسبت‌های خاک به محلول کمتر، جذب کادمیوم با افزایش پی‌اچ افزایش پیدا کرد، در حالیکه در نسبت‌های خاک به محلول بالاتر، میزان افزایش، کمتر بود. این محققین نتیجه گرفتند که نسبت خاک به محلول، یک فاکتور مهم برای کنترل جذب عناصر در خاک می‌باشد. بادا و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر نسبت‌های خاک به



محلول مختلف (۱:۲ تا ۱:۱۰ و ۱:۲۰) را بر غلظت تعادلی فسفر در خاک‌های مختلف، مطالعه و بیان نمودند که تغییر نسبت خاک به محلول، تأثیر قابل توجهی بر غلظت تعادلی فسفر در خاک دارد. جلالی و همتی متین (۲۰۱۵) جذب فسفر در خاک-های شالیزار را در نسبت‌های خاک به محلول ۱:۱۰، ۱:۲۵، ۱:۵۰، ۱:۱۰۰ و ۱:۱۵۰ بررسی و مشاهده نمودند که در نسبت‌های خاک به محلول بالاتر، مقدار حداکثر جذب فسفر کمتر بود.

رابطه بین ضریب جذب و خصوصیات خاک

تحقیقات زیادی جهت برقراری ارتباط بین ضرایب جذب و خصوصیات خاک صورت گرفته است. ضریب جذب عناصر، تحت تأثیر ویژگی‌های خاک مانند پی‌اچ، کانی‌های رسی، ماده آلی خاک، اکسیدهای آهن و منگنز و کربنات کلسیم، می‌باشد (شاهین و همکاران، ۲۰۱۳). عثمان (۲۰۰۸) با انجام آنالیزهای همبستگی ساده و رگرسیون چندگانه، نتیجه گرفت که قابلیت خاک برای جذب عناصر، به نوع و مقدار رس و نیز، ظرفیت تبادل کاتیونی بستگی دارد. کولو و همکاران (۲۰۰۸) و وگا و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر خصوصیات خاک بر جذب و نگهداری عناصر مختلف را بررسی و گزارش نمودند که جذب و نگهداری سرب، بستگی به ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان هماتیت و مقدار اکسید منگنز داشت. آنالیزهای آماری انجام شده توسط تیسادیلا و همکاران (۲۰۰۹) همبستگی معنی‌دار ضرایب جذب روی و مس با پی‌اچ را نشان دادند. شاهین و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که ضریب جذب مس به طور معنی‌داری با رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی و آهن، آلومینیوم و سیلیسیوم بی‌شکل، همبستگی داشت. سرکوئیرا و همکاران (۲۰۱۱) همبستگی بالایی بین ضریب جذب مس و پی‌اچ و ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین همبستگی کمتری با میزان رس را مشاهده نمودند. همچنین در این مطالعه، مقادیر ضرایب جذب برای جذب رقابتی سرب، با ظرفیت تبادل کاتیونی، مقادیر اکسیدهای آهن و منگنز و میزان رس و نسبت ورمیکولیت کلریت در بخش رس، همبستگی داشتند. به طور کلی، کانی‌های رسی، هیدروکسیدها، پی‌اچ خاک، کربنات‌ها و ماده آلی، به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جذب عناصر در نظر گرفته می‌شوند (شاهین و همکاران، ۲۰۱۳). جلالی و جلالی (۲۰۱۶) رابطه معنی‌داری بین ضریب جذب فسفر و مقدار سیلت و ماده آلی به دست آوردند. در مطالعه جلالی و معجری (۲۰۱۶)، همبستگی بالایی بین ضرایب جذب کبالت و میزان کربنات کلسیم خاک‌ها مشاهده شد، بنابراین، افزایش میزان کربنات کلسیم در خاک، موجب افزایش ضریب جذب کبالت و در واقع افزایش جذب و کاهش دفع کبالت گردید.

