مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۲) ۱، ۱۳۹۰ (۱۱۹-۱۰۹)

تأثیر بور و نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج

هادی کوهکن[1]* و منوچهر مفتون[2]

[1] دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا و [2] استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹)

چکیده

سمیت بور عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک به علت کاربرد آبهای شور و آبهایی که حاوی میزان نسبتاً بالایی از این عنصر هستند، شایع است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از برخی عناصر غذایی مانند نیتروژن اثرات مضر سطوح بالای بور را کاهش می دهد. جهت بررسی برهمکنش بور و نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) آزمایش گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش سطح بور (صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بصورت اسید بوریک) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بصورت اوره) با سه تکرار در یک خاک آهکی انجام شد. کاربرد بور سبب کاهش وزن خشک قسمت هوایی گردید و با مصرف نیتروژن سمیت بور بویژه در تیمارهای با غلظت پایین آن کاهش یافت. در غیاب بور و کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن حدود ۵۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. کمترین وزن خشک در غیاب نیتروژن با کاربرد ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) مشاهده شد. بعلاوه افزودن بور غلظت بور و نیتروژن را در قسمت هوایی اسفناج افزایش داد. مصرف نیتروژن غلظت نیتروژن را افزایش ولی غلظت بور در گیاه کاهش داد. با افزایش مصرف بور و نیتروژن، غلظت اسید آمینه پرولین در برگ تازه اسفناج افزایش یافت. با افزایش مصرف بور، غلظت کلروفیل کاهش یافت ولی با افزودن تیمارهای نیتروژن غلظت کلروفیل افزایش یافت و تاثیر سوء بور را کاهش داد. غلظت کلروفیل اندازه‌گیری شده به روش شیمیایی در برگ تازه با قرائت کلروفیل‌متر سیر صعودی داشت. کاربرد بور سبب کاهش معنی‌دار در میانگین نسبت کلسیم به بور در اندام هوایی اسفناج شد که علت آن مربوط به افزایش غلظت بور با کاربرد تیمارهای بور می باشد ولی این نسبت با مصرف نیتروژن، در تمام سطوح بور، سیر صعودی داشت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در خاکهای با بور بالا، کاربرد نیتروژن با کاهش اثرات سوء سمیت بور، رشد اسفناج را افزایش می دهد.

واژه‌های کلیدی: سمیت بور، نیتروژن، اسفناج، غلظت پرولین و کلروفیل، نسبت کلسیم به بور

مقدمه

از آنجایی که کمبود نیتروژن در اکثر زمین‌های زراعی وجود دارد بنابراین برای افزایش عملکرد محصولات باید نیتروژن به خاک داده‌شود (Jones et al., 1963). Nielsen and Halvorson (1991) بیان کردند که کاربرد نیتروژن عملکرد گیاهان را به دلیل تحریک رشد ریشه و اندام هوایی، افزایش می دهد. Ahmed(1991) نشان داد که عدم کاربرد نیتروژن، باعث کاهش عملکرد اسفناج گردید و در شاخسار، غلظتهای نیتروژن کل و فسفرکاهش نشان داد.

بور یک عنصر ضروری کم مصرف برای گیاهان عالی است و دامنه کمبود و سمیت آن در گیاهان بسیار نزدیک است (Gupta et al.,1985). بور در تقسیم سلولی بافتهای مریستمی، تشکیل جوانه‌های برگ و گل، متابولیسم و هیدروکربن‌ها و انتقال آنها، سنتز پروتئین، متابولیسم چربی، سنتز پکتین، انتقال کلسیم در گیاه و غیره نقش مهمی ایفا می کند (Marschner, 1995).

سمیت بور به عنوان یک مشکل مهم در مناطق خشک و خاک‌های آهکی گزارش شده است (Allison and Moodie, 1965). زمانی که این عنصر در غلظت‌های بالا در خاک یا آب وجود داشته باشد به دلیل ایجاد سمیت، رشد و عملکرد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Alpaslan and Gunes, 2001). معمولاً مقادیر کمتر از ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بور در ماده خشک گیاهی دلیل کمبود و سطوح بیشتر از۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم دلیل مسمومیت برای اغلب گیاهان است (Gupta et al. 1985). در میان رقم های گیاهی، نشانه‌های ظاهری سمیت بور به صورت برگ سوختگی و کلروز و یا لکه مردگی اغلب در حاشیه و نوک برگهای مسن ظاهر می‌شود. این نشانه‌ها، توزیع بور در بیشتر گونه‌ها گیاهی را نشان می‌دهد و بور در پایان تعرق در حاشیه و نوک تجمع می‌یابد. در قطعات کلروزه یا نکروزه

* پست الکترونیک مکاتبه کننده: Koohkan_7001@yahoo.com

غلظت بور در مقایسه با بافت های اطراف برگ بیشتر است (Eaton, 1944).

سمیت بور در گیاه ممکن است ناشی از دلایل زیر باشد: (۱) خاک‌هایی که به طور طبیعی دارای میزان بور بالایی در مواد مادری هستند،(۲) استفاده مستمر و زیاد از کودهای محتوی بور بالا و در نهایت (۳) به خاطر استفاده از آب آبیاری حاوی بور بالا که باعث تجمع بور در خاک می‌شود (Gupta et al. 1985). حال آنکه یکی از منابع اصلی سمیت بور در زمین‌های کشاورزی آب آبیاری می‌باشد (Chapman and Vanselow, 1955).

برای مقابله با سمیت بور، راههای متفاوتی پیشنهاد شده‌است از جمله آبشوئی خاکهای با غلظت زیاد بور که سبب می‌گردد مقدار قابل توجهی از این عنصر از خاک خارج گردد. این روش نیاز به مقدار قابل توجهی آب با غلظت نسبتاً کم بور دارد و چندان عملی و اقتصادی نیست (Keren and Bingham, 1985). راه دیگر انتخاب ارقام و ژنوتیپ‌های مقاوم به غلظت بالای بور می باشد (Nable et al.,1997) و روش سوم که اخیراً مورد توجه و مطالعه واقع شده کاهش سمیت بور در گیاهان با مصرف بعضی از عناصر غذایی ضروری نظیر نیتروژن و روی می‌باشد (Gupta et al. 1985).

