



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## تأثیر نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب سطحی بور روی کائولینایت

مجتبی مقبلی<sup>۱\*</sup>، محسن فرحبخش، ناصر برومند

۱- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛

نویسنده مسئول: E-mail: [mmoghbeli90@ahoo.com](mailto:mmoghbeli90@ahoo.com)

۲- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

### چکیده

شناخت دامنه اثر فرآیندهای کنترل کننده فعالیت بور در محلول خاک در مدیریت حاصلخیزی خاک مهم است. واکنش‌های جذب سطحی و رهاسازی بور در خاک تعیین کننده مقدار بور قابل دسترس به وسیله گیاهان هستند، از این رو این واکنش‌ها، از دیدگاه کشاورزی و زیست محیطی اهمیت بسیار زیادی دارند. در این پژوهش جذب سطحی بور روی رس کائولینایت، به عنوان نماینده ای از کانی‌های رس آلومینوسیلیکاتی خاک، تابعی از غلظت تعادلی و پنج سطح جذب سطحی سدیم مورد بررسی قرار گرفت. اثر نسبت جذب سطحی سدیم در غلظت‌های تعادلی پایین کم بود، ولی با افزایش غلظت تعادلی اثر نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب سطحی بور افزایش یافت. نتایج نشان داد، در نسبت جذب سطحی سدیم ۱۵، بیشترین میزان جذب سطحی بور رخ داد، به طور کلی نتایج نشان داد اثر نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب بور روی کانی کائولینایت، نقش مهمی در کنترل غلظت بور در فاز محلول و در نتیجه بر قابلیت دسترسی آن برای گیاهان دارند.

واژگان کلیدی: کائولینایت، غلظت تعادلی، نسبت جذب سطحی سدیم، بور

### مقدمه

بور یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهان است، توزیع دینامیک بور بین فازهای جامد و محلول خاک، کمبود یا سمیت آن برای گیاهان را کنترل می‌کند. بور محلول خاک ممکن است از طریق آسوبوی از محیط ریشه گیاه خارج گردد، اما واکنش‌های تعادلی بین فاز محلول و تبادل خاک مجدداً آن را ابقاء می‌کنند (Rashidi, 2006). با توجه به اینکه مقدار بور جذب سطحی شده در خاک معمولاً خیلی بیشتر از مقدار آن در فاز محلول است، بور جذب سطحی شده به صورت یک بافر غلظت آن در فاز محلول را کنترل می‌کند (Majidi et al., 2010).

رفتار جذب سطحی بور در طی دهه‌های اخیر به طور گسترده‌ای مطالعه شده است و مهمترین عوامل موثر بر جذب سطحی بور pH محیط، غلظت بور محلول، بافت خاک، نوع کانی‌های رسی، مواد آلی و نوع یون‌های تبدالی شناخته شده است (Arora et al., 2006; Xu & Peak, 2007; Moghbeli et al 2015)

کلوئیدهای خاک مکان مناسبی برای جذب سطحی مولکول‌ها و یون‌های موجود در محلول خاک از جمله بور می‌باشند. این کلوئیدها از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بایکدیگر تفاوت زیادی دارند (Moghbeli et al., 2017)، ذرات کلوئیدی خاک را می‌توان در چهار گروه اکسیدها و هیدروکسیدهای آزاد، مواد آلی، کربنات‌ها و کانی‌های رسی دسته بندی کرد.



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۴۰۴ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



کانی‌های رسی، گروه مهمی از ذرات کلوئیدی هستند که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک از جمله اکثر مناطق کشورمان به وفور یافت می‌شوند. بار سطحی کانی‌های رسی عمدتاً منفی و ناشی از جایگزینی همشکل است اما لبه این کانی‌ها دارای مقداری بار وابسته به pH است. با توجه به فراوانی این کانی‌ها در خاک، بار هر چند اندک لبه آن‌ها نقش مهمی در جذب سطحی آنیون‌ها ایفا می‌کند (Bohn et al., 2002).