مدل‌های تجربی

این مدل‌ها شامل انواع معادلاتی هستند که به هم‌دماهای جذب برازش داده می‌شوند و توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

مدل‌های مکانیستیکی (Mechanistic Models)

جذب ترجیحی را می‌توان با استفاده از مدل‌های مکانیستیکی توصیف نمود. مدل‌های مکانیستیکی شامل تمام مدل‌هایی هستند که جذب را توسط واکنش‌های بین یون موجود در فاز محلول و سطح باردار توصیف می‌کنند. کمپلکس سطحی، یک تئوری برای توصیف پدیده جذب سطحی می‌باشد. تفاوت مدل‌های مکانیستیکی، ناشی از تفاوت آن‌ها در توصیف ماهیت بار سطحی، تعداد صفحات جذبی بالقوه و موقعیت گونه‌های جذب شده می‌باشد. به طور کلی سه مدلی که مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل مدل ظرفیت ثابت (Constant Capacitance Model)، مدل لایه دوگانه پخشیده (Diffuse Layer Model) و مدل لایه سه گانه (Triple Layer Model) می‌باشند. در مطالعات گوناگون از این مدل‌ها برای توصیف جذب سطحی عناصر مختلف استفاده شده است. گلدبرگ و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل ظرفیت ثابت، جذب بُر در خاک‌های زراعی را پیش‌بینی نمودند. در مطالعه ایکسان و همکاران (۲۰۰۵) شبیه‌سازی جذب روی توسط مونت موریلونیت انجام شد. مردی و همکاران (۲۰۰۹) برهمکنش‌های عناصر سرب، کروم و مس با خاک را با استفاده از آزمایشات جذب و شبیه‌سازی با برنامه PHREEQC بررسی نمودند. سرانو و همکاران (۲۰۰۹) شبیه‌سازی جذب رقابتی سرب و کادمیوم را در خاک‌های طبیعی با استفاده از یک



مدل کمپلکس سطحی و تبادل یونی انجام دادند. بردبری و باینس (۲۰۱۱) جذب نیکل و کبالت بر روی کانی‌های رسی را با استفاده از مدل‌های کمپلکس سطحی و تبادل یونی پیش‌بینی نمودند. در مطالعه گلی و همکاران (۲۰۱۱)، جذب بر توسط گئوتیت به خوبی توسط مدل CD-MUSIC توصیف گردید. رنجبر و جلالی (۲۰۱۳) و (۲۰۱۴) جذب آمونیوم و بر در خاک-های آهکی را با استفاده از برنامه PHREEQC شبیه‌سازی نمودند. طاهروند و جلالی (۲۰۱۷) با استفاده از برنامه PHREEQC، جذب و دفع عناصر روی، کادمیوم، مس و نیکل تحت تأثیر پی‌اچ را در خاک‌های اصلاح شده با بنتونیت، کلسیت و زئولیت، شبیه‌سازی نمودند.

در استفاده از مدل‌های مکانیستیکی، پس از تعریف مجموعه‌ای از واکنش‌های تعادلی و تعادلات مواد مربوطه، مدل را می‌توان به وسیله تنظیم پارامترهای مورد نیاز جهت اجرای برنامه مانند غلظت سایت و ثابت تشکیل گونه‌ها، به داده‌های آزمایشگاهی برازش داد. به هنگام تعریف ساختار مدل، دو نکته مهم وجود دارد. اول اینکه، اغلب، مجموعه واکنش‌های تعادلی، کم و بیش به صورت فرضیه بیان می‌شوند، و دوم اینکه، نسبت به محدودیت‌های آزمایشگاهی، مدل دارای پارامترهای قابل تنظیم بسیاری است، به عبارت دیگر ساختار مدل دارای قابلیت انعطاف بسیار زیادی است. در حقیقت، تعریف ساختار مدل از یک روش آزمون و خطا پیروی می‌نماید و تعریف مدل نیز بخشی از روش برازش کلی به داده‌های آزمایشی می‌باشد. در این صورت، مدل مکانیستیکی به یک مدل نیمه‌تجربی تبدیل می‌شود. در صورت انعطاف‌پذیری بسیار زیاد مدل، مجموعه پارامتر-های قابل تنظیم مختلف ممکن است منجر به توصیف یکسان داده‌های آزمایشی شوند.

