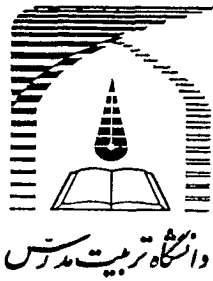


بسم الله الرحمن الرحيم

١٥٣٧٧

٤٦٢٠٤



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ایزوترم‌های جذب سطحی بور (Boron) در خاک‌های آهکی

اکبر حسنی

استاد راهنما

دکتر رسول راهنمایی

استاد مشاور

دکتر محمدجعفر ملکوتی

کتابخانه و اسناد مرکز تحقیقات
تربیت مدرس


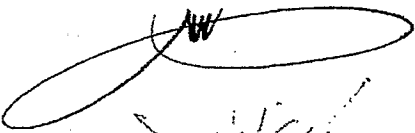
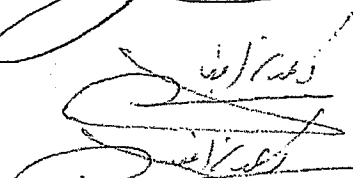
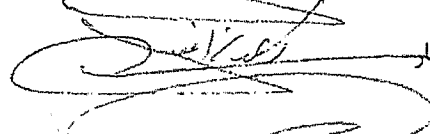
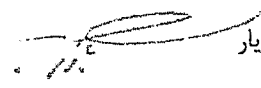
۱۳۸۷ / ۱۵ / ۲۵

زمستان ۱۳۸۶

۴۶۲۰۴

تائید اعضای هیئت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای اکبر حسینی تحت عنوان :
ایزوتروم های جذب سیطیحی بور (Boron) در خاک های آهکی را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و
پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می کنند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما	دکتر رسول راهنمایی	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر محمد جعفر ملکوتی	استاد	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مصطفی کریمیان اقبال	دانشیار	
۴- استادهای ناظر	دکتر مصطفی کریمیان اقبال	دانشیار	
	دکتر کامبیز بازرگان	استادیار	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند.

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد اکبر حسنی در رشته خاکشناسی است که در ۱۳۸۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر رسول راهنمایی و مشاوره جناب آقای دکتر محمد جعفر ملکوتی از آن دفاع شده است."

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰ درصد بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب اکبر حسنی دانشجوی رشته خاکشناسی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: اکبر حسنی

تاریخ و امضاء

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیئت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱: حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها و رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲: انتشار مقاله و یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه و رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنمای نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه و رساله نیز منتشر می‌شود باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳: انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه، رساله و تمام طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴: ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه، رساله و تمام طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام شود.

ماده ۵: این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیم به خانواده‌ام

ایزوترم‌های جذب سطحی بور (Boron) در خاک‌های آهکی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد: اکبر حسنی