بررسی اثر pH بر جذب سطحی بور روی کانی گئوتایت نشان داده است که با افزایش pH جذب سطحی زیاد شده و در pH حدود ۸/۵ به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس با افزایش دوباره pH جذب سطحی کاهش می‌یابد (Goli et al., 2011). همچنین در بررسی‌های مشابهی گزارش شد، میزان جذب سطحی بور روی کانی کلسایت با افزایش pH افزایش یافته و در pH حدود ۹/۲ به حداکثر مقدار خود رسیده و با افزایش مجدد pH از مقدار آن کاسته شده است (Majidi et al., 2010). بررسی جذب سطحی بور در خاک‌های آهکی همچنین نشان داده است که با افزایش غلظت تعادلی بور، مقدار جذب سطحی آن ابتدا با شیب زیاد افزایش یافته و سپس به مقدار نسبتاً ثابتی میل می‌کند که بیانگر حداکثر مقدار جذب سطحی بور است (Moghbali et al., 2015).

با افزایش قدرت یونی محلول جذب سطحی بور روی رس‌ها افزایش می‌یابد (Goldberg et al., 2008). افزایش قدرت یونی بر مقدار بار دائمی (ناشی از جایگزینی همشکل) کانی‌ها اثری ندارد، اما موجب افزایش بار وابسته به pH در کانی‌ها، بعلت جذب و آزاد سازی پروتون می‌گردد. این نوع بار، عمدتاً بر روی لبه کانی‌های رس، لبه‌ها و سطح اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزات، کربنات‌های کلسیم و منیزیم و مواد آلی قرار دارد (Bohn et al., 2002).

مطالعه انجام گرفته روی کانی پاپیروفیلیت حاکی از افزایش جذب سطحی بور به دنبال افزایش قدرت یونی محلول است (Keren and Sparks, 1994). در حالی که در بررسی اثر قدرت یونی محلول کلرید سدیم در جذب سطحی بور روی کانی جیبسایت، کاهش در ماکزیمم جذب سطحی بور مشاهده شده است (Goldberg et al., 2008). مقایسه جذب سطحی بور روی کانی‌های ایلیت، مونت موریلونایت و کائولینایت نیز نشان دهنده است که بیشترین مقدار جذب سطحی بور توسط ایلیت صورت می‌گیرد (Keren and Mezuman, 1981).

بنابر آنچه گفته شد و نیز با توجه به اهمیت واکنش‌های جذب سطحی از دیدگاه کشاورزی و زیست محیطی و نقش آن‌ها در تغذیه‌ی بهینه گیاهی، این پژوهش با هدف بررسی جذب سطحی بور روی رس کائولینایت، به عنوان نماینده‌ی ای از کانی‌های رس آلومینوسیلیکاتی خاک، تابعی از غلظت تعادلی و نسبت جذب سطحی سدیم در شرایطی نزدیک به حالت طبیعی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (نسبت بیشتر کلسیم به منیزیم) در آزمایشگاه انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

از کانی کائولینایت ساخت شرکت MERCK آلمان، در آزمایش جذب سطحی استفاده گردید. ساختار کریستالی و درجه خلوص این کانی با پراش پرتو ایکس تایید شد (شکل ۱).



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



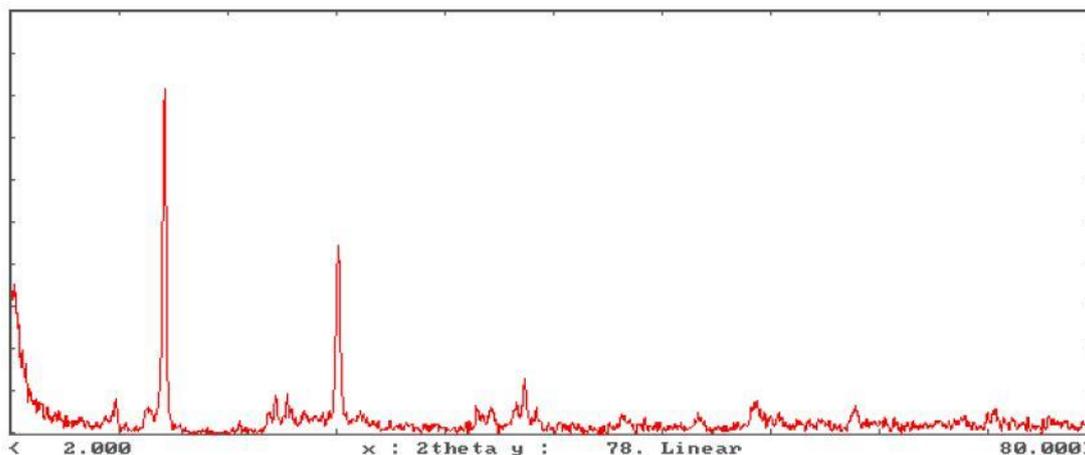
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



