

Research Article

Agricultural Engineering., 46(3) (2023) 309-325
DOI: 10.22055/AGEN.2023.43788.1668

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

The effect of activated carbon on micronutrient concentrations by summer crops under boron stress of irrigation water

M. Shahrokhi¹, S.Shafiei^{2*}, H. Shekofteh³ and Sh. Kouhestani⁴

1. M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Jiroft, Iran
2. Assistant Professor., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Jiroft, Iran
3. Associate Professor., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Jiroft, Iran
4. Assistant Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture University of Jiroft, Iran

Received: 14 June 2024 Accepted: 24 December 2023 *Corresponding Author: Saeid.Shafiei@ujiroft.ac.ir

Abstract

Introduction: The quality of irrigation water has an important effect on the growth and concentrations of nutrients. The application of boron-rich irrigation water is a global issue and the most important boron pollution source in the environment. Poor water quality unavoidably leads to decreased growth of plants. One of the problems of irrigation in tropical regions is the high concentration of boron element in water and its concentration in irrigation water increases every year. In dry areas where agriculture takes place, boron is often found in high concentrations along with saline soils and salty waters. Boron stress occurs widely and limits plant growth and crop productivity worldwide. Boron is in the form of boric acid in the soil solution and it is washed from the soil in heavy rains, but it is not washed enough when it rains, and by accumulating in the soil, it poisons the plant and prevents its growth. Therefore, in arid and semi-arid areas, irrigation with groundwater that has a high boron content reduces crop growth. Therefore, this experiment aimed to evaluate the effect of activated carbon on nutrient concentrations by tomatoes, cucumbers, and eggplants under the boron stress of irrigation water.

Materials and methods: To evaluate the effects of activated carbon on the concentrations and translocation of boron in the plant a factorial experiment with a completely randomized design and three replications was performed in the greenhouse conditions. Treatments included three plants (tomato, cucumber, and eggplant), three levels of boron concentration in irrigation water (0.03, 2.5, and 5 mg l⁻¹) from a boric acid source, and four levels of activated carbon (0, 1, 2, and 3% soil). To prepare seedlings, first, a sufficient number of healthy seeds were selected and for better germination, they were placed in wet napkins for one day and night. Then the seeds were planted in seedling trays with coco peat substrate. In this stage, watering was done once every two days until finally, after 30 days and when the seedlings reached the four-leaf stage and the true leaves appeared, the plants were ready to be transferred to the pots. For cultivation, each of the plastic pots was filled with 3 kg of sampled soil, which was mixed with a proportion of activated carbon according to the type of treatment. Then, in the middle of each pot, several seedlings of the same size were planted. Then the pots were placed in the greenhouse according to the plan.



The experiment was conducted with 36 experimental treatments in three replications and a total of 108 experimental units. The soil used was prepared with geographical coordinates (longitude 57° 37' and latitude 28° 42') and depth of 0-30 cm and was classified according to the American classification system Sand, mixed, hyperthermic typical Torriorthents. During the growing period, the plants were irrigated daily according to the farm capacity (FC). The day temperature of 25 – 30 °C, the night temperature of 15 – 20 °C, and the relative humidity was 50 – 70%.

Results and discussion: The results indicate that the main effects of boron and activated carbon levels had a significant effect ($p < 0.01$) on the concentration of iron, zinc, manganese, and copper in the aerial parts of the plant. With the amount of boron increased in the treatments, the amount of copper and iron in the aerial parts increased while the amount of manganese and zinc decreased. Regarding the effect of activated carbon, the results showed that by increasing the amount of activated carbon in the treatments, the amount of copper, manganese, and zinc decreased. In contrast, the amount of iron has increased. The highest concentration of iron in the aerial parts (219.6 mg kg^{-1}) belonged to the level of 3% of activated carbon. Also, with the increase in activated carbon in the treatments, concentrations and accumulation of boron in the aerial parts decreased. The highest concentration of boron in the aerial parts (31.77 mg kg^{-1}) was obtained in the cucumber and the level of 0% activated carbon, and the lowest concentration (5.75 mg kg^{-1}) was obtained in eggplant and the level of 3% activated carbon.

Conclusions: It is concluded that the use of activated carbon under boron stress conditions can reduce the concentrations and toxicity of boron in plants.