نتیجه‌گیری

به منظور برآورد دقیقی از کود مورد نیاز و بررسی احتمال آبشویی عناصر از خاک، داشتن شناخت کافی از توانایی خاک‌ها در جذب عناصر ضروری است. از آنجا که پارامترهای مختلفی از قبیل آنچه که در این بررسی به آن‌ها اشاره گردید در مطالعات جذبی مؤثر هستند، نتایج آزمایشگاهی مختلف را نمی‌توان به راحتی با یکدیگر مقایسه نمود. هارتر و نیدو (۲۰۰۱) پیشنهاد کرده‌اند که در مطالعات جذبی، از الکترولیت زمینه نیتراژ سدیم ۱۰ میلی‌مولار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دامنه پی‌اچ بین ۵/۵ تا ۶ استفاده گردد. آن‌ها نیتراژ سدیم را به دلیل سازگار بودن با مفاهیم زیست محیطی و کمترین امکان تشکیل کمپلکس در قدرت‌های یونی مورد استفاده، به عنوان بهترین گزینه معرفی کرده‌اند. البته ورود یون‌های سدیم و نیتراژ به خاک و آب‌های زیرزمینی باعث تشدید فرآیند سدیمی شدن خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی خواهد گردید. به نظر می‌رسد اندازه‌گیری هم‌دمای جذب و دفع عناصر در خاک‌های آهکی در دمای 3 ± 25 درجه سانتی‌گراد، پی‌اچ 0.2 ± 7.5 و در حضور کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به عنوان الکترولیت زمینه مناسب باشد. چنین استانداردهایی چهارچوب مناسبی را برای ارزیابی تأثیر متغیرهای انتخاب شده، بر جذب عناصر در خاک‌ها و کانی‌های متنوع فراهم می‌نمایند. همچنین در به کار گیری مدل‌های مکانیستیکی در توصیف هم‌دمای جذب باید به این نکته توجه نمود که اگر پارامترهای مورد نیاز جهت اجرای مدل از طریق برازش به داده‌های جذب تخمین زده شوند، مدل مکانیستیکی به یک مدل نیمه‌تجربی تبدیل می‌شود. در بررسی جذب عناصر مختلف، توجه به این نکته ضروری است که مبحث جذب دارای پیچیدگی بسیاری بوده و بررسی جامع و دقیق جذب عناصر مختلف، مستلزم در نظر گرفتن کلیه مکانیسم‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها در مورد هر عنصر و در شرایط حاکم بر مزرعه می‌باشد.

منابع

- Alva A.K., Sumner M.E. and Miller W.P. 1991. Relationship between ionic strength and electrical conductivity for soil solutions. *Soil Science*, 152: 239-242.
- Bell J. and Bates T.H. 1988. Distribution coefficient of radionuclides between soils and ground water and their dependence on various test parameter. *Science of the Total Environment*, 69: 297-317.
- Bhadha J.H., Daroub S.H. and Lang T.A. 2012. Effect of kinetic control, soil: solution ratio, electrolyte cation, and others, on equilibrium phosphorus concentration. *Geoderma*, 173: 209-214.
- Bowden J.W., Bolland M.D.A., Posner A.M. and Quir J.P. 1973. Generalised model for anion and cation adsorption at oxide surfaces. *Nature (London)*, 245: 81-83.