شکل ۱- ديفراکتوگرام اشعه ایکس کائولینایت

به منظور بررسی اثر نسبت جذب سطحی سدیم بر فرآیند جذب سطحی بور، آزمایش در ۵ سطح نسبت جذب سطحی سدیم ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تهیه شده از نمک‌های  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  با نسبت معین و در دامنه غلظت صفر تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بور بررسی شد.

با توجه به زمان تعادل به دست آمده در آزمایش اولیه، لوله‌ها به مدت ۱۲ ساعت بر روی دستگاه تکان دهنده رفت و برگشتی با سرعت ۱۱۰ دور در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از پایان زمان تعادل، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه و در دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی توسط کاغذ واتمن ۴۲ فیلتر شد و در محلول عبور کرده از کاغذ صافی غلظت تعادلی بور اندازه‌گیری گردید. 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 (Keren, 1996).

### نتایج و بحث

نتایج نشان داد (شکل ۲) که بعد از مدت زمان تقریبی ۱۲ ساعت خاک‌ها با بور اضافه شده به تعادل می‌رسند و از این زمان به بعد تغییری در مقدار بور جذب سطحی شده دیده نمی‌شود. بنابراین، این زمان به عنوان زمان تعادل در آزمایش‌های جذب سطحی انتخاب شد.

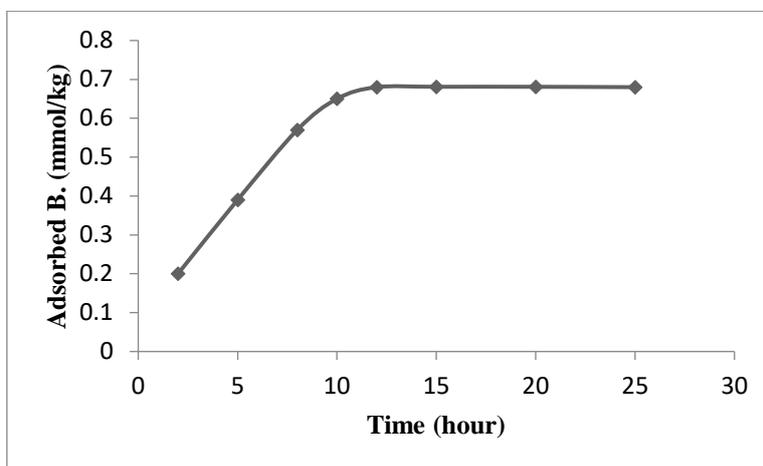


مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



شکل ۲- ارتباط میزان جذب سطحی بور روی کائولینیت با زمان

همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، با افزایش غلظت بور، شیب نمودار کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش پوشش سطحی، تعداد مکان‌های جذب سطحی کننده خالی کاهش پیدا می‌کند. این رفتار جذب سطحی را می‌توان به علت تمایل زیاد جذب سطحی کننده به جذب ماده جذب سطحی شونده در غلظت‌های کم و کاهش این تمایل با افزایش غلظت دانست. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد که رفتار داده‌های جذب سطحی بور بر روی کلسایت و در خاک‌های آهکی از روند مشابهی پیروی می‌کند (Majidi et al., 2010).

نتایج نشان داد، بیشترین میزان جذب بور در خاک، در نسبت جذب سطحی سدیم ۱۵ اندازه‌گیری شد. اثر نسبت جذب سطحی سدیم در غلظت‌های تعادلی پایین کم است، ولی با افزایش غلظت تعادلی این اثر بر جذب سطحی بور تا  $SAR=15$  افزایش یافت (شکل ۳).