اسفند ۱۳۸۶

چکیده

بور (B) یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای رشد گیاهان است. بور محلول در آب به آسانی توسط گیاهان جذب می‌شود در حالیکه بور جذب سطحی شده منبع نسبتاً دراز مدت بور در خاک است. بنابراین بور جذب سطحی شده در خاک عاملی است که حد سمیت و کمبود بور در خاک را کنترل می‌کند. با توجه به اهمیت واکنش‌های جذب سطحی و رهاسازی از دیدگاه کشاورزی و زیست محیطی، در این پژوهش رفتار جذب سطحی بور در خاک‌های آهکی بررسی گردید. بدین منظور جذب سطحی بور در پنج نمونه خاک با مقادیر متفاوت آهک (0 - 85% TNV) اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل با دو شکل خطی معادله لانگمویر، شکل لگاریتمی معادله فروندلیچ و معادله‌های غیرخطی لانگمویر، فروندلیچ، توت و لانگمویر-فروندلیچ توصیف گردیدند. تفسیر نتایج نشان داد که معادله لانگمویر بهترین معادله برای توصیف داده‌ها است. داده‌های آزمایشی و پیش‌بینی معادله لانگمویر نشان داد که جذب سطحی بور در خاک به طور نسبی ضعیف است، به طوری که تنها کمتر از ۳۰ درصد از بور اضافه شده، جذب سطحی ذرات خاک گردید. حداکثر جذب سطحی (Γ_{max}) بور در نمونه‌های خاک بین ۱ تا ۳ میکرومول بر گرم خاک محاسبه گردید. بررسی رابطه بین حداکثر جذب سطحی بور با خصوصیات خاک نشان داد که میزان جذب تابع ساده‌ای از خصوصیات خاک نیست، بلکه میزان آن برابندی از خصوصیات مختلف خاک نظیر pH، بافت، میزان کربنات‌ها و اکسیدها است. در میان خصوصیات خاک، میزان آهک فعال رابطه مستقیمی با میزان جذب بور نشان داد. برای تعیین نقش نسبی آهک در فرآیند جذب سطحی، کربنات‌های خاک شماره سه (20% TNV, pH=7.4) حذف و همدمای جذب سطحی بور در آن دوباره اندازه‌گیری گردید. با حذف آهک در این خاک، حداکثر جذب سطحی بور ۳۵ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده نقش مهم آهک در جذب سطحی بور است. همچنین جذب سطحی بور در خاک شماره سه در سه قدرت یونی ۰٫۰۱، ۰٫۱ و ۰٫۵ مولار اندازه‌گیری شد. داده‌ها نشان داد که جذب سطحی بور با افزایش قدرت یونی (به ترتیب حدود ۳۰٪ و ۱۰٪) افزایش می‌یابد. مقایسه اثر نوع الکترولیت زمینه نیز نشان داد که جذب سطحی بور در حضور یون‌های کلسیم کمی (۵٪) بیشتر از یون‌های سدیم است. اثر قدرت یونی و کاتیون همراه می‌تواند ناشی از افزایش بارهای سطحی وابسته به pH کانی‌ها، و همچنین به علت کاهش ضخامت لایه دوگانه و کاهش اثر دافعه الکتروستاتیک باشد. علاوه بر این، به منظور مقایسه جذب سطحی فسفر و بور و همچنین بررسی برهم کنش‌های آنها، همدمای جذب سطحی فسفر نیز در خاک شماره ۳ اندازه‌گیری شد. برازش داده‌ها با معادله لانگمویر نشان داد که جذب سطحی فسفر در این خاک بسیار بیشتر از بور می‌باشد ($\Gamma_{max}=4.8 \mu\text{mol/g}$) و انرژی جذب آن ($K=25.31$) نیز تقریباً پنجاه برابر بزرگتر از انرژی جذب سطحی بور است. فسفر اضافه شده به خاک اثر محسوسی بر غلظت تعادلی بور نداشت. این مساله نشان‌دهنده ناچیز بودن بور جذب سطحی شده اولیه و یا عدم رقابت بین بور و فسفر به دلیل تفاوت در مکانیسم جذب سطحی آنها می‌باشد.

واژگان کلیدی: بور (B)، فسفر، جذب سطحی، آهک فعال، کربنات کلسیم، ایزوترم جذب سطحی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	.....	مقدمه
فصل اول: کلیات و بررسی منابع		
۵	.....	۱-۱ رفتار آنیون‌ها در خاک
۶	.....	۲-۱ عنصر بور
۶	.....	۱-۲-۱ بور در گیاهان
۷	.....	۲-۲-۱ بور در خاک
۸	.....	۳-۱ عوامل موثر بر جذب سطحی بور در خاک
۸	.....	۱-۳-۱ pH محلول خاک
۹	.....	۲-۳-۱ قدرت یونی و کاتیون همراه
۱۰	.....	۳-۳-۱ بافت و مینرالوژی خاک
۱۱	.....	۴-۳-۱ اثر آهک
۱۳	.....	۴-۱ نگاهی به مدل‌های جذب سطحی
۱۳	.....	۱-۴-۱ معادله لانگمویر
۱۵	.....	۲-۴-۱ معادله فروندلیچ
۱۶	.....	۳-۴-۱ روابط مشتق شده از معادله‌های لانگمویر و فروندلیچ
فصل دوم: مواد و روش‌ها		
۱۸	.....	۱-۲ مقدمه
۱۸	.....	۲-۲ روش نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها
۱۹	.....	۳-۲ تعیین مشخصات نمونه‌ها
۱۹	.....	۴-۲ اندازه‌گیری همدمای جذب سطحی بور
۱۹	.....	۱-۴-۲ همدمای جذب سطحی بور تابعی از غلظت
۲۰	.....	۲-۴-۲ همدمای جذب سطحی بور تابعی از غلظت و قدرت یونی
۲۰	.....	۵-۲ همدمای جذب سطحی فسفر تابعی از غلظت
۲۱	.....	۶-۲ همدمای جذب سطحی بور در خاک تیمار شده با اسید استیک
۲۱	.....	۷-۲ روش اندازه‌گیری غلظت بور و فسفر در محلول‌ها
۲۲	.....	۸-۲ اندازه‌گیری (هیدرو)کسیدهای آهن و آلومینیوم