Gupta et al. (1973) گزارش کردند که با افزایش نیتروژن در خاکهای فقیر از نیتروژن، غلظتهای بور در اندام‌های غلات در مرحله سنبله و پر شدن خوشه ها کاهش یافته است. Salinas et al. (1985) در یک آزمایش گلخانه ای مشاهده کردند که نشانه های سمیت بور ۱۲ روز بعد از انتقال نخود در تیمار ۸ میلی گرم بور درکیلوگرم خاک ظاهر می‌شود. در حالیکه در این مدت شدت سمیت با افزایش غلظت نیتروژن کاهش یافته است. Chapman and Vanselow (1955) نشان دادند کاربرد نیتروژن در کنترل سمیت بور در مرکبات موثر است.

Gupta et al. (1976) بیان کردند اگر غلظت بور درجو و گندم به ترتیب بیشتر از ۱۴ و ۱۶ میلی گرم بور در کیلوگرم شود گیاهان دچار برگ سوختگی در نوک برگها می‌شوند و اضافه کردن حداقل ۵۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک سمیت بور را کاهش می دهد. Jones et al. (1963) مشاهده کردند که در خاکهایی با غلظت بور زیاد، مصرف نیتروژن باید افزایش یابد. چون کاربرد نیتروژن غلظت بور در برگ مرکبات را کاهش می‌دهد.

علایم سمیت بور در میناب، جیرفت، یزد، جهرم، کرمان ، رفسنجان، قم و نواحی دیگر گزارش شده است (Malakouti and Motesharrezadeh,1999). در مناطق شور ایران و یا مزارعی که با آب شور یا با غلظت بالای بور نظیر رودخانه هلیل رود آبیاری می‌شوند در تجمع و انباشتگی زیاد بور در خاکها مسئله‌ساز شده است. بدیهی است بررسی و مطالعه راههایی که بتوان مقاومت نسبی این گیاه را به تنش ناشی از مسمومیت بور افزایش داد، از اولویت ویژه ای برخوردار است. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی تاثیر کاربرد نیتروژن بر افزایش مقاومت نسبی اسفناج به تنش ناشی از سمیت بور است که در شرایط گلخانه به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد آزمایش در این تحقیق از افق سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) سری رامجردی واقع در ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز نمونه برداری گردید. این خاک با نام علمی (fine, mixed, mesic, Fluventic Haploxerepts) می‌باشد (Solhi, 1998). برخی از ویژگی های فیزیکوشیمیایی از جمله بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، ماده آلی (Walkley and Black, 1934) قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع بوسیله هدایت سنج الکتریکی، پ هاش در خمیر اشباع به‌وسیله پ هاش متر، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش استات سدیم (Chapman, 1965)، کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی سازی توسط اسید کلریدریک (Allison and Moodie, 1965)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner, 1965)، فسفر قابل استفاده توسط عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم (Olsen et al., 1954) و بور به روش آب داغ (Dible et al.,1957) تعیین شد. ضمناً عناصر کم مصرف توسط دی‌تی‌پی‌ا عصاره گیری و غلظت آنها بوسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید و این ویژگی‌ها در جدول (۱) آورده شده‌است. به منظور بررسی تأثیر بور و نیتروژن بر شاخص های رشد رویشی اسفناج از شش سطح بور (۰ ، ۲/۵ ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک) به‌صورت محلول اسید بوریک به خاک و چهار سطح نیتروژن (۰ ، ۷۵ ، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) بصورت اوره به خاک استفاده شد، بطوریکه نیتروژن در دو نوبت به گلدان‌ها اضافه گردید. نیمی از سطوح نیتروژن قبل از کشت بذر به صورت محلول و نصف دیگر چهار هفته پس از کشت به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش بصورت فاکتوریل ۴×۶ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مقادیر مورد نیاز فسفر، آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به میزان ۲۵، ۵، ۵، ۵ و ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک براساس نتایج آزمون خاک و قبل از کاشت به‌صورت محلول به ترتیب از منابع مونوفسفات پتاسیم، کلات آهن(Fe- EDDHA) و سولفاتهای منگنز، روی و مس به طور یکنواخت به تمام گلدان‌ها داده شد.. تعداد ۱۰ عدد بذر

اسفناج رقم Viroflay در عمق ۲ تا ۳ سانتیمتری خاک کاشته شد و دو هفته پس از کاشت تعداد بوته‌ها به ۴ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. رطوبت خاک در تمام طول مدت آزمایش با توزین مرتب گلدانها و افزودن آب مقطر در حد ۷۰-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد.

۷۳ روز بعد از کاشت اسفناج ، گیاه از محل طوقه قطع شده و پس از شستشو با آب معمولی و سپس آب مقطر، در آون در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. پس از توزین وزن خشک شاخسار، اندام هوائی توسط آسیاب برقی پودر شدند. ضمناً قبل از برداشت، به وسیله کلروفیل متر (SPAD-502) از برگهای جوان دوم، سوم و چهارم هر بوته اعداد کلروفیل متر قرائت شد و از هر برگ سه قرائت صورت گرفت. همچنین جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل به روش آرنون (Arnon, 1956)، برگ تازه گیاه را در استون ۸۰ درصد به خوبی سائیده و سپس سانتریفوژ کرده و محلول زلال روئی را جدا و جذب را در طول موجها ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و سپس میزان کلروفیل کل را محاسبه می کنیم. جهت اندازه‌گیری پرولین به روش Bates et al. (1973) از اسید سولفوسالسیلیک به عنوان عصاره‌گیر و از تولوئن به عنوان ماده کمپلکس دهنده استفاده شد. نیتروژن کل به روش میکروکلدال اندازه گیری شد (Bremner,1965). جذب آن از حاصلضرب غلظت در ماده خشک گیاه محاسبه شد. اندازه گیری غلظت بور به روش آزومتین H (Ferran et al., 1987) انجام گرفت و جذب آن از حاصلضرب غلظت بور در عملکرد بدست آمد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

ویژگی خاک	مقدار
رس (درصد)	۰۰/۲۴
سیلت(درصد)	۰۰/۴۴
pH (در خمیر اشباع)	۷/۳۰
قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک ($dS\ m^{-1}$)	۰/۴۵
ماده آلی (درصد)	۰/۵۵
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۵۱
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۰۰/۶۲
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار برکیلوگرم خاک)	۰۰/۱۱
بور استخراج شده با آب داغ ($mg\ kg^{-1}$ soil)	۰/۳۳
فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$ soil)	۹/۴۰
پتاسیم قابل جذب($mg\ kg^{-1}$ soil)	۳۹۱
آهن استخراج شده بوسیله DTPA($mg\ kg^{-1}$ soil)	۴/۵۰
منگنز استخراج شده بوسیله DTPA($mg\ kg^{-1}$ soil)	۵/۰۰
روی استخراج شده بوسیله DTPA($mg\ kg^{-1}$ soil)	۰/۶۰
مس استخراج شده بوسیله DTPA($mg\ kg^{-1}$ soil)	۲/۳۰

داده‌های جمع آوری شده با استفاده ازبرنامه MSTATC و با بکار گیری آزمون F و نیز معادله‌های رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

پارامتر های اندازه گیری شده در این تحقیق وزن خشک گیاهی، غلظت و جذب بور، غلظت و جذب نیتروژن، نسبت کلسیم به بور، غلظت پرولین، رابطه غلظت کلروفیل و قرائت کلروفیل متر و غلظت کلروفیل است.