Keywords: *Nutrients, organic carbon, salinity, stress.*

اثر کربن فعال بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف توسط صیفی جات تحت تنش بور آب آبیاری

مسعود شاهرخی^۱، سعید شفیعی^{۲*}، حسین شکفته^۳ و شاپور کوهستانی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
 ۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
 ۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
 ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳	به منظور بررسی تأثیر کربن فعال بر توزیع مقدار بور در اندام‌های مختلف گیاهان تحت تنش آب آبیاری حاوی بور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت اجرا شد. تیمارها شامل ۳ نوع گیاه (خیار سبز، گوجه‌فرنگی و بادمجان)، ۳ سطح غلظت بور در آب آبیاری (۰/۰۳، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع اسید بوریک و ۴ سطح کربن فعال (صفر، ۱، ۲ و ۳ درصد خاک) بودند؛ بنابراین این آزمایش ۳۶ تیمار داشت که با لحاظ نمودن ۳ تکرار در مجموع ۱۰۸ واحد آزمایشی وجود داشت. گیاهان به مدت ۶۰ روز تحت تیمارها قرار گرفتند و پس سپری شدن زمان مذکور گیاهان برداشت و بعد از آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده در آن‌ها غلظت فلزات (بور، آهن، روی، مس و منگنز) اندازه‌گیری گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش غلظت بور در تیمارها، غلظت عناصر مس (۱۴/۷۶ درصد) و آهن (۴/۴۵ درصد) در اندام هوایی گیاهان افزایش ولی غلظت عناصر منگنز (۹/۷۲ درصد) و روی (۴۷/۰۲ درصد) کاهش یافت. در مورد اثر کربن فعال نیز نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار کربن فعال در تیمارها غلظت عنصر روی (۶۳/۴۱ درصد) در اندام هوایی گیاهان کاهش و در مقابل مقدار آهن (۱۲/۲۱ درصد) افزایش داشت. با افزودن کربن فعال، به دلیل تخلخل، سطح ویژه زیاد و اثر گروه‌های عاملی، بور موجود آب آبیاری به دلیل جذب توسط کربن فعال، کاهش یافته و در نتیجه مقدار جذب و انباشت بور در اندام هوایی گیاهان کاهش یافت. استفاده از ۲ درصد کربن فعال می‌تواند اثر مسمومیت بور آب آبیاری را تا حد قابل قبولی کاهش دهد.
کلمات کلیدی: تنش، شوری، کربن آلی، عناصر غذایی	
* عهده‌دار مکاتبات Email: Saeid.Shafiei@ujiroft.ac.ir	

مقدمه

فعالیت‌های انسانی همیشه منجر به ایجاد تغییراتی در محیط‌زیست شده، ولی در دهه‌های اخیر تأثیر این فعالیت‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (۴۳). فشارهای حاصل از رشد جمعیت، رشد کنترل نشده شهرنشینی، گسترش صنعت و پیشرفت علوم و تکنولوژی سبب افزایش سرعت تغییرات زیست‌محیطی شده است. این عوامل علاوه بر ایجاد مشکلاتی در محل یا اجتماع خاص، بر جمعیت سراسر دنیا، اعم از کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت نیز اثر گذاشته است (۳۳). در دهه اخیر اهمیت آب در توسعه زندگی بشر به‌ویژه در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب شیرین روبه‌رو هستند، بیشتر درک می‌شود (۲).

یکی از مشکلات آبیاری در مناطق گرمسیری، غلظت بالای عنصر بور در آب است و هر ساله غلظت آن در آب آبیاری افزایش می‌یابد (۴۵). در مناطق خشکی که کشاورزی صورت می‌گیرد، بور اغلب در غلظت‌های بالا همراه با خاک‌های شور و آب‌های شور به وفور یافت می‌شود (۳۵). بور در محلول خاک به‌صورت اسید بوریک بوده و در شرایط بارندگی زیاد از خاک شسته می‌شود اما در زمان بارش کم به قدر کافی شسته نشده و با تجمع در خاک سبب مسمومیت گیاه شده و مانع رشد آن می‌شود. از این رو در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری با آب زیرزمینی که میزان بور بالایی دارند رشد محصول را کاهش می‌دهد (۲۹).

در پژوهشی که در مورد غلظت بور در آب، خاک و گیاه در مناطق پسته‌کاری ایران که آب‌وهوای گرم و خشک دارند، انجام شد، نتایج نشان داد که مقادیر میانگین غلظت بور در آب آبیاری مناطق پسته‌کاری رفسنجان، زرنند، سیرجان، کرمان، خراسان، سمنان، قزوین و یزد به ترتیب ۴/۱، ۱/۲، ۲/۵، ۲، ۱/۸، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۱ میلی‌گرم در لیتر است که نشان دهنده غلظت بالای بور در آب آبیاری است (۲۲). سمیت بور یک عارضه بسیار مهم بوده که می‌تواند رشد گیاهان را در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک محدود نماید.