با افزایش غلظت سدیم (ناشی از افزودن سدیم کلراید) در خاک دو فرآیند اتفاق می‌افتد: ۱- افزایش تفکیک اسید بوریک به آنیون بورات ۲- افزایش بار منفی لبه‌ای کانی‌ها. بنابراین با افزایش غلظت سدیم میزان بیشتری از بوریک اسید به آنیون بورات تفکیک می‌شود (Moghbeli et al, 2015)، افزایش آنیون بورات منجر به افزایش جذب الکتروستاتیک بور در مکان‌های لبه‌ای کانی‌های 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 ۲ به ۱۵ میزان جذب بور افزایش می‌یابد.

در تحقیقی دیگر گزارش شد یک رابطه معکوس بین بور محلول خاک و نسبت جذب سدیم آب آبیاری وجود دارد. علائم سمیت بور در گیاهان با افزایش نسبت جذب سدیم از ۰/۵ به ۴۰ کاهش یافت. که می‌تواند بدلیل افزایش جذب بور توسط ذرات خاک متناسب با افزایش نسبت جذب سدیم می‌باشد (Yadav et al., 1989).

همچنین نتایج بیانگر این بود که با افزایش نسبت جذب سدیم به ۲۰، نسبت به ۱۵ جذب بور کاهش نشان داد که می‌تواند بدلیل تاثیر عوامل مختلفی باشد. رقابت بین آنیون کلراید (آنیون نمک‌های مورد استفاده) و آنیون بورات بر سر مکان‌های جذب سطحی می‌تواند افزایش یابد که خود بعنوان یک عامل، جذب سطحی بور را کاهش می‌دهد، همچنین افزایش نسبت سدیم به

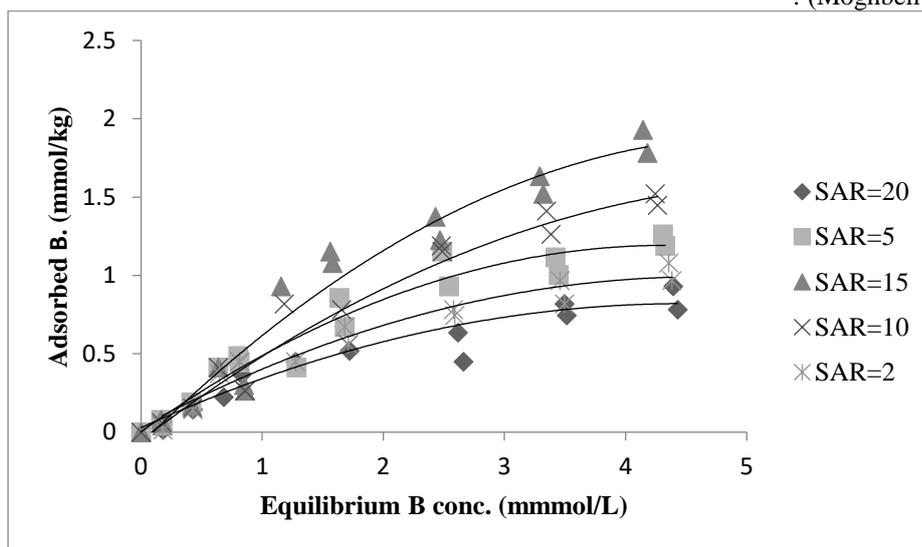


مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب  
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



کلسیم و منیزیم و نیز شعاع هیدراته بزرگ سدیم می‌تواند احتمال نزدیک‌تر شدن بور به سطح ذرات رس را کاهش دهد (Moghbeli et al, 2017).



شکل ۳- تاثیر نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب بور روی کائولینایت.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت تعادلی بور، مقدار جذب سطحی ابتدا با شیب زیاد افزایش یافت و سپس به مقدار نسبتاً ثابتی میل کرد، اثر نسبت جذب سطحی سدیم در غلظت‌های تعادلی پایین کم بود، ولی با افزایش غلظت تعادلی اثر نسبت جذب سطحی بور افزایش یافت و بیشترین میزان جذب بور، مربوط به نسبت جذب سطحی سدیم ۱۵ بود و کمترین مقدار جذب در نسبت جذب سطحی سدیم ۲۰ مشاهده شد. به طور کلی نتایج نشان داد نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب بور روی کانی کائولینایت، نقش مهمی در کنترل غلظت بور در فاز محلول و در نتیجه بر قابلیت دسترسی آن برای گیاهان دارند. با توجه به تنوع زیاد در کانی‌های خاک و تفاوت در ویژگی‌های آن‌ها، تاثیر نسبت جذب سطحی سدیم بر جذب سطحی بور در خاک تابع عوامل متعددی است و بایستی نقش سایر عوامل نیز مد نظر قرار گیرد.