ماده خشک

در این آزمایش برهمکنش بور و نیتروژن بر عملکرد اسفناج معنی دار شد. وزن خشک اسفناج در هر سطح نیتروژن با افزایش مصرف بور کاهش یافت. سمیت بور اثرات فیزیولوژیکی منفی بر تقسیم سلولی دارد و باعث کاهش تقسیم سلولی می شود (Liu and Yang, 2000) و در نتیجه رشد ریشه و اندام هوایی گیاه کاهش می یابد (Reid et al., 2004). در هر سطح بور با مصرف نیتروژن وزن خشک اسفناج بطور معنی داری نسبت به شاهد افزایش می یابد. دلیل افزایش وزن خشک اسفناج را با مصرف نیتروژن به ترکیب نیتروژن با مواد حاصل از فتوسنتز مانند گلوکز، ساکارز و اسکوربیک اسید و تولید اسیدهای آمینه و سپس پروتئین نسبت می دهند (Takebe et al., 1995). در غیاب نیتروژن کاربرد ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) وزن خشک اسفناج را حدود ۸۲ درصد (در سطح ۵ درصد) نسبت به شاهد کاهش داد. در حالیکه با مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک ($N_{300}B_{40}$) وزن خشک اسفناج حدود ۱۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. حداکثر وزن خشک اسفناج در غیاب بور و کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک بدست آمد که حدود ۵۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۲).

نتایج حاصله نشان داد، کاربرد نیتروژن در سطوح پایین و نسبتاً پایین بور (۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک) به نحو موثری توانسته از اثرات مضر بور بر وزن خشک بکاهد و در سطوح بالای بور (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) اثرات نیتروژن در کاهش اثرات منفی بور قابل توجه نبوده است.

میانگین وزن خشک با افزایش مصرف بور کاهش یافت در حالی که با مصرف نیتروژن میانگین وزن خشک افزایش نشان داد. با مصرف ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک میانگین وزن خشک از ۴/۹۷ به ۳/۳۱ گرم در گلدان رسید (جدول۲). Kaya et al. (2009) گزارش دادند که وزن خشک اندام هوایی گوجه‌فرنگی در تیمارهای ۲ و ۴ میلی‌گرم بور در لیتر (در سطح

۵ درصد) نسبت به شاهد کاهش معنی داری نشان داد.

Gunes et al. (2007) گزارش دادند که وزن خشک اندام هوایی اسفناج به دلیل سمیت بور بطور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت. Eraslan et al. (2007) بیان کردند که مصرف ۳۰۰ میکرومول بور درلیتر وزن خشک کاهو را بطور معنی‌داری کاهش داد. Gunes et al. (2006) نیز که اثرات سمیت بور با کاربرد ۲۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک در انگور را گزارش دادند. همچنین وزن خشک برگ انگور با کاربرد ۳۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک بطور معنی داری کاهش یافت. و نتایج مشابه توسط Alpaslan and Gunes (2001) در خیار و Karabal et al. (2003) در جو گزارش شده است.

بر اساس گزارش Biemond et al. (1996) با افزایش سطوح نیتروژن، وزن خشک و غلظت آن در اسفناج افزایش یافت. Ahmed (1991) نشان داد که عدم کاربرد نیتروژن، باعث کاهش عملکرد اسفناج گردید و همچنین در شاخسار نیز نیتروژن کل و غلظت فسفر نیز کم شده است.

جدول۲ - تأثیر بور و نیتروژن بر وزن خشک اسفناج (گرم در گلدان)

نیتروژن (میلی‌گرم در گیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم) ۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
۰	۴/۶۷	۳/۹۸	۳/۱۲	۲/۰۸	۱/۳۰	۰/۸۳	۲/۶۶
۷۵	۵/۰۶	۴/۷۴	۴/۳۲	۴/۲۳	۳/۹۵	۳/۶۱	۴/۳۲
۱۵۰	۶/۴۳	۶/۲۱	۵/۱	۵/۹۱	۴/۹۸	۴/۶۸	۵/۵۵
۳۰۰	۷/۲۳	۷/۱۵	۶/۳۳	۵/۸	۵/۰۱	۴/۱۴	۵/۹۴
میانگین	۵/۸۴	۵/۵۲	۴/۷۲	۴/۵	۳/۹	۳/۳۱	

	LSD(0.05)
N	۰/۳۱
B	۰/۳۸
N×B	۰/۷۵

غلظت و جذب بور

براساس نتایج ارائه شده در جدول شماره (۳)، غلظت بور در هر سطح نیتروژن افزایش یافت. طوری که در غیاب نیتروژن و مصرف ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) غلظت بور از ۹۱ به ۲۰۶۱ میلی گرم بور در کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی گیاه می‌رسد. در سطح صفر بور، با افزایش کاربرد نیتروژن غلظت بور سیر صعودی داشت. Nelyubova and Mulha (1972) گزارش دادند که در شرایط کمبود بور با افزودن نیتروژن جذب بور در آفتابگردان افزایش یافت. Eraslan et al. (2007) گزارش دادند که با افزایش سطح بور، غلظت بور در گیاه کاهو بطور معنی داری افزایش می یابد و با کاربرد ۳۰۰ میکرومول بور غلظت بور از ۱۲/۰۳ به ۲۷۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک کاهو رسید. Kaya et al. (2009) گزارش دادند که افزودن بور غلظت بور در گوجه‌فرنگی را افزایش داد. Gunes et al. (2006)، Papadakis et al. (2004) و Papadakis et al. (2003) نتایج مشابهی گزارش کردند.