روش‌های مختلفی برای کاهش سمیت بور پیشنهاد شده است. در سال‌های اخیر تلاش برای استفاده از جاذب‌های طبیعی و ارزان قیمت با کارایی بالا مثل خاک اره، چوب، کاه، پوست نارگیل، گردو، فندق، هسته‌های هلو، خرما و غیره بوده است (۸). کربن فعال یکی از موادی است که به‌عنوان اصلاح‌کننده آب از نظر یون‌های سمی و عناصر سنگین و همچنین بور مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). کربن فعال یک ماده متخلخل است که معمولاً به‌عنوان جاذب در صنایع مختلف استفاده می‌شود (۱۰). این ترکیب به دلیل مساحت داخلی قابل توجه، ساختار پوک و منفذی، ظرفیت جذب بالا، قابلیت فعال‌سازی مجدد، سطح سیستیک جذب سریع و همچنین پایداری شیمیایی خوب در مقایسه با جاذب‌های غیر آلی دیگر مانند زئولیت، ماده‌ی منحصر به فردی می‌باشد (۱۸). این ماده، در حقیقت شکل غیر گرافیتی کربن با فضاهای داخلی متخلخل و میکرو کریستالی است (۱۰). در مطالعه‌ای که بر روی جذب بور در محیط‌های آبی به‌وسیله کربن فعال آغشته شده با اسید سالیسیلیک و نانو ذرات تنگستن انجام شد نتایج نشان داد که راندمان حذف بور با افزایش مقدار جاذب، دما و pH افزایش می‌یابد و باعث کاهش غلظت اولیه بور می‌شود. با افزایش ضخامت اسید سالیسیلیک بر روی کربن فعال تا ۰/۰۸۸ نانومتر، بازده جذب بور افزایش می‌یابد (۳۴).

ابوسودو و همکاران^۱ (۱) بیان کردند که کربن فعال با دارا بودن سطح ویژه بسیار زیاد و حجم زیاد منافذ ریزودرشت با سطوح داخلی بسیار (میکروپورها و ماکروپورها)، ظرفیت و راندمان بالایی برای جذب بسیاری از عناصر آلاینده، فلزات سنگین و مخصوصاً بور دارد (۱). میورا و همکاران^۲ (۲۸) در تحقیقی کارایی زغال چوب را برای حذف مواد آلی، مواد مغذی و فلزات سنگین از زهکش‌های کشاورزی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زغال چوب می‌تواند در تصفیه زه‌آب‌های مزرعه مورد استفاده قرار گیرد (۲۸).

با توجه به ضرورت وجود بور در بخش کشاورزی و اثرات سمیت آن و همچنین اهمیت موضوع فراهمی عناصر غذایی

1- Abussaud et al.

2- Miura et al.

خاک شامل چگالی ظاهری خاک (۱۹)، رطوبت ظرفیت مزرعه^۱ (۱۳)، واکنش خاک^۲ (۴۰)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک^۳ (۴۰)، کربن آلی خاک (۳۰)، پتاسیم قابل جذب (۴۰)، کلسیم و منیزیم، نیتروژن (۴۰)، فسفر قابل جذب (۳۱)، آهن، روی، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA اندازه گیری شد (۲۱) (جدول ۱).

اندازه‌گیری بور خاک

برای اندازه‌گیری بور خاک از روش آزومتین-H استفاده گردید. در این روش ابتدا یک میلی‌لیتر از نمونه عصاره و هر کدام از سری استانداردها در لوله پلاستیکی ریخته شد و دو میلی‌لیتر محلول بافر و سپس دو میلی‌لیتر آزومتین-H به آن اضافه شده و کاملاً مخلوط گردید. بعد از ۳۰ دقیقه غلظت بور با دستگاه اسپکتروفومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر، قرائت شد. نمونه شاهد نیز با همین روال آماده‌سازی و قرائت گردید (۴۸).

آماده‌سازی نشاءها، بستر کشت و کشت گلخانه‌ای

ارقام مورد استفاده در این پژوهش شامل گوجه‌فرنگی رقم فالکاتو^۴، بادمجان رقم بلن^۵ و خیار رقم کاترینا^۶ بودند. برای تهیه نشاء ابتدا به تعداد کافی از بذرها سالم و هم اندازه انتخاب شده و به منظور جوانه‌زنی بهتر به مدت یک شبانه‌روز در دستمال مرطوب و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس بذر ها در سینی نشاءهای با بستر کوکوپیت کشت شدند. در این مرحله آبیاری هر دو روز یک‌بار انجام شد تا در نهایت پس از گذشت ۳۰ روز و با رسیدن نشاءها به مرحله چهار برگی و ظهور برگ‌های حقیقی، گیاهان آماده انتقال به گلدان‌ها شدند. هر کدام از گلدان‌ها با ۳ کیلوگرم از خاک نمونه‌برداری شده که با توجه به نوع تیمار با نسبتی از کربن فعال مخلوط شده، پر شدند. کربن فعال از بازار داخل ایران و شرکت مرک خریداری گردید که مشخصات آن در جدول ۲ ذکر شده است. سپس در وسط هر

