

همدماهای جذب سطحی بور در خاک در مقادیر مختلف نسبت جذب سدیم

مجتبی مقبلی، محسن فرحبخش و ناصر برومند¹

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه تهران؛ m_moghbeli@ut.ac.ir

استادیار گروه علوم خاک دانشگاه تهران؛ mfbakhsh@ut.ac.ir

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه جیرفت؛ nbroomand@yahoo.com

دریافت: 92/11/11 و پذیرش: 93/5/21

چکیده

بور (B) یکی از عناصر کم مصرف لازم جهت رشد گیاهان است که قابلیت استفاده آن توسط بسیاری از عوامل خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فرآیندهای جذب و واجذب نقش تعیین‌کننده‌ای بر حلالیت بور در محلول خاک و در نتیجه در دسترس بودن آن برای گیاهان ایفا می‌کنند. به منظور ارزیابی اثر نسبت جذب سدیم (SAR) در قابلیت دسترسی بور، جذب بور در یک نمونه خاک آهکی با هدایت الکتریکی پایین مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین همدماهای جذب سطحی بور (مقدار بور جذب شده به عنوان تابعی از غلظت بور محلول تعادلی)، آزمایش‌های جذب این عنصر در خاک به صورت پیمانه‌ای بررسی شد. برای اندازه‌گیری مقدار جذب بور، پنج گرم خاک در لوله‌های 50 میلی‌لیتری پلی پروپیلنی منتقل شد و به هریک از تیوب‌های آزمایشی 20 میلی‌لیتر محلول (حاوی مقادیر 0، 5، 8، 10، 15 و 20 میلی‌گرم در لیتر بور) در قدرت یونی ثابت 0/12 مولار (تهیه شده از نمک‌های NaCl ، $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) با نسبت معین) در پنج سطح SAR (2، 5، 10، 15 و 20) اضافه گردید. در نهایت مقدار بور جذب سطحی شده، به روش Azomethine-H با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (در طول موج 420 نانومتر) تعیین شد. همدماهای لانگمویر، فروندلیچ و شکل خطی معادله فروندلیچ به خوبی بر داده‌های جذب بور بر اساس ضریب تشخیص (R^2) و خطای معیار تخمین (SEE) برازش نشان داد، هرچند معادله لانگمویر با داده‌های بدست آمده برازش بهتری داشت. در نسبت‌های جذب سدیم مختلف، خاک رفتار متفاوتی در جذب بور به نمایش گذاشت. اثر SAR در جذب بور در غلظت‌های بالا بیشتر و به جز در SAR=20 که کمترین مقدار جذب بور دیده شد، افزایش SAR از 2 به 15 موجب افزایش جذب سطحی بور در خاک شد بطوری که در SAR=15 بیشترین مقدار جذب دیده شد. اثر نسبت جذب سدیم بر جذب سطحی بور احتمالاً ناشی از تفکیک اسید بوریک به آنیون بورات و تغییر ضخامت لایه دوگانه پخشده باشد.

واژه‌های کلیدی: قدرت یونی، همدمای لانگمویر، همدمای فروندلیچ

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرمان، جیرفت، کیلومتر 7 جاده جیرفت بندرعباس، دانشگاه جیرفت، گروه علوم خاک

مقدمه

می‌باشد، معمولاً برای توصیف جذب سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای توضیح جذب روی سطوح خاک، مجموعه‌ای از مدل‌هایی که بر پایه تعادل استوار می‌باشند وجود دارد. معادله فروندلیچ که تجربی است و معادله لانگمویر از جمله رایج‌ترین این معادلات می‌باشند (اسپارکس، 2003).

علیرغم تحقیقات مختلف در رابطه با جذب سطحی بور، اثر عواملی مختلف از جمله کاتیون‌های همراه کمتر مورد بررسی قرار گرفته و در مورد تأثیر نسبت جذب سدیم بر رفتار جذبی بور تاکنون گزارشی ارائه نشده است. لذا با توجه به اهمیت بور در خاک، این پژوهش با هدف بررسی همدماهای جذب سطحی بور در خاک تحت تأثیر اثر توأم نسبت جذب سدیم در قدرت یونی ثابت در شرایطی نزدیک به حالت طبیعی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (نسبت بیشتر کلسیم به منیزیم) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