در هر سطح بور با کاربرد نیتروژن، غلظت بور در گیاه کاهش نشان داد. طوری که در سطح ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک غلظت بور از ۲۰۶۱ به ۴۹۳/۲ میلی گرم بور در کیلوگرم رسید. بدون مصرف نیتروژن، کاربرد ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) غلظت بور را ۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است (در سطح ۵ درصد) ولی با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک ($N_{300}B_{40}$) غلظت بور را ۴/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که این امر نشانگر آن است که کاربرد نیتروژن در کاهش غلظت بور در گیاه موثر است. تاثیر نیتروژن در کاهش غلظت بور در سطوح بالای نیتروژن (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) نسبت به سطوح پایین تر نیتروژن (۰ و ۷۵ میلی گرم نیتروژن در کیلوژرم خاک) قابل ملاحظه تر بود (جدول ۳).

Gupta et al. (1976) بیان کردند اگر غلظت بور درجو و گندم به ترتیب بیشتر از ۱۴ و ۱۶ میلی گرم بور در کیلوگرم شود گیاهان دچار برگ سوختگی در نوک برگها می‌شوند و اضافه کردن حداقل ۵۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک سمیت بور را کاهش داد. Sepaskhah and Maftoun (1994) گزارش کردند که اثر سمیت بور در پسته بادامی و کله‌قوچی به‌ترتیب با مصرف ۱۰۰ و ۵۰ میکروگرم نیتروژن در گرم خاک کاهش یافت.

جذب بور در هر سطح نیتروژن با افزایش تیمار بور زیاد می‌شود که دلیل آن افزایش غلظت بور در گیاه است (جدول ۳). در هر سطح بور، کاربرد نیتروژن تا ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک جذب بور را افزایش اما در سطوح بالاتر نیتروژن (۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) جذب بور کاهش می‌یابد. دلیل افزایش جذب بور مربوط به افزایش وزن خشک گیاه با مصرف نیتروژن است و کاهش جذب بور به کاهش غلظت بور در اثر کاربرد سطوح بالای نیتروژن (۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) مربوط می‌شود. حداکثر جذب بور (۳/۳۳ میلی‌گرم در گلدان) با مصرف توأم ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک و حداقل جذب بور (۰/۴۱ میلی‌گرم در گلدان) در تیمار صفر بور و ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک مشاهده شد. Kaya et al. (2009) نشان دادند که با افزایش تیمارهای بور، جذب بور توسط گوجه‌فرنگی نیز افزایش می یابد.

جدول۳ - تأثیر بور و نیتروژن بر غلظت و جذب بور در اسفناج.

نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم) ۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
	غلظت بور (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
۰	۹۱	۱۷۳/۸	۲۳۹/۵	۳۹۵/۶	۷۸۵/	۲۰۶۱	۶۲۴
۷۵	۸۰/۱۳	۱۵۸/۰	۱۹۳/۳	۳۴۶	۶۵۳	۹۲۱/۷	۳۹۲
۱۵۰	۹۶/۴۷	۱۵۸/۷	۱۸۳/۳	۳۲۰/۹	۴۰۴	۵۷۲/۵	۲۸۹
۳۰۰	۹۷/۱۴	۱۱۸/۷	۱۲۹	۲۲۳/۷	۳۴۰/۴	۴۹۳/۲	۲۳۳
میانگین	۹۱/۱۹	۱۵۲/۳	۱۸۶/۳	۳۲۱/۵	۵۴۵	۱۰۱۲	
LSD(0.05)							
N	۱/۱۶						
B	۱/۴۲						
N×B	۲/۸۴						
	جذب بور (میلی گرم در گلدان)						
۰	۰/۴۲	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸۲	۱/۰۲	۱/۷۱	۱/۶۶
۷۵	۰/۴۱	۰/۷۵	۰/۸۳	۱/۴۶	۲/۵۸	۳/۳۳	۱/۷
۱۵۰	۰/۶۲	۰/۹۸	۰/۹۴	۱/۹	۲/۰۱	۲/۶۸	۱/۵۲
۳۰۰	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۸۲	۱/۳	۱/۷۱	۲/۰۴	۱/۲۳
میانگین	۰/۵۳	۰/۸۴	۰/۸۳	۱/۳۷	۱/۸۳	۳/۳۵	
LSD(0.05)							
N	۰/۱۴						
B	۰/۱۷						
N×B	۰/۳۴						

غلظت و جذب نیتروژن

تاثیر تیمارهای بور و نیتروژن بر غلظت نیتروژن معنی دار می‌باشد (جدول ۴). در هر سطح بور با افزایش مقدار نیتروژن، غلظت نیتروژن در اسفناج نیز افزایش یافت. حداکثر غلظت نیتروژن در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک و مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک (۴/۱۲ درصد) و حداقل (۱/۱۴ در صد) در غیاب نیتروژن و بور بود (جدول۴). Gulser (2005) گزارش داد که کاربرد اوره غلظت نیتروژن در اسفناج را افزایش داد و با افزودن ۱۵۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار غلظت نیتروژن از ۲۰/۷ به ۳۳ گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه رسید.در هر سطح نیتروژن، افزودن بور غلظت نیتروژن در شاخسار گیاه را افزایش داد و دلیل آن مربوط به اثر غلظت و کاهش وزن خشک اسفناج با مصرف‌بوراست (جدول ۴).

میانگین غلظت نیتروژن در گیاه اسفناج با مصرف بور تا سطح ۱۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک اختلاف معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان نداد ولی با مصرف ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک میانگین غلظت نیتروژن بطور معنی‌داری افزایش یافت. این احتمالاً به دلیل اثر غلظت می‌باشد (جدول ۴). دلیل افزایش غلظت نیتروژن می‌تواند به علت کاهش وزن خشک اندام هوایی بر اثر سمیت بور باشد (Gupta et al. 1976).