برای گیاهان و تولید محصولات غنی از نظر عناصر غذایی، این تحقیق با اهداف زیر انجام شد:

- بررسی تأثیر کربن فعال بر غلظت عناصر غذایی در گیاهان خیار سبز، گوجه‌فرنگی و بادمجان
- ارزیابی کاربرد کربن فعال بر افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاه و در شرایط سمیت بور در آب آبیاری و رفع تنش حاصل از سمیت بور آب آبیاری

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کربن فعال بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه تحت تنش آب آبیاری حاوی بور، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. تیمارها شامل سه نوع گیاه (خیار سبز، گوجه‌فرنگی و بادمجان)، سه سطح غلظت بور در آب آبیاری (۰/۰۳، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع اسید بوریک و چهار سطح کربن فعال (صفر، ۱، ۲ و ۳ درصد خاک) بودند؛ بنابراین در مجموع ۳۶ تیمار و با لحاظ نمودن سه تکرار ۱۰۸ واحد آزمایشی (گلدان) وجود داشت.

نمونه‌برداری خاک

به‌منظور یافتن خاکی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مناسب، ابتدا از پنج نقطه مختلف در مزارع کشاورزی دانشگاه جیرفت، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد. پس از هوا خشک کردن و عبور دادن از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۱) و در نهایت خاکی که از لحاظ ویژگی‌های فوق برای انجام تحقیق مناسب‌تر بوده و ویژگی‌هایی نزدیک به ویژگی‌های بهینه برای کشت گیاهان مورد بررسی را داشت، انتخاب گردید (غلظت عناصر غذایی مورد نیاز توسط محلول هوگلدن تامین شد). خاک مورد استفاده بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی Sand, mixed, hyperthermic typic Torriorthents طبقه‌بندی شد.

تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

به‌منظور تعیین میزان هر عنصر برای کود دهی در سطح بهینه و ویژگی‌های فیزیکی خاک برای آبیاری، ویژگی‌های اولیه

1- Field Capacity (FC)
2- potential of hydrogen (pH)
3- Electrical Conductivity (EC)
4- Falcato
5- Belen
6- Katrina

اندازه‌گیری برخی از عناصر ضروری کم‌مصرف (آهن، روی، مس، منگنز)

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی از روش خاکستر خشک استفاده شد. برای این کار ابتدا یک گرم از نمونه آسیاب شده اندام هوایی با ترازوی ۰/۰۰۱ وزن شده و داخل کروزه ریخته شد. سپس کروزه به مدت ۶ ساعت در دمای ۴۸۰ الی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار داده شد. پس از خارج کردن کروزه‌ها از کوره و سرد شدن آن‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به آن اضافه شد و به مدت پنج الی ۱۰ دقیقه بر روی هیتز حرارت داده شد و سپس نمونه هضم شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ در داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری صاف شده و به حجم رسانده شد. غلظت عناصر کم‌مصرف در این عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 قرائت گردید (۴۷).

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: آنالیز داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گردید. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی تیمارها با روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. سپس رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

گلدان یک عدد از نشاءهای هم اندازه کشت شد. گلدان‌ها طبق نقشه طرح در گلخانه قرار داده شدند.

نحوه اجرای آزمایش

پس از استقرار بوته‌ها تنش بور با استفاده از اسید بوریک (H_3BO_3) از طریق آب آبیاری اعمال گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که هر سه روز یک‌بار غلظت‌های مورد نظر در مخازن جداگانه در محلول هوگلند (جدول ۴) تنظیم شده و به تیمارهای مربوطه در آب آبیاری اعمال گردید. رطوبت خاک گلدان‌ها هر نوبت آبیاری به صورتی بود که ۲۵ درصد مازاد بر رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری انجام می‌گردید. در طول دوره رشد دمای محیط گلخانه در طول روز حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در طول شب حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و تهویه نیز با استفاده از سیستم تهویه‌ای انجام شد. گیاهان ۶۰ روز بعد از کشت برداشت شده و ویژگی‌های تغذیه‌ای آن‌ها شامل غلظت برخی عناصر از جمله بور، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد.

تعیین غلظت برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه

بور
غلظت بور در اندام هوایی گیاهان نیز با روش آزومتین-H و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۴۸).