ابتدا 30 نمونه خاک از عمق صفر تا 20 سانتی متری از زمین‌های کشاورزی و بایر شهرستان جیرفت تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها هوا خشک و از الک دو میلی متر رد شد. قابلیت هدایت الکتریکی در گل اشباع با استفاده از دستگاه هدایت سنج، غلظت سدیم محلول در خاک بوسیله دستگاه فلیم‌فتمتر، pH عصاره اشباع با استفاده از دستگاه pH متر (رودس، 1982) و میزان کربنات کلسیم معادل به روش خشتی سازی در اسید، اندازه‌گیری گردید (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372، پیچ و همکاران، 1982). فسفر قابل دسترس با روش اولسن و غلظت کلسیم و منیزیم محلول بوسیله روش کمپلکسومتری با EDTA اندازه‌گیری گردید. سپس یک نمونه خاک با میزان شوری کم، نسبت جذب سدیم پایین، غلظت کم بور محلول و ماده آلی پایین انتخاب شد. ضمناً برای محاسبه SAR از فرمول زیر استفاده شد.

$$SAR = [Na^+] / (([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2)^{1/2}$$

همدمای جذب سطحی بور در نسبت خاک به محلول یک به چهار تعیین گردید. برای اندازه‌گیری مقدار جذب بور، پنج گرم خاک در دمای 25°C در لوله‌های 50 میلی‌لیتری پلی پروپیلنی در تعادل با 20 میلی‌لیتر از محلول بور (حاوی 0، 2، 5، 8، 10، 15 و 20 میلی‌گرم در لیتر) از منبع اسید بوریک در قدرت‌های یونی 0/06 و 0/12 مولار (تهیه شده از نمک‌های NaCl، CaCl₂.2H₂O و MgCl₂.6H₂O با نسبت معین) در پنج سطح SAR (2، 5، 10، 15، 20) قرار گرفت. (به عنوان

بور یکی از عناصر ضروری کم مصرف با سمیت بالقوه جهت رشد گیاه به شمار می‌آید. حد فاصل آستانه کمبود و سمیت بور در خاک برای گیاهان نسبت به تمام عناصر غذایی ضروری دیگر کمتر می‌باشد (گلدبرگ، 1997). ممکن است حتی طی یک فصل رشد، سطوح کمبود و سمیت بور در محلول خاک به وجود آید. لذا آگاهی از عوامل مؤثر بر غلظت بور در محلول خاک و چگونگی جذب و آزاد شدن و توزیع بور بین فازهای جامد و محلول خاک ضروری به نظر می‌رسد. غلظت کل بور در اغلب خاک‌ها بین 2 تا 200 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است و معمولاً کمتر از 5 درصد آن برای گیاه قابل استفاده است. بیشتر بور قابل استفاده گیاهان از تجزیه مواد آلی خاک، بور جذب سطحی شده و رسوب یافته بر سطح ذرات خاک تأمین می‌شود (فرحبخش و توفیقی، 2005).

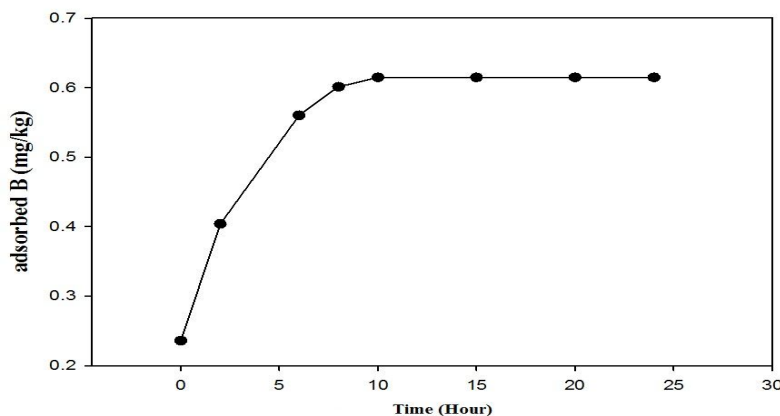
غلظت بور در گیاه تحت تأثیر غلظت آن در محلول خاک و میزان جذب سطحی شده آن قرار دارد و مجموع این دو جزء را می‌توان به‌عنوان بور قابل استفاده گیاه در خاک معرفی کرد (گلی و همکاران، 2011). بور محلول در آب به آسانی قابل جذب توسط گیاهان است در حالی که بور جذب سطحی شده منبع نسبتاً دراز مدت بور در خاک است، بنابراین بور جذب سطحی شده در خاک را می‌توان به عنوان عاملی که حد سمیت و حد کمبود بور در خاک را کنترل می‌کند نام نهاد (گلی و همکاران، 2011). مهمترین عوامل مؤثر بر جذب سطحی بور در خاک عبارتند از: pH (گلدبرگ و گلدین، 1986)، غلظت بور محلول (گلدبرگ و همکاران، 2000)، بافت خاک (گلدبرگ و فوستر، 1991)، نوع کانی‌های رسی (گلدبرگ و گلدین، 1986)، مقدار و نوع مواد آلی (ژو و پیک، 2007) و نوع یون‌های تبادلی (کرن و گاست، 1981).