جذب نیتروژن در هر سطح بور با کاربرد نیتروژن افزایش نشان داد که دلیل آن افزایش غلظت نیتروژن و وزن خشک

اسفناج با افزودن تیمارهای نیتروژن است. بیشترین جذب نیتروژن (۲/۹۴ میلی‌گرم در گلدان) در غیاب بور و مصرف ۳۰۰میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده گردید. ولی کاربرد بور بر جذب نیتروژن اثر کاهندگی داشت که علت آن کاهش وزن خشک گیاه با مصرف تیمارهای بور بود. به نحوی که در در تیمار صفر نیتروژن و ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک جذب نیتروژن حدود ۷۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

Salinas et al. (1985) مشاهده کردند که تیمارهای بور و نیتروژن بطور مؤثری باعث افزایش غلظت نیتروژن کل در برگ گیاه نخود گردید به طوری که در غیاب بور غلظت نیتروژن کل در برگ حدود ۳ تا ۴ برابر نسبت به تیمارهای ۰/۵، ۲ و ۸ میلی‌گرم بور در لیتر کمتر بود. همچنین میانگین نیتروژن کل در تیمارهای صفر، ۰/۵، ۲ و ۸ میلی گرم بور در لیتر به ترتیب ۱/۱، ۴/۰۶، ۴/۲۷ و ۴/۶۲ درصد بود. Gupta et al. (1976) افزایش غلظت نیتروژن در گندم و جو با مصرف بور گزارش کردند. و دلیل آن را کاهش عملکرد به علت سمیت بور و اثر غلظت بیان کردند.

Biemond et al. (1996) مشاهده کردند که با افزایش سطوح نیتروژن، غلظت نیتروژن در اسفناج افزایش می‌یابد. Ahmed (1991) نشان داد که عدم کاربرد نیتروژن، باعث کاهش عملکرد اسفناج گردید و همچنین غلظت نیتروژن کل و غلظت فسفر در قسمتهای هوایی گیاه کم شده است.

جدول۴ - تأثیر بور و نیتروژن بر غلظت و جذب نیتروژن در اسفناج.

نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم)						
	۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
	غلظت نیتروژن (درصد)						
۰	۱/۱۴	۱/۲۵	۱/۲۴	۱/۲۸	۱/۳۵	۱/۶۷	۱/۳۲
۷۵	۱/۴۴	۱/۵۹	۱/۵۸	۱/۷۳	۱/۷۹	۲/۲۱	۱/۷۳
۱۵۰	۲/۵۳	۲/۳۳	۲/۳۲	۲/۵۲	۲/۹۸	۲/۹۵	۲/۶۱
۳۰۰	۴/۰۷	۴/۰۴	۳/۹۶	۴/۱۲	۴/۰۳	۴/۰۶	۴/۰۵
میانگین	۲/۲۸	۲/۳	۲/۲۸	۲/۴۳	۲/۵۴	۲/۷۳	
LSD(0.05)							
N	۰/۱۳						
B	۰/۱۶						
N×B	۰/۳۲						
	جذب نیتروژن (میلی گرم در گلدان)						
۰	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۲
۷۵	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۷۴
۱۵۰	۱/۵۲	۱/۵	۱/۱۸	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۳۵	۱/۴۲
۳۰۰	۲/۹۴	۲/۸۹	۲/۵۱	۲/۳۹	۲/۰۲	۱/۷۱	۲/۴۱
میانگین	۱/۳۵	۱/۲۶	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۱	۱/۰۰	
LSD(0.05)							
N	۰/۹۵						
B	۰/۱۱						
N×B	۰/۲۳						

نسبت کلسیم به بور

برهمکنش بور و کلسیم در گیاهان بطور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. نسبت کلسیم به بور می تواند به عنوان یک شاخص مناسبی برای بررسی عکس‌العمل گیاهان به بور استفاده شود (Gupta et al. 1985). کاربرد کلسیم در خاک سبب کاهش قابلیت استفاده بور می شود شاید به دلیل تشکیل کمپلکس بورات کلسیم باشد(Sotiropoulos et al.1999)

در این پژوهش، کاربرد بور سبب کاهش معنی‌دار در میانگین نسبت کلسیم به بور در اندام هوایی اسفناج شده‌است که علت آن مربوط به افزایش غلظت بور با کاربرد تیمارهای بور است. و همچنین با افزایش غلظت بور، غلظت کلسیم در گیاه کاهش می‌یابد (Tariq and Mott. 2006). همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود این نسبت با مصرف نیتروژن، در تمام سطوح بور، سیر صعودی دارد که علت آن احتمالاًمربوط به

افزایش حلالیت کلسیم در محیط اطراف ریشه به سبب افزودن نیتروژن به خاک است (Lunin et al., 1965). همچنین غلظت بور در اندام هوایی اسفناج با مصرف نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳). در نتیجه در هر سطح بور با مصرف نیتروژن نسبت کلسیم به بور افزایش می یابد. بالاترین میانگین نسبت کلسیم به بور در تیمار صفر بور و کمترین آن در تیمار ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک مشاهده شد. بهترین میانگین مقدار این نسبت برای حصول حداکثر وزن خشک اسفناج ۲۱۲/۷ است.

Tariq and Mott (2006) بیان کردند که با افزایش غلظت بور در خاک نسبت کلسیم به بور کاهش یافت. Golakiya and Patel (1988) در یک خاک آهکی با پ‌هاش برابر ۷/۴ و میزان بور محلول در آب داغ برابر ۰/۶۶ نشان دادند که نسبت کلسیم به بور در بادام زمینی و غلاف آن با مصرف بور به طور معنی داری کاهش یافته‌است. آنان همچنین نسبت کلسیم به بور را به منظور حصول به عملکرد بهینه بین ۲۱۸ تا ۲۲۴ گزارش کردند. در تحقیق حاضر، نشانه‌های سمیت بور در برگ اسفناج در نسبت کلسیم به بور کمتر از ۱۷۰/۵ مشاهده شد.

جدول۵ - تأثیر بور و نیتروژن بر نسبت کلسیم به بور در اسفناج.