- Bradbury M.H. and Baeyens B. 2011. Predictive sorption modelling of Ni (II), Co (II), Eu (III), Th (IV) and U (VI) on MX-80 bentonite and Opalinus Clay: A “bottom-up” approach. *Applied Clay Science*, 52: 27-33.
- Bradl H.B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277: 1-18.
- Cerqueira B., Covelo E.F., Andrade L. and Vega F.A. 2011. The influence of soil properties on the individual and competitive sorption and desorption of Cu and Cd. *Geoderma*, 162: 20-26.
- Chang T.W., Wang M.K. and Lin C. 2002. Adsorption of copper in the different sorbent/water ratios of soil systems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 138: 199-209.
- Covelo E.F., Matías J.M., Vega F.A., Reigosa M.J. and Andrade M.L. 2008. A tree regression analysis of factors determining the sorption and retention of heavy metals by soil. *Geoderma*, 147: 75-85.
- Degryse F., Smolders E. and Parker D.R. 2009. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: Concepts, methodologies, prediction and applications—a review. *European Journal of Soil Science*, 60: 590-612.
- Du Y.J. and Hayashi S. 2005. Investigation on some factors controlling the sorption of heavy metals on a riake clay. *Lowland Technology International*, 7: 43-49.
- Fan T.T., Wang Y.J., Li C.B., He J.Z., Gao J., Zhou D.M., Friedman S.P. and Sparks D.L. 2016. Effect of organic matter on sorption of Zn on soil: Elucidation by Wien effect measurements and EXAFS spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 50: 2931-2937.
- Feizi M. and Jalali M. 2015. Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 54: 125-136.
- Fotovat A. and Naidu R. 1997. Ion exchange resin and MINTEQA2 speciation of Zn and Cu in alkaline sodic and acidic soil extracts. *Australian Journal of Soil Research*, 35: 711-726.
- Goldberg S., Corwin D.L., Shouse P.J. and Suarez D.L. 2005. Prediction of boron adsorption by field samples of diverse textures. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 1379-1388.
- Goli E., Rahnemaie R., Hiemstra T. and Malakouti M.J. 2011. The interaction of boron with goethite: Experiments and CD–MUSIC modeling. *Chemosphere*, 82: 1475-1481.
- Harter R.D. and Naidu R. 2001. An assessment of environmental and solution parameter impact on trace-metal sorption by soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 597-612.
- Ikhsan J., Wells J.D., Johnson B.B. and Angove M.J. 2005. Surface complexation modeling of the sorption of Zn (II) by montmorillonite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 252: 33-41.
- Jalali M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. *Environmental Geology*, 53: 365-374.
- Jalali M. and Jalili A. 2011. Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils as affected by sewage sludge, poultry manure, and municipal waste compost. *Environmental Earth Sciences*, 63: 731-739.
- Jalali M. and Ahmadi Mohammad Zinli N. 2012. Effects of common ions on Zn sorption in some calcareous soils of Western Iran. *Pedosphere*, 22: 190-200.
- Jalali M. and Ahmadi Mohammad Zinli N. 2013. Effect of common ions on copper sorption behavior in dryland calcareous soils in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59: 197-212.
- Jalali M. and Moradi F. 2013. Competitive sorption of Cd, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in polluted and unpolluted calcareous soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 8831-8846.
- Jalali M. and Jalali M. 2016. Relation between various soil phosphorus extraction methods and sorption parameters in calcareous soils with different texture. *Science of the Total Environment*, 566: 1080-1093.
- Jalali M. and Majeri M. 2016. Cobalt sorption–desorption behavior of calcareous soils from some Iranian soils. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 76: 95-102.
- Mehadi A.A. 1993. Reaction of nickel with soils and goethite: Equilibrium and kinetic studies. Ph.D. diss., Univ. of New Hampshire Durham. (Diss. Abstr. DA9400395).
- Merdy P., Gharbi L.T. and Lucas Y. 2009. Pb, Cu and Cr interactions with soil: Sorption experiments and modelling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 347: 192-199.
- Merrikhpour H. and Jalali M. 2013. Comparative and competitive adsorption of cadmium, copper, nickel, and lead ions by Iranian natural zeolite. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15: 303-316.
- Moharami S. and Jalali M. 2013. Effects of cations and anions on iron and manganese sorption and desorption capacity in calcareous soils from Iran. *Environmental Earth Sciences*, 68: 847-858.
- Moreira C.S. and Alleoni L.R.F. 2010. Adsorption of Cd, Cu, Ni and Zn in tropical soils under competitive and non-competitive systems. *Scientia Agricola*, 67: 301-307.
- Naidu R., Bolan N.S., Kookana R.S. and Tiller K.G. 1994. Ionic strength and pH effects on the sorption of the cadmium and the surface charge of soils. *European Journal of Soil Science*, 45: 419-429.
- Naidu R., Kookana R.S., Sumner M.E., Harter R.D. and Tiller K.G. 1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review. *Journal of Environmental Quality*, 26: 602-617.