برای ارزیابی وضعیت Na⁺ در محلول و فاز تبادل‌گر خاک، معمولاً از چند شاخص مهم استفاده می‌شود. این شاخص‌ها عبارتند از: نسبت جذب سدیم (SAR)، نسبت سدیم تبادلی (ESR) و درصد سدیم تبادلی (ESP). از آنجایی که در خاک‌های مناطق خشک، Na⁺، Ca²⁺ و Mg²⁺ یون‌های تبادلی غالب هستند از SAR بعنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم، در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک یاد شده است (فرنکل، 1984).

یک همدمای جذب سطحی که بیانگر ارتباط بین فعالیت یا غلظت تعادلی ماده جذب سطحی شونده و مقدار جذب سطحی شده روی یک سطح در دمای ثابت

ابتدا 1، 2، 3، 4 و 5 میلی‌لیتر از محلول 10 میکروگرم بر میلی‌لیتر بور را به بالن 25 میلی‌لیتری انتقال داده و با آب مقطر حجم محلول را به حدود 10 میلی‌لیتر می‌رسانیم سپس به آن 1 میلی‌لیتر از محلول EDTA 0/025 مولار و pH= 4/8 2 میلی‌لیتر از محلول بافر استات آمونیوم با آن 5 میلی‌لیتر اضافه و به خوبی مخلوط می‌کنیم سپس به آن 5 میلی‌لیتر از آزومتین- اچ اضافه کرده و با آب مقطر به حجم می‌رسانیم محلول را به خوبی مخلوط نموده و اجازه می‌دهیم به مدت 2 ساعت برای تولید رنگ بماند سپس میزان Absorbance را در طول موج 420 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت می‌کنیم. (کرن، 1996).

مثال برای تهیه محلول با SAR=2 مقدار 0/7343 گرم از NaCl، 2/9020 گرم از $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ و 4/0129 گرم از $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ در یک لیتر آب حل شد. با توجه به زمان تعادل به دست آمده در آزمایش اولیه (شکل 1)، لوله‌ها به مدت 12 ساعت بر روی دستگاه تکان دهنده رفت و برگشتی با سرعت 110 دور در دقیقه در دمای 25 درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از پایان زمان تعادل، نمونه‌ها به مدت 15 دقیقه با سرعت 4000 دور در دقیقه سانتریفیوژ و بوسیله کاغذ واتمن 42 فیلتر شد و سپس مقدار بور جذب سطحی شده، از تفاوت غلظت اولیه و غلظت تعادلی محاسبه گردید. غلظت بور در کلیه محلول‌ها با روش آزومتین-H اندازه‌گیری گردید، در این روش