۲۲	..... ۹-۲ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها
	فصل سوم : نتایج و بحث
۲۴	..... ۱-۳ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک
۲۶	..... ۲-۳ توزیع گونه‌های محلول بور
۲۸	..... ۳-۳ همدمای جذب سطحی بور تابعی از غلظت
۳۶	..... ۴-۳ مکانیسم جذب سطحی بور
۳۹	..... ۵-۳ تأثیر آهک
۴۱	..... ۶-۳ تأثیر قدرت یونی
۴۴	..... ۷-۳ اثر نوع الکترولیت زمینه
۴۷	..... ۸-۳ اثر اکسیدهای آهن و آلومینیوم
۴۷	..... ۹-۳ همدمای جذب سطحی فسفر و مقایسه آن با بور
۴۹	..... ۱۰-۳ حضور آنیون‌های رقیب
۵۴	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۵۶	..... چکیده انگلیسی
۵۷	..... منابع مورد استفاده

من البرزم

رخنمون‌های رنگی معلمان،

افکار درهم و اوهام رنگی من است

نقش بسته بر بدن خاکی‌ام ...

مقدمه

بور یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان است که دامنه ضرورت و سمیت آن در گیاه محدود می‌باشد، به طوریکه در مقادیر کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (اندازه‌گیری شده به روش آب داغ) علائم کمبود بور و در مقادیر بالای دو میلی‌گرم در کیلوگرم علائم سمیت بور در گیاهان دیده می‌شود (ملکوتی و کشاورز، ۱۳۸۴). کمبود بور به طور معمول در خاک‌های مناطق پرباران و یا در خاک‌های شنی اتفاق می‌افتد (Goldberg *et al.* 2000). سمیت آن نیز در خاک‌های مناطق خشک با مواد مادری غنی از بور و همچنین در خاک‌هایی که با آب دارای بیش از حد مجاز بور آبیاری می‌شوند دیده می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). زیادی بور قابل استفاده باعث بروز علائم مسمومیت در گیاه می‌شود و کاهش محصول و زیان اقتصادی را موجب می‌گردد (ملکوتی و کشاورز، ۱۳۸۴). سمیت بور در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک گسترش بیشتری دارد و لذا وقوع آن در برخی مناطق کویری و حاشیه کویری کشور نظیر اردکان، جهرم و جیرفت گزارش شده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

فاز جامد بور در خاک محدود می‌باشد. بور به طور کلی به شکل بورات سدیم (بوراکس) و بورات کلسیم دیده می‌شود. در اثر انحلال بورات‌ها در خاک، اسید بوریک آزاد می‌شود که بخشی از آن روی سطح کانی‌ها جذب سطحی می‌شود (Keren and Bingham 1985). غلظت بور در گیاه

تحت تاثیر بور محلول و بور جذب سطحی شده قرار دارد و مجموع این دو جزء را می‌توان به عنوان بور قابل استفاده گیاه در خاک معرفی کرد (Jin *et al.* 1987; Hou *et al.* 1994; Xu *et al.* 2001). بور محلول در آب به آسانی قابل جذب توسط گیاهان است در حالیکه بور جذب سطحی شده منبع نسبتن درازمدت بور در خاک است. بنابراین بور جذب سطحی شده در خاک را می‌توان به عنوان عاملی که حد سمیت و کمبود بور در خاک را کنترل می‌کند در نظر گرفت (Keren and Bingham 1985).