- Najafi S. and Jalali M. 2015. Effects of organic acids on cadmium and copper sorption and desorption by two calcareous soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 585.
- Ranjbar F. and Jalali M. 2013. Measuring and modeling ammonium adsorption by calcareous soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3191-3199.
- Ranjbar F. and Jalali M. 2014. Surface complexation model of boron adsorption by calcareous soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11: 1317-1326.
- Sakurai K. and Huang P.M. 1995. Cadmium adsorption on the hydroxyaluminum-montmorillonite complex as influenced by oxalate. *Environment Impact of Soil Component Interactions*, 2: 39-46.
- Serrano S., O'Day P.A., Vlassopoulos D., García-González M.T. and Garrido F. 2009. A surface complexation and ion exchange model of Pb and Cd competitive sorption on natural soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73: 543-558.
- Shaheen S.M., Tsadilas C.D., Mitsibonas T. and Tzouvalekas M. 2009. Distribution coefficient of copper in different soils from Egypt and Greece. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 214-226.
- Shaheen S.M., Tsadilas C.D. and Rinklebe J. 2013. A review of the distribution coefficients of trace elements in soils: Influence of sorption system, element characteristics, and soil colloidal properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 201: 43-56.
- Staunton S. 1994. Adsorption of radiocaesium on various soils: Interpretation and consequences of the effects of soils: Solution ratio and solution composition on the distribution coefficient. *European Journal of Soil Science*, 45: 409-418.
- Tahervand S. and Jalali M. 2016. Sorption, desorption, and speciation of Cd, Ni, and Fe by four calcareous soils as affected by pH. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188: 322.
- Tahervand S. and Jalali M. 2017. Sorption and desorption of potentially toxic metals (Cd, Cu, Ni and Zn) by soil amended with bentonite, calcite and zeolite as a function of pH. *Journal of Geochemical Exploration*, 181: 148-159
- Tsadilas C., Shaheen S.M., Samaras V., Gizas D. and Hu Z. 2009. Influence of fly ash application on copper and zinc sorption by acidic soil amended with sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 273-284.
- Usman A.R.A. 2008. The relative adsorption selectivities of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on shale in New Valley, Egypt. *Geoderma*, 144: 334-343.
- Vega F.A., Covelo E.F. and Andrade M.L. 2008. A versatile parameter for comparing the capacities of soils for sorption and retention of heavy metals dumped individually or together: Results for cadmium, copper and lead in twenty soil horizons. *Journal of Colloid and Interface Science*, 327: 275-286.
- Wang S., Jin X., Pang Y., Zhao H. and Zhou X. 2005. The study of the effect of pH on phosphate sorption by different trophic lake sediments. *Journal of Colloid and Interface Science*, 285: 448-457.

An assessment of factors affecting elements sorption by soils

Mohsen Jalali

Professor of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University

Abstract

An understanding of the factors influencing the sorption of elements has significant consequences for both agricultural and environmental issues and for management of fertilizers and leaching of elements from soils. Sorption isotherms can be used to illustrate the amount of elements sorbed by soils. The sorption coefficient, is the ratio of the amount of elements sorbed on the solid phase to those remaining in the liquid phase (dissolved concentration), at equilibrium. Sorption and leaching of elements are affected by sorption coefficient. The sorption coefficient is used to indicate soil ability to retain elements. In general, greater elements retention and lower leaching occurs at higher sorption coefficient. The factors affecting sorption coefficient of soils include the amount and type of clay minerals, organic matter, cations and anions, ionic strength, organic ligands present in solution, solution pH, element loading rate, pressure, temperature, and soil/solution ratio. Numerous researches have been conducted to determine the influence of soil properties on the sorption coefficient and leaching losses of elements. Empirical and mechanistic models have been used to describe sorption mechanisms. It should be emphasized that there are differences between field-based and lab-based experiments and in applying experimental results to the field level, any differences must be carefully interpreted. It is suggested that the sorption and desorption isotherms of elements in the calcareous soils can be conducted at $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, $\text{pH } 7.5 \pm 0.2$ and in the presence of 0.01 M CaCl_2 . The factors influencing sorption of elements on soils and empirical and mechanistic models are reviewed.

Keywords: Sorption coefficient, leaching, mechanistic models, calcareous soils