شکل 1- جذب سطحی بور در خاک با زمان

بحث و نتایج

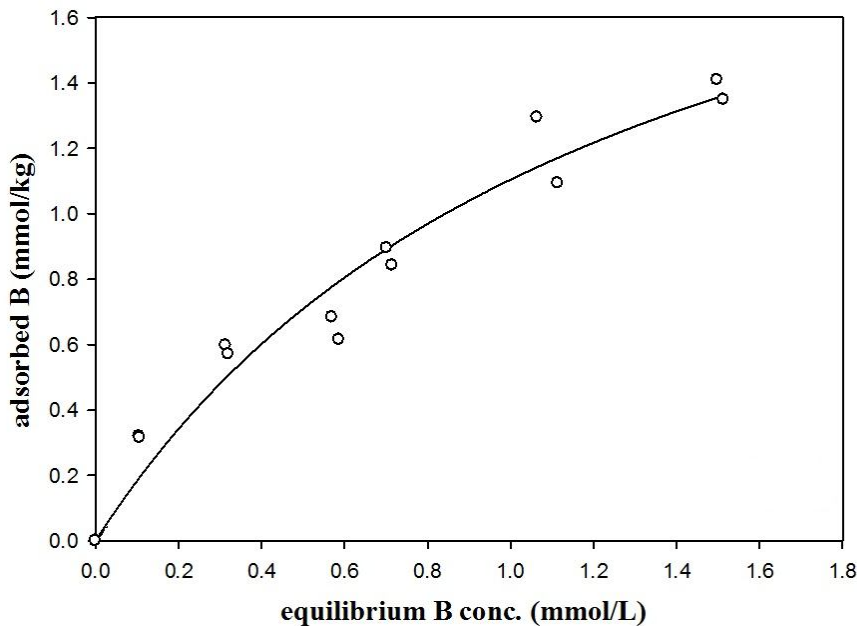
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

درصد رس، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی، میزان شوری، واکنش خاک، میزان نسبت جذب سدیم و میزان بور محلول خاک مورد آزمایش در جدول 1 ذکر شده است.

داده‌های جذب سطحی با استفاده از معادله‌های غیر خطی فروندلیچ، لانگمویر و همچنین دو شکل خطی معادله لانگمویر و شکل لگاریتمی معادله فروندلیچ توصیف گردیدند. پارامترهای معادله‌ها به روش رگرسیون خطی و غیر خطی (NLS) توسط نرم افزارهای SAS و SPSS محاسبه گردید و نمودار نهایی توسط نرم افزار Sigmaplot رسم شد.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدار	واحد	ویژگی
0/67	$dS m^{-1}$	EC_e
8/1	—	pH
13	%	کربنات کلسیم معادل
0/18	%	کربن آلی
12/3	$mg kg^{-1}$	فسفر قابل استفاده
2/14	$(mmol L^{-1})^{0.5}$	نسبت جذب سدیم
0/432	$mg L^{-1}$	بور محلول
21	%	رس



شکل 2- شکل همدمای جذب سطحی بور در خاک مورد بررسی

تمایل با افزایش غلظت دانست. در پژوهش دیگری (مجیدی و همکاران، 2010) نیز نشان داده شد که داده‌های جذبی بور بر روی خاک مورد آزمایش نوع L می‌باشد.

معادله‌های استفاده شده برای توصیف داده‌های جذب سطحی بور پنج معادله در دو گروه خطی و غیر خطی در جدول 2 نشان داده شده‌اند. این معادله‌ها شامل Freundlich-linear، Freundlich، و Langmuier، Langmuier-linear 1، و Langmuier-linear 2 است.

همدماهای جذب سطحی

همان‌گونه که شکل 2 نشان می‌دهد نوع همدمای جذب سطحی بور در خاک مورد بررسی از نوع L می‌باشد.

مشخصه همدمای نوع L (لانگمویر) این است که با افزایش غلظت، شیب کاهش می‌یابد، زیرا تعداد مکان‌های جذب سطحی کننده خالی با افزایش پوشش سطحی کاهش پیدا می‌کند. چنین رفتار جذب سطحی را می‌توان ناشی از تمایل زیاد جذب سطحی کننده به جذب ماده جذب سطحی شونده در غلظت‌های کم و کاهش این

جدول 2- معادلات استفاده شده در توصیف جذب سطحی بور در خاک

نام معادله	رابطه ریاضی	نوع معادله
Freundlich	$q=kc^m$	غیر خطی
Freundlich-linear 1	$\text{Log}q = \log k + m \log c$	خطی
Langmuier	$q = q_{\max} kc / (1+kc)$	غیر خطی
Langmuier-linear 1	$c/q = 1/kq_{\max} + (1/q_{\max})c$	خطی
Langmuier-linear 2	$q = q_{\max} - (1/k)(q/c)$	خطی

c غلظت تعادلی، q مقدار یون جذب سطحی شده، q_{\max} مقدار حداکثر جذب سطحی،

k و m پارامترهای ثابت معادله‌ها می‌باشند.