جذب سطحی بور همانند سایر یون‌ها و مولکول‌های موجود در محلول خاک روی سطح کلوئیدهای خاک صورت می‌گیرد. سطوح باردار در خاک همگن نیستند و از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر تفاوت زیادی دارند. بیشتر سطوح ذرات خاک دارای بار منفی هستند و سطوح کمتری بار مثبت را به خود اختصاص می‌دهند که آن هم با تغییر برخی شرایط مثل pH تغییر می‌کند (Bolt 1982).

در یک تقسیم بندی کلی ذرات خاک را می‌توان به ۴ گروه کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آزاد، مواد آلی، و کربنات‌ها تقسیم‌بندی کرد. سطح کانی‌های رسی بیشتر دارای بار ثابت منفی ناشی از جایگزینی همشکل است و بار مثبت روی آن بسیار کمتر از بار منفی است (Bohn *et al.* 1985). همین مقدار بار مثبت نیز با افزایش pH کاهش می‌یابد. این مسئله باعث می‌شود اهمیت آنها در جذب آنیون‌ها کمتر از سایر اجزای خاک باشد (Bohn *et al.* 1985). اکسیدهای آزاد خاک به طور عمده دارای بار وابسته به pH هستند. PZC اکثر این ذرات در pH های بالاتر از pH معمول خاک‌ها قرار دارد و لذا معمولن دارای بار مثبت هستند (Goldberg *et al.* 1993). اهمیت این سطوح در جذب آنیون‌ها طی پژوهش‌های قبلی به کرات ثابت شده است (Goldberg and Glaubig 1985; Goldberg and Glaubig 1988; Su and Suarez 1995; Peak *et al.* 2003). مواد آلی خاک به طور عمده دارای بار منفی هستند و به همین علت در جذب سطحی آنیون‌ها نقشی ندارند. رفتار کربنات‌ها در خاک شبیه اکسیدهای آهن و آلومینیوم است ولی سطح فعال آنها بسیار کمتر است. در

خاک‌های آهکی به علت وجود مقادیر قابل توجهی از این مواد، تاثیر آنها در جذب آنیون‌ها غیر قابل چشم پوشی است. مقدار PZC کربنات‌های کلسیم بسته به منشا تشکیل، میزان ناخالصی و درجه کریستاله بودن بسیار متفاوت است. ولی معمولن در محدوده pH ۷-۹ قرار دارد (Kosmulski 2001). مقدار جذب سطحی بور علاوه بر مقدار اکسیدها، کربنات‌ها، مواد آلی خاک و همچنین مینرالوژی رس‌های خاک، تحت تاثیر عوامل دیگری نظیر pH محلول خاک، غلظت بور در فاز محلول، غلظت املاح موجود در محلول خاک، رطوبت و دمای خاک نیز قرار دارد (Keren and Bingham 1985).

رفتار شیمیایی بور در خاک به ویژه در خاک‌های آهکی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به گستردگی خاک‌های آهکی در کشورمان و اهمیت بور در دستیابی به حداکثر عملکرد محصولات کشاورزی و نقشی که بور در کیفیت محصولات دارد، در این تحقیق رفتار شیمیایی آن در خاک‌های آهکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور در این پژوهش اثر غلظت تعادلی بور بر روی میزان جذب سطحی آن در خاک‌های آهکی، نقش آهک و سایر ذرات خاک بر میزان جذب سطحی بور، اثر تغییرات قدرت یونی بر جذب سطحی بور، جذب سطحی فسفر در خاک آهکی و مقایسه آن با جذب سطحی بور و همچنین رقابت احتمالی بین بور و فسفر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل اول

کلیات و بررسی منابع

فصل اول

کلیات و بررسی منابع

۱-۱- رفتار آنیون‌ها در خاک

اگرچه از نظر کمیت، کنش‌ها و واکنش‌های کاتیون‌ها با سطح ذرات خاک بسیار بیشتر از آنیون‌ها است، ولی هر دو گروه از نظر کیفیت در درجه اهمیت یکسانی قرار دارند و مطالعه رفتار آنیونهای خاک به ویژه آنهایی که به عنوان عنصر غذایی برای گیاه مطرح هستند، به اندازه مطالعه کاتیونهای خاک مهم است.