نیتروژن (میلی‌گرم در گیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم) ۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
۰	۱۷۸/۲	۱۵۲/۷	۱۱۷/۷	۵۲/۲۴	۴۱/۸۴	۳۷/۵۲	۹۶/۷
۷۵	۱۵۸/۳	۱۴۷/۹	۱۰۳/۲	۵۴/۳۲	۵۱/۶۸	۴۴/۹۱	۹۳/۳۸
۱۵۰	۱۶۶/۷	۱۴۸/۴	۹۳/۴۳	۷۶/۶۳	۵۶/۵۲	۴۷/۸۳	۹۸/۲۵
۳۰۰	۳۴۷/۶	۲۳۳/۰	۱۱۶/۳	۹۵/۲۹	۶۳/۰۵	۵۴/۶۶	۱۵۱/۶۵
میانگین	۲۱۲/۷	۱۷۰/۵	۱۰۷/۷	۶۹/۶۲	۵۳/۲۷	۴۶/۲۳	
LSD(0.05)							
N	۱/۲۶						
B	۱/۵۳						
N×B	۳/۱						

تاثیر بور و نیتروژن بر غلظت پرولین

تجمع پرولین می تواند یک پاسخ فیزیولوژیکی گیاهی به تنش های مختلف باشد(Eraslan et al., 2007). تجمع پرولین در بافتهای گیاهان در تحت شرایط تنش های مختلفی از جمله فشار اسمزی (Voetberg and Sharp, 1991) و سمیت یونها (Schat et al.,1997) گزارش شده است..Zhang et al (2000) نتیجه گرفتند که یک ارتباط مثبت بین تجمع پرولین و مقدار autoxidation بافت وجود دارد که در نتیجه تنش‌های مختلف مانند سمیت عناصر مقدار رادیکال آزاد افزایش می یابد و باعث تجمع پرولین در بافت گیاهی می شود و با افزایش فشار اسمزی در بافتهای گیاهی مقاومت گیاه را به تنش های مختلف افزایش می دهد.

نتایج حاصله نشان داد برهمکنش بور و نیتروژن اثر معنی داری بر غلظت پرولین در برگ تازه اسفناج داشت. با افزایش مصرف بور میانگین غلظت پرولین در گیاه افزایش یافت (جدول ۶). کاربرد بور تا سطح ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک، تأثیر معنی داری بر میزان پرولین نداشت اما با کاربرد سطوح بالاتر بور غلظت پرولین افزایش یافت. احتمالاً سطوح بالای بور سبب ایجاد تنش برای گیاه گردید و تجمع پرولین پاسخ فیزیولوژیکی گیاه به این تنش است (Ferran et al.,1987). Gunes et al. (۲۰۰۷) نشان دادند که تیمار بور غلظت پرولین را بطور معنی داری در اسفناج افزایش داد. Eraslan et al. (2007) اظهار کردند که میزان پرولین در اندام هوایی هویج با افزایش غلظت بور افزایش یافت.

مقایسه غلظت پرولین در سطوح مختلف نیتروژن حاکی از آن است که در هر سطح بور مصرف نیتروژن باعث افزایش غلظت این ماده شده است بطوریکه بیشترین غلظت پرولین (۱/۱۱ میکرومول در گرم برگ تازه) در اثر مصرف توام حداکثر سطوح بور و نیتروژن مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط Yoneyama(1978) در برنج گزارش شده است و احتمال دارد که مصرف نیتروژن با تامین نیتروژن مورد نیاز کافی برای گیاه جهت تشکیل پرولین، غلظت آن را در برگهای اسفناج افزایش

داده باشد.

Karabal et al. (2003) گزارش کردند که سمیت بور تأثیر معنی داری بر میزان پرولین دو رقم حساس و مقاوم جو نداشت و سمیت بور سبب افزایش فشار اسمزی نیز نگردید لذا افزایش پرو لین، پاسخی است که سلولهای گیاهی به افزایش اسمزی می دهند.

جدول ۶- تأثیر بور و نیتروژن بر غلظت پرولین در برگ تازه اسفناج (میکرو مول در گرم برگ تازه اسفناج).

نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم) ۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
۰	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۷	۰/۸۸	۱/۰۲	۰/۶۵
۷۵	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۶۶
۱۵۰	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۶۲	۰/۷۶	۰/۹۵	۱/۰۶	۰/۷۰
۳۰۰	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۹۸	۱/۱۱	۰/۷۴
میانگین	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۶۱	۰/۷۶	۰/۹۳	۱/۰۴	

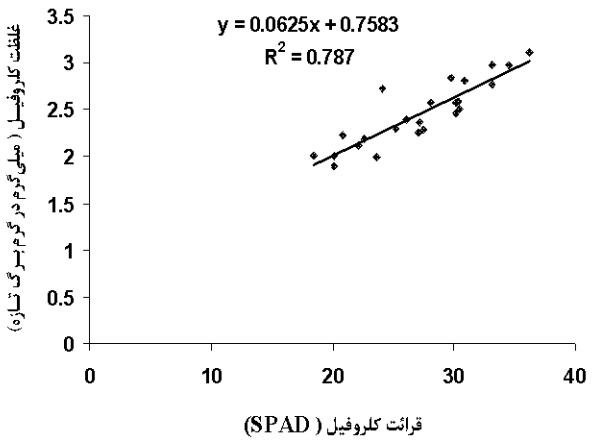
LSD(0.05)	
N	۰/۰۳
B	۰/۰۵
B×N	۱/۰۰

رابطه غلظت کلروفیل و قرائت کلروفیل متر

همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود تاثیر بور و نیتروژن بر غلظت کلروفیل در برگ تازه اسفناج در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. غلظت کلروفیل با مصرف بور بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بطوریکه حداقل میانگین غلظت کلروفیل در سطح ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک بدست آمده که برابر با ۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم برگ تازه اسفناج است (جدول ۷). غلظت بالای بور سبب آسیب کلروپلاست در سلول‌های مزوفیل برگ می‌شود و به این دلیل غلظت کلروفیل در نتیجه مصرف بور کاهش می‌یابد (Nable et al.,1997). Eraslan et al. (2007) گزارش دادند که سمیت بور سبب کاهش غلظت کلروفیل در اندام هوایی هویج گردید و این محققین احتمال دادند که یک رابطه آنتاگونیسمی ممکن است بین میزان کلروفیل و کاربرد بور وجود داشته باشد. Papadakis et al. (2004) مشاهده کردند که بور سبب کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل در برگ لیمو ترش شده است. کاهش غلظت کلروفیل با کاربرد بور توسط Kaya et al. (2009) در گوجه فرنگی نیز گزارش شده است. در سلول‌های برگ‌های سبز تا ۷۵ درصد کل نیتروژن آلی در درون کلروپلاست عمدتاً به صورت آنزیم قرار دارند. بنابراین، کمبود عناصر غذایی از جمله نیتروژن بطور مستقیم در ساختن پروتئین و کلروفیل دخالت دارد (Lunin et al.,1965).