سطحی بور در نسبت‌های مختلف جذب سدیم متفاوت است ولی رفتار کلی آنها در اکثر تیمارها تقریباً مشابه است (رفتار لانگمویری). در تمامی نسبت‌های مختلف

بررسی نتایج حاصل از جذب سطحی بور تیمارهای مختلف اعمال شده در محدوده غلظت تعادلی صفر تا 20 میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد اگر چه بیشینه جذب

m نمایانگر دو فاکتور اندازه نسبی و گوناگونی انرژی پیوسته با فرایند جذب می‌باشد. مقدار m برابر یک نشان دهنده حالت جذب خطی و وجود انرژی جذبی یکسان برای تمام مکان‌ها می‌باشد. مقدار m کوچکتر از یک حالتی محذب و منحنی رو به نزول را نشان می‌دهد (نوع L یا لانگمویری) و بیان کننده مکان‌های جذبی است که انرژی جذبی با افزایش غلظت سطح کاهش می‌یابد (اسپارکس، 2003). بررسی و مقایسه جداول 2 و 4 نشان می‌دهد که برازش مدل لانگمویر بر داده‌های جذب سطحی بور نسبت به مدل فروندلیچ، همبستگی بیشتری را نشان داده است. کرن و اکائر (1982) با بررسی جذب سطحی بور بر سطوح رس‌ها، مشاهده شد که معادله لانگمویر بر داده‌های جذبی در رس‌های مختلف برازش خوبی نشان داده است.

جذب سدیم با افزایش غلظت تعادلی بور، مقدار جذب سطحی ابتدا با شیب زیاد افزایش می‌یابد و سپس به مقدار نسبتاً ثابتی میل می‌کند. در غلظت‌های پایین روند جذب سطحی و مقدار آن تقریباً مشابه است ولی با افزایش غلظت تعادلی تفاوت بیشتری در میزان جذب بور دیده می‌شود. که دلیل آن می‌تواند تأثیرات نسبت جذب سدیم باشد.

در جدول‌های 2 تا 6 مقادیر ضریب تشخیص (R^2) و خطای معیار تخمین (SEE) و پارامترهای ثابت معادله‌های فروندلیچ، شکل خطی معادله فروندلیچ، معادله لانگمویر و دو شکل خطی معادله لانگمویر نشان داده شد.

نتایج بیانگر آن است که برازش این مدل‌ها بر داده‌های جذب سطحی بور در اکثر نسبت‌های مختلف جذب سدیم مورد بررسی همبستگی بالایی دارد و همانطور در که در جدول‌های 2 تا 6 نشان داده شده معادله لانگمویر با میانگین ضریب تشخیص 0/976 و میانگین معیار خطای تخمین 0/639 بهترین برازش را بر داده‌های جذب سطحی بور نشان می‌دهد. همچنین معادله‌های فروندلیچ و فروندلیچ خطی به طور رضایت بخشی قادر به توصیف جذب سطحی بور در نسبت‌های مختلف جذب سدیم هستند. همانطور که جدول‌های 2 و 3 نشان می‌دهند، مقادیر m کوچک‌تر از یک می‌باشد. در معادله فروندلیچ

جدول 3- مقادیر ضریب تشخیص (R^2)، خطای معیار تخمین (SEE)، پارامترهای ثابت معادله (K و m) در معادله فروندلیچ در 5 تیمار اعمال شده در خاک

تیمار	M*	K*	SEE	R ²
I=0/12 , SAR= 2	0/523	2/468	0/701	0/958
I=0/12 , SAR= 5	0/607	2/133	0/853	0/954
I=0/12 , SAR= 10	0/584	3/133	0/686	0/982
I=0/12 , SAR= 15	0/785	2/235	0/487	0/994
I=0/12 , SAR= 20	0/434	1/955	0/387	0/968
میانگین	-	-	0/623	0/971

* واحد M و k برحسب $mg L^{-1}$ است

جدول 4- مقادیر ضریب تشخیص (R^2)، خطای معیار تخمین (SEE) و پارامترهای ثابت معادله (m و K) در معادله فروندلیچ خطی در 5 تیمار اعمال شده در خاک