آنیون‌های اصلی در خاک‌ها (از نظر کمیت) شامل Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- و NO_3^- است. سایر آنیون‌ها مانند $H_2PO_4^-$ ، HPO_4^{2-} ، OH^- ، F^- ، $H_2BO_3^-$ ، MoO_4^{2-} ، CrO_4^{2-} و HSO_4^{2-} که بسته به مواد مادری و شرایط مختلف به میزان کمتری در خاک‌ها یافت می‌شوند (Bohr et al. 1985).

به طور کلی آنیون‌ها با سطح ذرات خاک به سه شکل دفع آنیونی، جذب الکتروستاتیکی و جذب ویژه واکنش می‌دهند.

دفع آنیونی نشانگر توزیع نامتعادل یون‌ها در لایه دوگانه پخشیده است. آنیون‌ها توسط بارهای منفی از سطح کانی‌های سیلیکاتی و سایر ذرات دارای بار منفی به سمت محلول آزاد دفع می‌شوند.

شوند. از آنجایی که دفع آنیونی از لایه دوگانه پخشیده منشا می‌گیرد؛ هر عاملی که DDL را تحت تاثیر قرار دهد، دفع آنیونی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (Bohn et al. 1985).

مکانیسم جذب سطحی آنیون‌هایی فقط با نیروی الکتروستاتیک در نزدیکی سطح ذرات نگهداری می‌شوند تحت عنوان جذب غیرویزه یا جذب الکتروستاتیک شناخته می‌شود. آنیون‌های کلرید، نیترات و سولفات به طور کلی به صورت الکتروستاتیک جذب می‌شوند (Bohn et al. 1985). یون‌های کلرید و نیترات و سولفات آنیون‌های مهم و معمولی هستند که به طور گسترده‌ای مطالعه شده‌اند.

کلوئیدها همچنین به طور ویژه‌ای با یون‌های مختلف واکنش نشان می‌دهند و این چیزی فراتر از خنثی شدن بارهای مثبت روی سطوح است. در شرایطی که آنیون‌ها از سطوح منفی خاک دفع می‌شوند و رقابت زیادی بین سایر آنیون‌ها برای جذب شدن به روش الکتروستاتیک وجود دارد، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و سایر اکسیدها می‌توانند به مقدار کافی آرسنات، فسفات، مولیبدات و سایر آنیون‌های مشابه را از محلول خاک جمع‌آوری کنند. آنیون‌هایی مانند فسفات و فلورید قادر به ورود به کوردیناسیون شش لا با Fe و Al هستند. به این پدیده تبادل لیگاندی^۱ و یا نفوذ آنیونی می‌گویند (Bohn et al. 1985).

۱-۲- عنصر بور

بور (B) یکی از شبه‌فلزات گروه سوم جدول تناوبی است. این عنصر در طبیعت به صورت بورات‌های سدیم، کلسیم و منیزیم وجود دارد و به صورت آزاد دیده نمی‌شود.

۱-۲-۱- بور در گیاهان

بور نقش عمده‌ای در فعالیت‌های حیاتی گیاه بر عهده دارد. بور در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، تشکیل جوانه‌های برگ و گل، ترمیم بافت‌های آوندی، متابولیسم قند و مواد هیدروکربن-

^۱ - ligand exchange

دار و انتقال آنها، تنظیم مقدار آب و هدایت آن در سلول، انتقال کلسیم در گیاه و تنظیم نسبت کلسیم به پتاسیم در انساج گیاهی، سنتز پروتئین، رشد ریشه، متابولیسم چربی و سنتز پکتین، تشکیل دیواره سلولی و نقل و انتقال مواد محلول در بین سلول‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند. پویایی و حرکت این عنصر در گیاهان به طور چشمگیری بین گونه‌های گیاهی متفاوت است. نتایج تحقیقات اخیر نشان داده است که بور در هر گونه گیاهی که در آوند آبکش آن قندهایی نظیر سوربیتول، مانیتول، و دولیستول وجود داشته باشد پویا است؛ زیرا این پلی‌یولها می‌توانند بور را کمپلکس کنند (ملکوتی و کشاورز، ۱۳۸۴).