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش

Table(1) The physical and chemical properties of the soil used in this study										
بور	مس	روی	آهن	منگنز	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	شوری	اسیدیته	بافت خاک
B	Cu	Zn	Fe	Mn	K	P	OC	EC	pH	Soil Texture
میلی‌گرم بر کیلوگرم mg Kg ⁻¹							درصد	دسی‌زیمنس بر متر		
							%	dS m ⁻¹		
0.01	0.35	0.06	2	1.7	250	3	0.14	0.74	7.7	شنی لومی Loamy Sand

جدول (۲) ویژگی‌های کربن فعال

Table(2) Characteristics of activated carbon

انحلال‌پذیری	فشار بخار	دانسیته	نقطه ذوب	شکل و حالت فیزیکی
Solubility	Vapor pressure	Density	Melting point	Physical form
نامحلول در آب Insoluble in water	<0.1 mmHg (20 °C)	~1.7 g/mL at 25 °C (lit)	<3500 °C	پودر سیاه black powder

جدول (۳) ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

Table(3) The chemical properties of the Irrigation water

بور	کلر	سدیم	بی‌کربنات	کربنات	منیزیم	کلسیم	شوری	اسیدیته	نوع آب
B	Cl	Na	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	Mg	Ca	EC	pH	Type of water
میلی گرم بر کیلوگرم mg Kg ⁻¹							میکروزیمنس بر متر μS m ⁻¹		
0.03	5	40.6	35	0	17.25	19.65	777	7.68	شهری Urban

جدول (۴) ترکیبات محلول غذایی هوگلند

Table(4) Components of Hoagland nutrient solution.

ترکیبات	غلظت	غلظت در محلول غذایی
Components	Concentration	Concentration of nutrient solution
MgSO ₄ .7H ₂ O	سولفات منیزیم 1 مولار (M)	2 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	نترات کلسیم 1 مولار (M)	4 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
KH ₂ PO ₄	مونو پتاسیم فسفات 1 مولار (M)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
KNO ₃	نترات پتاسیم 1 مولار (M)	6 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
Fe-DTPA	کلات آهن -	50 میلی گرم بر لیتر (mg L ⁻¹)
H ₃ BO ₃	اسید بوریک 2.86 گرم بر لیتر (g L ⁻¹)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
MnCl ₂ .4H ₂ O	کلرید منگنز 1.81 گرم بر لیتر (g L ⁻¹)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
ZnSO ₄ .7H ₂ O	سولفات روی 0.22 گرم بر لیتر (g L ⁻¹)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
CuSO ₄ .5H ₂ O	سولفات مس 0.008 گرم بر لیتر (g L ⁻¹)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)
H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	مولیدات 0.02 گرم بر لیتر (g L ⁻¹)	1 میلی لیتر بر لیتر (ml L ⁻¹)

نتایج و بحث

غلظت آهن و روی اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای بور و کربن فعال بر غلظت آهن و روی اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد ($p < 0/01$) معنی‌دار بود؛ اما اثر اصلی نوع گیاه بر غلظت آهن اندام هوایی و اثرات متقابل تیمارها بر غلظت آهن و روی اندام هوایی معنی‌دار ($p < 0/01$) نشد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش کربن فعال در تیمارها، غلظت آهن اندام هوایی گیاهان را افزایش و غلظت روی اندام هوایی را کاهش داد. به طوری که بیشترین غلظت آهن اندام هوایی (۲۱۹/۶ میلی گرم در کیلوگرم) در سطح ۳ درصد کربن فعال و کمترین مقدار آن (۱۹۵/۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار صفر درصد کربن فعال

مشاهده شد. با این حال بیشترین غلظت روی اندام هوایی در تیمار صفر درصد کربن فعال (۸۲ میلی گرم در کیلوگرم) و کمترین مقدار آن (۳۰ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار ۳ درصد کربن فعال به دست آمد (شکل ۱). سلطان و همکاران^۱ (۴۱) گزارش کردند که افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی مانند آهن در اثر کاربرد کربن فعال می‌تواند به دلیل کاهش pH خاک باشد. زغال یک ماده آلی دارای سطح ویژه زیاد و بسیار متخلخل است و هنگامی که به خاک اضافه شود، موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت جذب سطحی و اشباع بازی خاک می‌شود. در نتیجه با توجه به شرایط خاک و اقلیم