تیمار	M^*	K^*	SEE	R^2
I=0/12 , SAR= 2	0/605	2/057	0/601	0/938
I=0/12 , SAR= 5	0/717	1/672	0/583	0/957
I=0/12 , SAR= 10	0/522	3/550	0/357	0/971
I=0/12 , SAR= 15	0/797	2/176	0/202	0/996
I=0/12 , SAR= 20	0/657	1/719	0/590	0/944
میانگین	-	-	0/466	0/961

* واحد M و k برحسب $mg L^{-1}$ است

جدول 5- مقادیر ضریب تشخیص (R^2)، خطای معیار تخمین (SEE)، حداکثر جذب سطحی (q_{max}) و پارامتر ثابت معادله (K) در معادله لانگمویر در 5 تیمار اعمال شده در خاک

تیمار	q_{max}^*	K^*	SEE	R^2
I=0/12 , SAR= 2	15/479	0/124	0/614	0/974
I=0/12 , SAR= 5	19/841	0/082	0/735	0/962
I=0/12 , SAR= 10	27/320	0/083	0/999	0/968
I=0/12 , SAR= 15	57/314	0/320	0/538	0/991
I=0/12 , SAR= 20	8/642	0/179	0/309	0/986
میانگین	-	-	0/639	0/976

* واحد حداکثر جذب سطحی بور (q_{max}) و k به ترتیب برحسب $mg kg^{-1}$ و $L mg^{-1}$ است

جدول 6- مقادیر ضریب تشخیص (R^2)، خطای معیار تخمین (SEE)، حداکثر جذب سطحی (q_{max}) و پارامتر ثابت معادله (K) در معادله لانگمویر خطی یک در 5 تیمار اعمال شده در خاک

تیمار	q_{max}^*	K^*	SEE	R^2
I=0/12 , SAR= 2	15/649	0/119	0/100	0/934
I=0/12 , SAR= 5	20/366	0/077	0/106	0/876
I=0/12 , SAR= 10	22/321	0/126	0/096	0/871
I=0/12 , SAR= 15	46/511	0/042	0/041	0/886
I=0/12 , SAR= 20	22/727	0/056	0/224	0/556
میانگین	-	-	0/113	0/824

* واحد حداکثر جذب سطحی بور (q_{max}) و k به ترتیب برحسب $mg kg^{-1}$ و $L mg^{-1}$ است

جدول 7- مقادیر ضریب تشخیص (R^2)، خطای معیار تخمین (SEE)، حداکثر جذب سطحی (q_{max}) و پارامتر ثابت معادله (K) در معادله لانگمویر خطی دو در 5 تیمار اعمال شده در خاک

تیمار	q_{max}^*	K^*	SEE	R^2
I=0/12, SAR= 2	13/453	0/164	1/700	0/696
I=0/12, SAR= 5	18/179	0/093	1/98	0/693
I=0/12, SAR= 10	15/917	0/277	2/691	0/614
I=0/12, SAR= 15	38/909	0/054	2/485	0/818
I=0/12, SAR= 20	13/374	0/144	3/005	0/414
میانگین	-	-	2/372	0/647

* واحد حداکثر جذب سطحی بور (q_{max}) و k به ترتیب برحسب $mg\ kg^{-1}$ و $L\ mg^{-1}$ است

اثر نسبت جذب سدیم

همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌شود، اثر نسبت جذب سدیم در غلظت‌های تعادلی پایین کم است، ولی با افزایش غلظت تعادلی اثر نسبت جذب سدیم بر جذب سطحی بور تا $SAR=15$ افزایش می‌یابد بطوریکه بیشترین میزان جذب بور در خاک، مربوط به نسبت جذب سدیم 15 می‌باشد.

کرن و اکائر (1982) بیان کردند که با افزایش غلظت سدیم (ناشی از افزودن سدیم کلراید) در خاک دو فرایند اتفاق می‌افتد: 1- افزایش تفکیک اسید بوریک به آنیون بورات 2- افزایش بار منفی لبه‌ای کانی‌ها. بنابراین با افزایش غلظت سدیم میزان بیشتری از بوریک اسید به آنیون بورات تفکیک می‌شود. افزایش آنیون بورات منجر به افزایش جذب الکتروستاتیک بور در مکانهای لبه‌ای کانی - های خاک می‌شود و در مقایسه با کاربرد سدیم به تنهایی احتمالاً کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده ناشی از حضور کلسیم و منیزیم در محلول موجب جذب بیشتر آنیون بورات می‌شود، در نتیجه با افزایش نسبت جذب سدیم از 2 به 15 میزان جذب بور افزایش می‌یابد. (مهروترا و همکاران، 1989) بیان کردند یک رابطه معکوس بین بور محلول خاک و نسبت جذب سدیم آب آبیاری وجود دارد. همچنین (بادا و همکاران، 1989) گزارش دادند علائم سمیت بور در گیاهان با افزایش نسبت جذب سدیم از 0/5 به 40 کاهش یافت. که می‌تواند بدلیل افزایش جذب بور توسط ذرات خاک متناسب با افزایش نسبت جذب سدیم می‌باشد.

همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با افزایش نسبت جذب سدیم ($SAR=20$)، نسبت به $SAR=15$ جذب بور کاهش نشان داد که می‌تواند بدلیل تأثیر عوامل مختلفی باشد. رقابت بین کلراید (آنیون نمک‌های مورد استفاده) و آنیون بورات بر سر مکانهای سطحی می‌تواند افزایش یابد که می‌تواند بعنوان یک عامل، جذب سطحی

بور را کاهش دهد افزایش نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم و نیز شعاع هیدراته بزرگ سدیم می‌تواند احتمال نزدیک- تر شدن بور به سطح ذرات خاک کاهش دهد (کرن و اکائر، 1982).

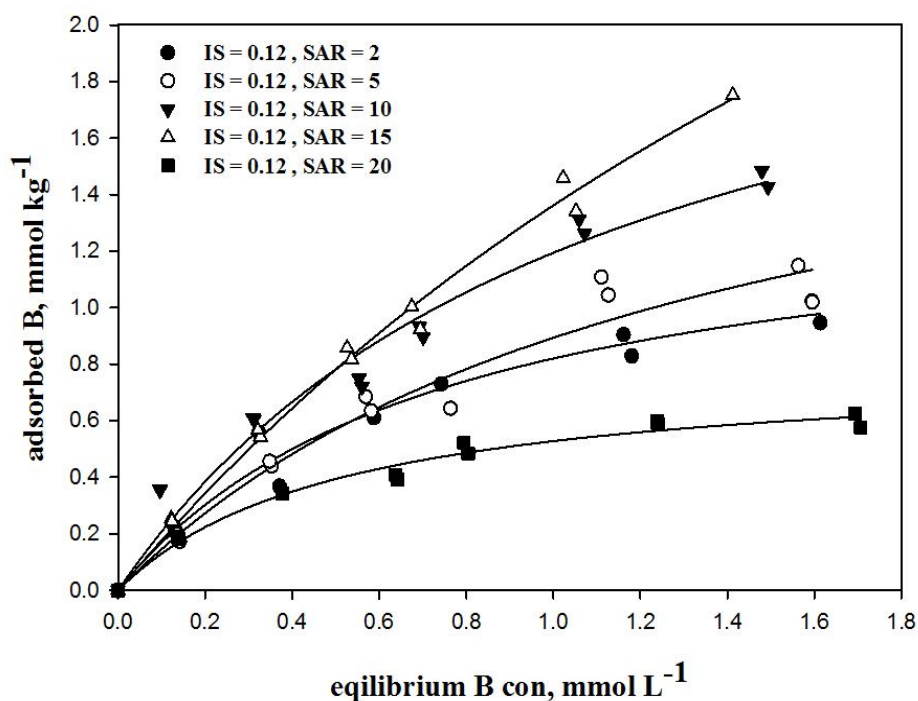
نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد اگر چه بیشینه جذب سطحی بور در نسبت‌های مختلف نسبت جذب سدیم متفاوت است ولی رفتار کلی آنها تقریباً مشابه است (رفتار لانگمویری). در همه تیمارها با افزایش غلظت تعادلی بور، مقدار جذب سطحی ابتدا با شیب زیاد افزایش می‌یابد و سپس به مقدار نسبتاً ثابتی میل می‌کند. در غلظت‌های پایین بور روند جذب سطحی آن در تیمارها تقریباً مشابه است ولی با افزایش غلظت تعادلی، تفاوت بیشتری در میزان جذب بور دیده می‌شود.