بور به شکل اسید بوریک و یا یون بورات جذب گیاه می‌شود. دامنه بین حد کمبود و سمیت بور برای برخی گیاهان بسیار کم می‌باشد و لذا در مقادیر کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (به روش آب داغ) علائم کمبود بور و در مقادیر بالای دو میلی‌گرم در کیلوگرم خاک علائم سمیت بور در گیاهان دیده می‌شود (ملکوتی و کشاورز، ۱۳۸۴).

۱-۲-۲- بور در خاک

فاز جامد بور در خاک محدود می‌باشد. معروفترین کانی حاوی بور تورمالین است. این کانی به قدری مقاوم به هوازدگی است که اهمیتی در تنظیم میزان بور محلول در خاک ندارد. بور قابل حل در خاک معمولن به صورت بورات‌های سدیم، کلسیم و منیزیم دیده می‌شود. مهمترین و فراوانترین ترکیب بور در خاک تترا بورات سدیم (بوراکس)، $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ، است. علاوه بر بوراکس ترکیباتی مانند بورسایت ($Mg_3B_7O_{13}Cl$)، کرنایت ($Na_2B_4O_7 \cdot H_2O$)، کلمنایت ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$)، و یولکسایت ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) نیز در مناطق خشک و نیمه خشک دیده می‌شود (Hesse 1994).

بوراکس، $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ، معمولترین نمک اسید بوریک در خاک است که به صورت پودر سفیدرنگ با کریستال‌های بی‌رنگ و بسیار محلول در آب دیده می‌شود. بوراکس در آب به راحتی حل می‌شود و تولید یون‌های سدیم و بورات می‌کند.

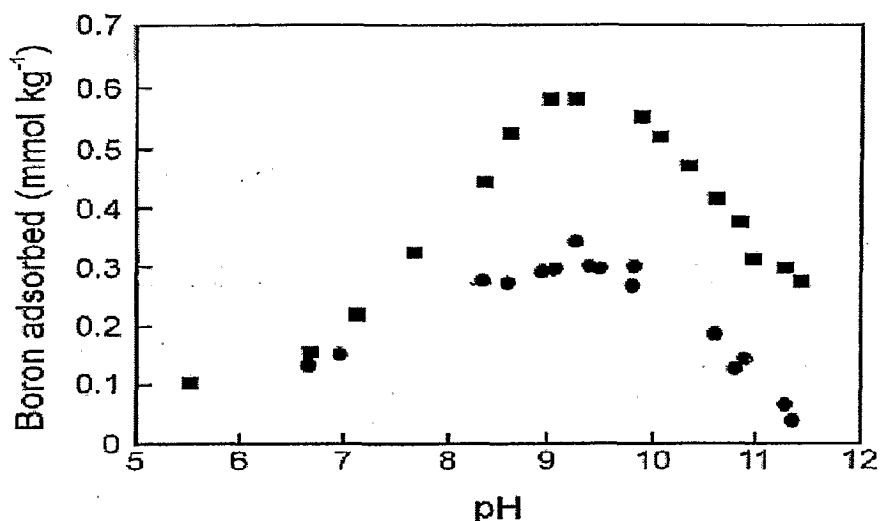
بخشی از اسید بوریک آزاد شده روی سطح کانی‌ها جذب سطحی می‌شود و بخش دیگر آن در فاز محلول باقی می‌ماند. بور جذب سطحی شده در تعادل با بور محلول است و مجموع این دو جزء را می‌توان به عنوان بور قابل استفاده گیاه در خاک معرفی کرد (Jin *et al.* 1987; Hou *et al.* 1994; Xu *et al.* 2001). بور جذب سطحی شده از نظر کمیت بیشتر از مقدار آن در فاز محلول است، بنابراین بور جذب سطحی شده عاملی است که سمیت و یا کمبود بور در خاک را کنترل می‌کند.