تیمار صفر بور (به ترتیب ۹/۳۳ و ۸/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم) به دست آمد که تفاوت معنی داری با تیمار ۲/۵ میلی گرم بور در لیتر نداشتند (شکل ۳). علی و همکاران^۲ (۳) تأثیر بور خاک بر کارایی عناصر غذایی در برگ تنباکو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش غلظت بور، نسبت منگنز به آهن کاهش یافت در حالی که غلظت روی به مس در غلظت‌های پایین بور افزایش و در غلظت‌های بالای بور کاهش یافت. رقابت یونی و سمیت بور از دلایل کاهش غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی و برگ گیاه می‌باشد (۱۶). همچنین سمیت بور با تأثیر بر سلول‌های ریشه باعث اختلال در فرآیندهای جذبی گیاه می‌شود (۴). تریق و موت (۴۲) گزارش نمودند که افزایش سطوح بور باعث کاهش منگنز برگ گیاه گوجه‌فرنگی گردید. تریق و موت (۴۲) افزایش غلظت روی و مس و کاهش غلظت آهن، منگنز و مولیدن را در گیاه ترپچه با افزایش غلظت بور محلول غذایی گزارش کردند. همچنین برگ‌های تنباکو رشد یافته در محیط رشد زغال‌سنگ نارس، افزایش غلظت منگنز و آهن و کاهش غلظت مس و روی را به‌عنوان تابعی از غلظت بور در آب آبیاری نشان دادند.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع گیاه × کربن فعال بر غلظت منگنز و مس اندام هوایی نشان داد که در هر سه نوع گیاه گوجه‌فرنگی، خیار سبز و بادمجان با افزایش سطح کربن فعال، غلظت عناصر غذایی منگنز و مس در اندام هوایی کاهش یافت. به طوری که بیشترین غلظت این عناصر (به ترتیب ۱۷۸/۲۳ و ۱۷/۷۷ میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه بادمجان و تیمار صفر درصد کربن فعال، کمترین غلظت منگنز (۸۸/۶ میلی گرم در کیلوگرم) از گیاه گوجه‌فرنگی و تیمار ۳ درصد کربن فعال و کمترین غلظت مس (۵/۸۱ میلی گرم در کیلوگرم) از گیاه خیار سبز و تیمار ۳ درصد کربن فعال به دست آمد (شکل ۴).

می‌تواند اثرات متفاوتی بر جذب عناصر غذایی از خاک داشته باشد (۲۶ و ۴۶).

مقایسه میانگین‌های اثر سطوح بور بر غلظت آهن اندام هوایی نشان داد که بیشترین غلظت آهن (۲۱۱ میلی گرم در کیلوگرم) در سطح ۵ میلی گرم بور در لیتر و کمترین مقدار آن (۲۰۲ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار صفر بور به دست آمد. همچنین بیشترین غلظت روی اندام هوایی (۶۳/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار ۲/۵ میلی گرم بور در لیتر و کمترین مقدار آن (۴۳ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار صفر بور مشاهده شد که با تیمار ۵ میلی گرم بور در لیتر تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۲). تارق و مات (۴۲) در تحقیقی با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف بور بر غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه ترب نشان دادند که با افزایش سطوح بور از صفر تا پنج میلی گرم در لیتر، غلظت عناصر مس و روی برگ افزایش معنی داری داشت ولی غلظت آهن، منگنز و مولیدن کاهش یافت.

در آزمایش انجام شده توسط دورسون و همکاران^۱ (۱۵) بر روی میوه گوجه‌فرنگی نتایج مطالعه نشان داد که کاربرد بور ممکن است باعث افزایش میزان روی در میوه گوجه‌فرنگی شود.

غلظت منگنز و مس اندام هوایی

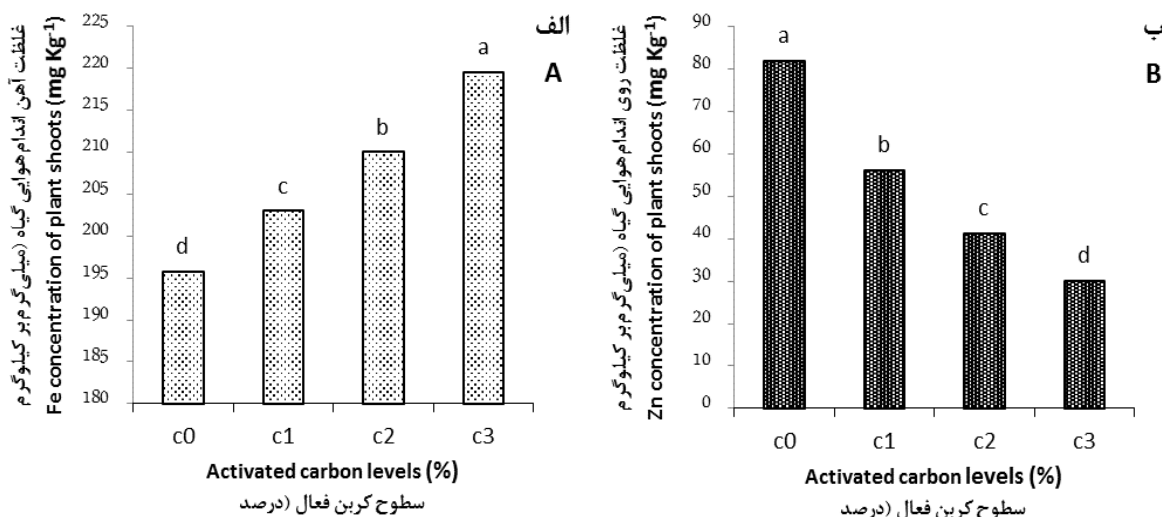
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نوع گیاه، سطوح بور و کربن فعال و نیز اثر متقابل نوع گیاه × کربن فعال بر غلظت منگنز و مس اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد ($p < 0/01$) معنی دار بود (جدول ۵). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، افزایش غلظت بور در آب آبیاری سبب کاهش غلظت منگنز و افزایش غلظت مس اندام هوایی گردید. به طوری که بیشترین غلظت منگنز اندام هوایی (۱۲۹/۴۷ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار صفر بور مشاهده شد که تفاوت معنی داری از نظر آماری با تیمار ۲/۵ میلی گرم بور در لیتر نداشت. همچنین بیشترین و کمترین غلظت مس اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای ۵ میلی گرم بور در لیتر و

جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع گیاه، سطوح بور و کربن فعال بر غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه
 Table(5) The results of analysis of variance of the effect of plant species, boron and activated carbon levels on the concentration of elements in the Shoot plant

میانگین مربعات					درجه	منابع تغییرات
بور	مس	منگنز	روی	آهن	آزادی	S.O.V
B	Cu	Mn	Zn	Fe	df	
1403.86**	53.23**	18055.5**	7020.3**	139.28 ^{ns}	2	گیاه (Plant)
5216.78**	12.93**	1195.9**	3727.3**	597.76**	2	بور (Boron)
941.84**	296.71**	11381.51**	13646.2**	2898.6**	3	کربن فعال (Activated carbon)
306.39**	1.55 ^{ns}	7.32 ^{ns}	701.2 ^{ns}	89.04 ^{ns}	4	گیاه × بور (Boron×Plant)
41.26*	28.93*	510.46*	421.6 ^{ns}	63.12 ^{ns}	6	گیاه × کربن فعال (Activated carbon×Plant)
136.25**	2.38 ^{ns}	310.45 ^{ns}	223.83 ^{ns}	76.11 ^{ns}	6	کربن فعال × بور (carbon Boron×Activated)
23.088 ^{ns}	1.61 ^{ns}	122.72 ^{ns}	198.64 ^{ns}	37.52 ^{ns}	12	کربن فعال × گیاه × بور (Boron× Plant ×Activated carbon)
1147.5	1.7	202.51	372.05	95.31	72	خطا (Error)
23.95	15.30	11.35	16.82	4.71		CV (%)

** و * به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی دار و ^{ns} اختلاف معنی دار نیست.

** and *: significant at $p \leq 0.01$ and significant at $p \leq 0.05$ and ^{ns}: non-significant.

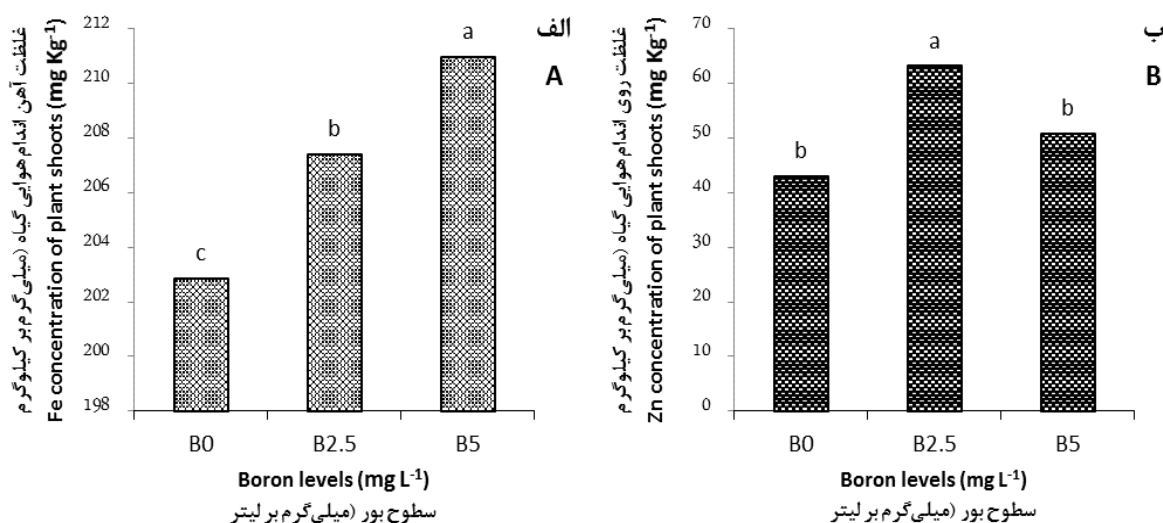


شکل (۱) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح کربن فعال بر غلظت آهن (الف) و روی اندام هوایی گیاهان (ب).
 Figure(1) The comparing the means of the interaction effects of activated carbon levels on Fe (A) and Zn concentration of plant shoots (B).

(سطوح کربن فعال: C₀=0، C₁=۱، C₂=۲، C₃=3 درصد) (Activated carbon levels: C₀=0; C₁=1; C₂=2; C₃=3%)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).