معادله لانگمویر بهترین توصیف از جذب سطحی بور در نسبت‌های مختلف نسبت جذب سدیم اعمال شده را نشان می‌دهد. معادله فروندلیچ و شکل خطی این معادله نیز با توجه به ضریب همبستگی و خطای معیار تخمین بدست آمده، به طور مناسبی قادر به توصیف جذب سطحی بور در تیمارهای مورد بررسی هستند.

نتایج نشان داد اثر نسبت جذب سدیم در غلظت‌های تعادلی پایین کم است، ولی با افزایش غلظت تعادلی اثر نسبت جذب سدیم بر جذب سطحی بور افزایش می‌یابد و بیشترین میزان جذب بور در خاک مورد بررسی، بیشترین میزان جذب بور در این مطالعه مربوط به نسبت جذب سدیم 15 می‌باشد و در مقادیر بیشتر از آن بطور معنی داری کاهش می‌یابد بطوریکه کمترین مقدار جذب در نسبت جذب سدیم 20 مشاهده شد.

با توجه به تنوع زیاد در کانی‌های خاک و تفاوت در ویژگی‌های آنها، تفسیر نسبت جذب سدیم بر جذب سطحی بور چندان ساده بنظر نمی‌رسد و برآیندی از اثر عوامل بالا می‌تواند در جذب بور تعیین کننده باشد.



شکل 3- تأثیر نسبت جذب سدیم در قدرت یونی 0/12M بر جذب سطحی بور

فهرست منابع:

1. علی احمادی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه 893. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.
2. Arora, H., Bhardwaj S., and Sharma B. 2006. Boron adsorption on benchmark soils of Punjab. Asian Journal of Chemistry, 18:1313-1320.
3. Farahbakhsh, M., and Tofighi H. 2005. Kinetics of boron release in some soils of Iran. Iranian, J. Agric. Sci, 36:679-688.
4. Frenkel, H. 1984. Reassessment of water quality criteria for irrigation. Soil salinity under irrigation-Processes and management, Ecological Studies, 51:144-172.
5. Goldberg, S. 1997. Reactions of boron with soils. Plant and Soil, 193:35-48.
6. Goldberg, S. and Forster H. 1991. Boron sorption on calcareous soils and reference calcites. Soil Science, 152:304-310.
7. Goldberg, S. and Glaubig R. A. 1986. Boron adsorption and silicon release by the clay minerals kaolinite, montmorillonite, and illite. Soil Science Society of America Journal, 50:1442-1448.
8. Goldberg, S., Lesch S. M., and Suarez D. L. 2000. Predicting boron adsorption by soils using soil chemical parameters in the constant capacitance model. Soil Science Society of America Journal, 64:1356-1363.
9. 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.
10. Hassani, A., Rahnemaie, R. and Malakouti, M. J. (2011). Effect of calcium carbonate and ionic strength on boron adsorption in calcareous soils. Iranian journal of soil Research , 24:117-126.

11. Keren, R. 1996. Boron. p. 603-626. In D. L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA and ASA, Madison, WI.
12. Keren, R. and O'Connor G. 1982. Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorption by montmorillonite and illite. *Clays Clay Miner*, 30:341-346.
13. Keren, R. and Gast R. 1981. Effects of wetting and drying, and of exchangeable cations, on boron adsorption and release by montmorillonite. *Soil Science Society of America Journal*, 45:478-482.
14. Majidi, A., Rahnemaie R., Hassani A., and M. J. Malakouti. 2010. Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils. *Chemosphere*, 80:733-739.
15. Mehrotra, N.K., and Khan S.A., S.C. 1989. Agarwala. High SAR (sodium adsorption ratio) irrigation and boron phytotoxicity in sugar beet. *Ann. Arid Zone*, 28:69-78.
16. Page, A. L., Miller R. H., and Keeney D. R. 1982. Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Madison, WI.
17. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. p. 167-179. In: A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA, Madison, WI.
18. Sparks, D. L. 2003. "Environmental soil chemistry," Access Online via Elsevier.
19. Xu, D. and Peak D. 2007. Adsorption of boric acid on pure and humic acid coated am-Al (OH) 3: a boron K-edge XANES study. *Environmental Science & Technology*, 41:903-908.
20. Yadav, H.D., Yadav O.P., Dhankar O.P., and Oswal M.C. 1989. Effect of chloride salinity and boron on germination, growth and mineral composition of chickpea (*Cicer arietinum*). *Ann. Arid Zone*, 28:63-67.