در این پژوهش، کاربرد نیتروژن در هر سطح بور غلظت کلروفیل را افزایش داد (جدول ۷). افزایش نیتروژن با افزایش ساخت پروتئین و تشکیل کلروپلاست و اجزای کلروپلاست سبب افزایش غلظت کلروفیل می‌شود (Lunin et al.,1965). طوریکه بالاترین غلظت کلروفیل (۳/۱۱ میلی‌گرم در گرم برگ تازه) در غیاب بور و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک ($N_{300}B_0$) مشاهده شد. افزودن نیتروژن نه تنها به نحو موثری تاثیر سوء بور بر غلظت کلروفیل را از بین برده بلکه موجب تأثیر مثبت بر غلظت کلروفیل شده‌است.

رابطه بین قرائت کلروفیل و غلظت کلروفیل در برگ تازه اسفناج در شکل یک نشان داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود غلظت کلروفیل با قرائت کلروفیل‌متر همبستگی خوبی را نشان می‌دهد (r^2=0.79) و با افزایش قرائت کلروفیل‌متر غلظت کلروفیل نیز افزایش می‌یابد. Piekielek and Fox (1992) در یک آزمایش صحرایی نشان دادند که نیتروژن بر غلظت کلروفیل و اعداد خوانده شده توسط کلروفیل‌متر تأثیر مثبت دارد.



شکل ۱- رابطه بین قرائت کلروفیل‌متر دستی با غلظت کلروفیل در برگ تازه اسفناج

نتیجه گیری کلی

بطور کلی، تیمارهای دارای سطوح نسبتاً بالای بور، سبب کاهش چشمگیر عملکرد ماده خشک اسفناج گردید. کاهش عملکرد ماده خشک در غیاب نیتروژن شدیدتر بود و با کاربرد نیتروژن عملکرد بطور معنی داری افزایش یافت. در غیاب نیتروژن کاربرد ۴۰ میلی گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) وزن خشک اسفناج را حدود ۸۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (در سطح ۵ درصد). در حالیکه با مصرف ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک ($N_{300}B_{40}$) وزن خشک اسفناج حدود ۱۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. غلظت بور در گیاه با کاربرد بور افزایش و مصرف نیتروژن سبب کاهش غلظت بور می شود، پس نیتروژن در کاهش سمیت بور مفید می باشد. بدون مصرف نیتروژن، کاربرد ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک (N_0B_{40}) غلظت بور را ۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است ولی با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک ($N_{300}B_{40}$) غلظت بور را ۴/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد میانگین غلظت و جذب نیتروژن با کاربرد نیتروژن افزایش و با مصرف بور غلظت نیتروژن افزایش و جذب آن کاهش یافت. نیتروژن به نحو موثری از تاثیر سوء بور بر غلظت کلروفیل در برگ تازه گیاه جلوگیری کرد و سبب افزایش آن شد.

جدول ۷- تأثیر بور و نیتروژن بر غلظت کلروفیل (میلی گرم در گرم برگ تازه اسفناج).

نیتروژن (میلی‌گرم‌در کیلوگرم)	بور(میلی‌گرم در کیلوگرم) ۰	۲/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
۰	۲/۵۹	۲/۲۵	۲/۳۰	۲/۱۹	۱/۸۹	۲/۰۰	۲/۲۱
۷۵	۲/۸۳	۲/۵۱	۲/۷۳	۲/۲۸	۱/۹۹	۲/۰۱	۲/۳۹
۱۵۰	۲/۹۸	۲/۸۱	۲/۴۶	۲/۳۷	۲/۳۹	۲/۱۱	۲/۵۲
۳۰۰	۳/۱۱	۲/۹۸	۲/۷۶	۲/۵۸	۲/۵۷	۲/۲۳	۲/۷۱
میانگین	۲/۸۸	۲/۶۴	۲/۵۶	۲/۳۵	۲/۲۱	۲/۰۹	

	LSD(0.05)
N	۰/۰۸
B	۰/۱
B×N	۰/۲

نتایج نشان می دهند که کاربرد نیتروژن می تواند حساسیت اسفناج به سمیت بور را کاهش دهد. بنابراین در خاکهایی که احتمال سمیت این عنصر وجود دارد عملکرد اسفناج را با مصرف نیتروژن می توان افزایش داد. انجام تحقیقات بیشتری جهت فهم و درک بهتر از مکانیسم‌های افزایش تحمل گیاهان به مقدار زیاد بور در نواحی خشک بوسیله کودهای نیتروژن و همچنین بررسی تأثیر سایر منابع کودی بور و نیتروژن، ارقام مختلف گیاهی به ویژه در قالب آزمایش‌های صحرایی جهت تأیید نتایج این آزمایش و یافتن مقدار بهینه مصرف نیتروژن پیشنهاد می گردد.

REFERENCES

Ahmed, A. H. H. (1991). Physiological studies on the nitrogen and phosphorous deficiencies in spinach plants (*Spinacia oleracea L.*): Chemical composition, distribution, rate of production specific absorption, rate of different components. *Faculty of Agriculture, Cairo University, Bulletin* 42, 589-610.

Allison, L.E., and Moodie, C.D. (1965). Carbonite. p. 1379-1396. *In* C. A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, *American Society of Agronomy*, Madison, WI.

Alpaslan, M. and Gunes, A. (2001). Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant Soil*, 236,123–128.

Arnon, D. I. (1956). Photosynthesis by isolated chloroplast. IV. General concept and comparison of three photochemical reactions. *Biochemical Biophysiology Acta,* 20,440-461.

Bates, L. S., Walden, R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.

Biemond, H., Vos, J. and Struik, P. C. (1996). Effects of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen of vegetables. *Netherland Journal Agriculture Science,* 44, 227-239.

Bouyoucos, C. J. (1962). Hydrometer method

improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. p.1148-1158. *In:* C. A. Black *et al.* (eds.) Methods of soil analysis. *Part 2, American Society of Agronomy*, Mandison,WI.

Chapman, H. D. (1965). Cation exchange capacity. p. 891-901. In C. A. Black et al. (ed.) Method of soil analysis. Part 2, *American Society of Agronomy*, Madison, WI.

Chapman, H. D. and Vanselow, A. P.. (1955). Boron deficiency and excesss. *California Citrograph*, 40, 92-94.

Dible,W. T., Troug, E. and Berger, K. C. (1957). Boron determination in soils and plants. *Analytical Chemistry*, 26, 418-421.

Eaton, F. M. (1944). Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. *Journal of Agriculture Research*, 69, 237-277.

Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O. and Gunes, A. (2007). Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 114, 5–10.

Ferran, J., Bonvalet, A. and Casassas, E. (1987). New masking agents in the azomethine-H method for boron determination in plant tissues. *Agrochimica*, 32, 171.