### فهرست منابع

- Arora, H., Bhardwaj, S. S., Sharma, B. D. (2006). Boron adsorption on benchmark soils of Punjab. *Asian Journal of Chemistry*, 18(2), 1313.
- Bohn, H. L., Myer, R. A., O'Connor, G. A. (2002). *Soil Chemistry*. Canada.
- Goldberg, S., Suarez, D., Shouse, P. (2008). Influence of soil solution salinity on boron adsorption by soils. *Soil Science*, 173(6):p 368-374.
- Goli, E., Rahnemaie, R., Hiemstra, T., Malakouti, M. J. (2011). The interaction of boron with goethite: experiments and CD-MUSIC modeling. *Chemosphere*, 82(10), 1475-1481.
- Keren, R. 1996. Boron. p. 603-626. In Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Sumner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*. Soil Science Society of America Inc.
- Keren, R., Mezuman, U. (1981). Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays Clay Miner*, 29(3), 198-204.



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



7. Keren, R., O'connor, G. A. (1982). Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorption by montmorillonite and illite. *Clays Clay Miner*, 30, 341-346.
8. Keren, R., Sparks, D. L. (1994). Effect of pH and ionic strength on boron adsorption by pyrophyllite. *Soil Science Society of America Journal*, 58(4), 1095-1100.
9. Majidi, A., Rahnamaie, R., Hassani, A., Malakouti, M. J. (2010). Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils. *Chemosphere*, 80(7), 733-739.
10. Moghbeli, M., Farahbakhsh, M., Boroumand, N. (2015). Adsorption Isotherms of Boron by soil in The different amounts of Sodium Adsorption Ratio (SAR). *Iranian Journal of soil Research*, 28:4. 713-721. [In Farsi]
11. Moghbeli, M., Farahbakhsh, M., Boroumand, N. (2017). Adsorption Isotherms of Boron in Soil: the effects of Sodium Adsorption Ratio (SAR), pH and Ionic strength. *Water and soil*, 30:6. 1954-1963. [In Farsi]
12. Rashid, A. (2006, February). Incidence, diagnosis and management of micronutrient deficiencies in crops: Success stories and limitations in Pakistan. In *IFA International Workshop on Micronutrients* (Vol. 27).
13. Xu, D., 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 and technology*, 41(3), 903-908.
14. Yadav, H. D., Yadav, O. P., Dhankar, O. P., & Oswal, M. C. (1989). Effect of chloride salinity and Boron on germination, growth and mineral-composition of chickpea (*Cicerarietinum*l). *Annals of Arid Zone*, 28(1-2), 63-67.

### Effect of Sodium Adsorption Ratio on Boron Adsorption on Kaolinite

Mojtaba Moghbeli<sup>1</sup> Mohsen Farahbakhsh<sup>2</sup> Naser Broumand<sup>3</sup>

1 Department of Soil Fertility, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2 Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tehran University, Tehran, Iran

3 Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

#### Abstract

Understanding the processes that control the activity of boron (B) in the soil solution is important for soil fertility management. The reaction of adsorption and desorption of boron in soil determines amount of available boron to plants. Therefore, this reaction is extremely important from point of view the agricultural and environmental. In this research, B adsorption behavior on kaolinite as a representative of aluminosilicates clay minerals in the soil was studied as a function of equilibrium concentration and five levels of Sodium adsorption ratio. The sodium adsorption ratio was minimal effect on B adsorption in the low equilibrium concentrations, but by increasing equilibrium concentration effect of sodium adsorption ratio on B adsorption increased. The results showed that maximum of boron adsorption occurred at a sodium adsorption ratio of 15. Overall, the results showed that clay minerals play an important role on controlling the concentration of Boron in the solution phase and therefore availability to plants.

**Keywords:** Kaolinite, Equilibrium concentration, Sodium adsorption ratio, Boron