۳-۱ - عوامل موثر بر جذب سطحی بور در خاک

میزان جذب سطحی بور تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر pH محلول خاک، قدرت یونی و کاتیون همراه، بافت خاک، رطوبت و دمای خاک، مقدار و نوع اکسیدها، کربنات‌ها، مواد آلی خاک و همچنین مینرالوژی رس‌های خاک قرار دارد (Goldberg 1997).

۳-۱-۱ - pH محلول خاک

مقدار pH محلول خاک یکی از مهمترین عوامل موثر در قابلیت دسترسی گیاهان به بور است. با افزایش pH مقدار بور قابل دسترس به دلیل افزایش مقدار جذب آن در خاک کاهش می‌یابد (کافی و همکاران، ۱۳۸۳). جذب سطحی بور در خاک‌ها وابستگی زیادی به pH محلول خاک دارد. بر خلاف اکثر آنیون‌ها جذب سطحی بور در خاک با افزایش pH محلول افزایش می‌یابد و در $pH = 8$ 10 بسته به مینرالوژی رس‌ها (Goldberg and Glaubig 1986a) و اکسیدهای آهن و آلومینیوم (Sims and Bingham 1968a; Goldberg and Glaubig 1988; Keren and Sparks 1994) به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پس از آن با افزایش pH، جذب سطحی بور کاهش می‌یابد (Goldberg and Glaubig 1986b). اثر pH بر روی میزان جذب سطحی بور در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. جذب سطحی بور در یک خاک سطحی (مربع) و زیرسطحی (دایره) از یک منطقه خشک (Goldberg 1997).

۱-۳-۲- قدرت یونی و کاتیون همراه

در یک pH ثابت، با افزایش قدرت یونی، مقدار بار موجود روی سطح کانی‌ها افزایش می‌یابد (Bolt 1982) و موجب افزایش جذب سطحی یون‌ها می‌شود. نشان داده شده است که جذب سطحی بور در قدرت‌های یونی بالا بیشتر است (Keren and O'connor 1982). کرن^۱ و همکاران این مسئله را با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار داده‌اند (Keren and Sparks 1982; Keren and O'connor 1982; Keren and Sparks 1994). آنان جذب بور را در دو محلول $NaCl$ و $CaCl_2$ در یک قدرت یونی ثابت مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که جذب سطحی بور توسط مونت‌موریلونایت در حضور Ca بیشتر از Na است (Keren and O'connor 1982). این مسئله اینگونه توجیه شد که در pHهای بالا واکنش بورات با آلومینیوم‌های لبه کانی‌های رسی دو به یک توسط بارهای منفی دائمی این کانی‌ها محدود می‌شود. در غلظت‌های یونی بالاتر، بارهای سطحی منفی توسط جذب الکتروستاتیک کاتیون‌های موجود در محلول خاک به حداقل رسیده و لایه دوگانه الکتریکی نیز باریک‌تر می‌شود و در نتیجه واکنش بورات با لبه رس‌ها بهتر صورت می‌گیرد. در مورد ایلات، مقدار زیادی از بارهای بین لایه‌ای توسط تثبیت