Gulser, F. (2005). Effects of ammonium sulphate and urea on NO_3^- and NO_2^- accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. *Scientia Horticulturia*, 106, 330-340.

Golakiya, B. A. and Patel, M. S. (1988). Effect of Ca/B ratio on yield attributes and yield of groundnut. *Journal of Indian Society Soil Science*, 36, 287-290.

Gunes, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S. and Sahin, O. (2006). Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae,* 110, 279–284.

Gunes,A., Inal, A., Bagci, E. G., Coban, S. and Pilbeam, D. J. (2007). Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under boron toxicity. *Scienta Horticulturae,* 113 ,113–119

Gupta, U. C., Macleod, J. A. and Sterling, J. D. E. (1976). Effects of boron and nitrogen in grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. *Soil Science Society Amenican Journal*, 40, 723-726.

Gupta, U. C., Sterlinga, J. D. E. and Nass, H. G. (1973). Influence of various rates of compost and nitrogen on the boron toxicity symptoms in barley and wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 53, 451-456.

Gupta, U. C., Jame, Y. W., Campbell, C. A., Leyshon, A. J., and Nicholaichuk, W. (1985). Boron toxicity and deficiency: A review. *Canadian Journal of Soil Science,* 65, 381-409.

Havlin, J. L., Beaton. J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. (1999). *Soil fertility and fertilizer.* 6th (ed.)., Prentice-Hall, Inc. Upeer Saddle Rive, New Jersey. 499 p.

Jones, W. W., Embleton, T. W., Boswell, S. B., Steinacker, M. L., Lee, B. W. and Barnhart, E. L. (1963). Nitrogen control program for oranges with high sulfate and high boron. California Citrograph, 48, 128-129.

Karabal, E., Yucel, M. and Oktem. H. A. (2003). Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science,* 164, 925-933.

Kaya, C., A. L. Tuna, M. Dikilitas and M. Ashraf. (2009). Supplementary phosphorous can alleviate boron toxicity in tomato. *Scientia Horticulturae*, 121, 284–288.

Keren, R. and F. T. Bingham. (1985). Boron in water, soil, and plants. *Advanced Soil Science,* 1, 230-276.

Liu, P. and P. A. Yang. (2000). Effects of molybdenum and boron on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems of soybean leaves. *Acta Botanica Sininica,* 42, 461–466.

Lunin, M., M. H. Gallatin and A. R. Batchelder. (1965). Salinity fertility interaction in relation to the growth and composition of bean. I. Effect of N, P and K. II. Varying levels of N and P. *Agronomy Journal*, 59, 339-348.

Malakouti, M. J. and B. Motesharrezadeh. (1999). The role of boron on the yield and quality of agricultural products (Problems and solution). Ministry of Agriculture, Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran. 113 pp (In Farsi)

Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, London. p.195-267.

Nable, R. O., G. S. Banuelos and J. G. Paull. (1997). Boron toxicity. *Plant Soil,* 198, 181-198.

Nelyubova, G. L. and N. A. Mulha. (1972). Uptake of boron and nitrogen by sunflower as a function of their level in the medium. *Doklady Taskha.* 176, 145-148.

Nielsen, D. C. and A. D. Halvorson. (1991). Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal,* 83,1065–1070.

Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. (1954). Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U. S. Gover. Prin. Office, Washington, DC, U. S. A.

Papadakis, I. E., K. Dimassi, A. M. Bosabalidis, I. N. Therios, A. Patakas and A. Giannakoula. (2004). Boron toxicity in clementine mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science*, 166, 539-547.

Papadakis, I.E., K.N. Dimassi and I.N. Therios. (2003). Response of two citrus genotypes to six boron concentrations: concentration and distribution of nutrients, total absorption, and nutrient use efficiency, *Australian Journal of Agriculture Research,* 54, 571–580.

Piekielek, W. P. and R. H. E. Fox. (1992). Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirement for maize. *Agronomy Journal*, 3, 59-65.

Reid, R.J., J.E. Hayes, A. Post, J.C.R. Stangoulis and R.D. Graham. (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environment*, 25, 1405–1414.

Salinas, M. R., A. Carda, M. Romeo, F. G. Fernandez and M. Caro. (1985). Interactive effect of boron and nitrogen on pea plants. *Agrochemica*, 4,489-499.

Schat, H., S. S. Sharma and R. Vooijs. (1997). Heavy metal-induced accumulation of free proline in a metal-tolerant and a nontolerant ecotype of Silene vularis. *Plant Physiology*, 101, 477-482.

Sepaskhah, A. R. and Maftoun, M. (1994). Seeding growth and chemical composition of two pistachio cultivars as affected by boron and nitrogen application. *Journal of Plant Nutrition*,17, 155-171.

Sillanpaa, M. (1972). Trace elements in soils and agriculture. Food and agriculture organic.UN, Rome. *Soils Bulletin* No.17.

Sotiropoulos, T. E., I. N. Therios, and Dimassi, K. N. (1999). Calcium application as a means to improve tolerance of kiwifruit (Actinidia deliciosa L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 81, 443-449.

Solhi, M. (1998). *Soil Genesis, Morphology, Physicochemical Properties and Classification of Badjgah Soils (Fars Province).* M.Sc. Thesis, Soil Science Department, Shiraz University, Shiraz, Iran. 140 pp (in Farsi).

Takebe, M., T. Ishihara, K. Matsuna, J. Fojimoto and T. Yoneyama. (1995). Effect of nitrogen application on the content of sugars, ascorbic acid, nitrate and oxalic acid in spinach (Spinacia oleracea L.) and komatsuna (Nrasica compestris L.). Japanese *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 66, 38-246.

Tariq, M., and Mott, C. J. B.. (2006). Influence of applied calcium- boron ratio on the solubility of nutrient-elements in soil. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1:1-7.

Voetberg, G. S. and Sharp, R. E. (1991). Growth of the maize primary root at low water potentials. III. Role of increase proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiology*, 96, 1125-1130.

Walkley, A., and Black, T. A. (1934). An examination of the deligaref method for determination organic matter and a propose modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.

Yoneyama, T. (1978). Nitrogen nutrition and growth of the rice plant. 1. Nitrogen circulation and protein turnover in rice seedlings. *Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 237-245.

Zhang, F., Li., Wang, C., and Shen, Z. (2000). Effect of cadmium on autoxidation rate of tissue and inducing accumulation of free prolin in seedlings of mung bean. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 357-368.