^۱ - Keren

پتاسیم خنثی می‌شود و لذا تاثیر افزایش قدرت یونی در مورد این کانی کمتر است (Keren and O'conner 1982). این آزمایش روی کانی پایروفیلیت نیز انجام شد (Keren and Sparks 1994). این کانی بدون بار بوده و لذا پدیده دفع آنیونی در آن وجود ندارد و به همین دلیل می‌تواند مقادیر زیادتری بور جذب کند. در مورد این کانی نیز در قدرت یونی بالاتر مقدار جذب سطحی بور افزایش یافت. آنان افزایش چگالی بار الکتریکی روی سطح این کانی را علت این امر ذکر کردند. جذب سطحی بور در مقادیر متفاوت قدرت یونی توسط گلدبرگ^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۳ روی گوئیتایت، کائولینایت، گیبسایت، مونتموریلونایت و دو خاک کائولینیتی و مونتموریلونایتی نیز انجام شد (Goldberg et al. 1993). در این پژوهش نیز نشان داده شد که وابستگی جذب سطحی بور با افزایش قدرت یونی از محلول ۰,۰۱ مولار تا ۱,۰ مولار NaCl افزایش می‌یابد و ترتیب آن نیز : گوئیتایت (۳٪) > کائولینایت (۱۵٪) > گیبسایت (۳۰٪-) > مونتموریلونایت (۱۰۹٪) ≈ خاک مونتموریلونایتی (۱۱۶٪) ≈ خاک کائولینیتی (۱۲۹٪) است. آنان از روی رفتار جذب سطحی بور در مقادیر متفاوت قدرت یونی نتیجه گرفتند که بور احتمالاً به صورت کمپلکس اینراسفیر^۲ توسط گوئیتایت، گیبسایت و کائولینایت و به صورت کمپلکس اوتراسفیر^۳ توسط مونتموریلونایت و خاک‌ها جذب گردیده است.

۱-۳-۳- بافت و مینرالوژی خاک

از نقطه نظر اندازه ذرات خاک و تاثیر بافت، ارتباط معنی‌داری بین درصد رس و جذب سطحی بور در خاک وجود دارد (Elrashidi and Connor 1982). این گزارش توسط گلدبرگ و گلابیگ^۴ (۱۹۸۶) مورد تایید قرار گرفت. آنان گزارش کردند که مقدار حداکثر بور جذب سطحی شده

— ۱ - Goldberg

۲ - Inner sphere

۳ - Outer sphere

۴ - Glaubig

با افزایش مقدار رس افزایش می‌یابد (Goldberg and Glaubig 1986a). علاوه بر این آنها همبستگی بسیار بالای سطح ویژه را با جذب سطحی بور گزارش نمودند.

از سوی دیگر، بینگهام^۱ و همکاران (1971) نیز ارتباط معنی‌داری بین بور جذب سطحی شده و درصد هیدروکسیدهای آلومینیوم را در چهار نمونه خاک مکزیک و شش نمونه خاک هاوایی اثبات نمودند (Bingham *et al.* 1971). تحقیقات بعدی نیز اهمیت این اکسیدها را نشان داد (Goldberg and Glaubig 1985; Goldberg and Glaubig 1988). اکسیدهای آهن و آلومینیوم را میتوان مهمترین سطوح جذب کننده بور در خاک دانست (Sims and Bingham 1968a; Sims and Bingham 1968b).

کانی‌های رس نیز در جذب بور نقش دارند. در این کانی‌ها نیز جذب سطحی بور با افزایش pH افزایش یافته و در pH=8-10 به حداکثر خود رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد. (Sims and Bingham 1967; Keren and Gast 1981; Keren and O'connor 1982; Goldberg and Glaubig 1986a; Goldberg *et al.* 1993). جذب سطحی بور به طور غالب روی لبه‌های کانی‌های رس به صورت تبادل لیگاندی با گروه‌های عاملی هیدروکسیل سطوح این کانی‌ها صورت می‌گیرد (Goldberg and Glaubig 1986a; Keren and Sparks 1994).

۱-۳-۴ - اثر آهک

مقدار کربنات کلسیم در خاک اثر قابل‌توجهی روی جذب بور در خاک دارد. حضور آهک باعث افزایش مقدار pH (۷-۸) خاک‌ها شده و بنابراین مقدار جذب بور افزایش می‌یابد. علاوه بر نقش آهک در افزایش pH، کربنات کلسیم به طور مستقیم در جذب سطحی بور نقش مهمی دارد. الرشیدی^۲ و اکاتر^۳ رابطه معنی‌داری بین جذب بور و مقدار کربنات کلسیم خاک پیدا نکردند ولی این محققان دریافتند که بیشترین مقدار بور جذب شده در خاکی با بیشترین مقدار کربنات کلسیم است.

^۱ - Bingham

^۲ - Elrashidi

^۳ - O'connor