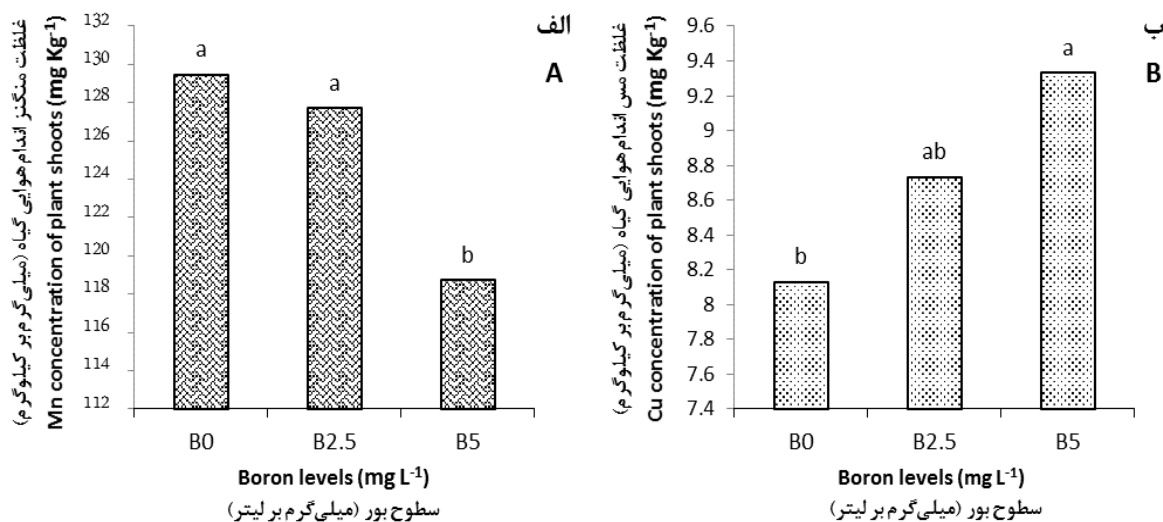


شکل (۲) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح بور بر غلظت آهن (الف) و روی (ب) اندام هوایی گیاهان.
Figure(2) The comparing the means of the interaction effects of boron levels on Fe (A) and Zn (B) concentration of plant shoots.

(Boron levels; B₀=0; B_{2.5}=2.5; B₅=5 mg L⁻¹) (B₅=۵، B_{2.5}=۲/۵، صفر =B₀)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).



شکل (۳) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح بور بر غلظت منگنز (الف) و مس (ب) اندام هوایی گیاهان.
Figure(3) The comparing the means of the interaction effects of boron levels on Mn (A) and Cu (B) concentration of plant shoots.

(Boron levels; B₀=0; B_{2.5}=2.5; B₅=5 mg L⁻¹) (B₅=۵، B_{2.5}=۲/۵، صفر =B₀)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).

تقسیم سلولی و رشد ریشه، رسوب لیگنین و سوپرین، کاهش خروج پروتون از ریشه، افزایش نشت غشاء پلاسمایی، تغییر فعالیت مسیرهای آنتی اکسیدانی و تنش اکسیداسیونی همراه می-باشد (۱۵). بازدارندگی رشد ریشه و تأثیر منفی آن بر رشد (۳۵) و کاهش جذب آب و مواد غذایی یکی از دلایل اصلی کاهش رشد در اثر افزایش سطوح بور می باشد (۱۴). تحقیقات نشان داد که در گیاه زیتون نیز در همه‌ی قسمت‌های گیاه از جمله برگ، ساقه و ریشه با افزایش سطوح بور، غلظت بور در گیاه بالا می‌رود (۱۲). محققان با بررسی تأثیر سطوح مختلف بور در گیاه ترب دریافتند که با افزایش سطوح بور از صفر تا پنج میلی‌گرم در لیتر، مقدار بور در برگ افزایش معنی‌داری یافت (۴۲). در تحقیقات مشابه با افزایش سطوح بور در محلول غذایی، غلظت بور در اندام‌های گیاه افزایش یافت (۳۶).

با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت با افزایش غلظت بور در آب آبیاری، غلظت بور در اندام هوایی افزایش یافته است. با این حال افزایش سطوح کربن فعال سبب کاهش معنی‌دار جذب و انباشت بور در اندام هوایی گیاهان شده است. به طوری که کمترین غلظت بور اندام هوایی (۲/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار صفر بور و ۳ درصد کربن فعال و بیشترین غلظت آن (۳۷/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار ۵ میلی‌گرم بور در لیتر و صفر درصد کربن فعال به دست آمد (شکل ۷).

محققان با مطالعه میزان بور در ۲۱ نمونه خاک نتیجه گرفتند که مقدار جذب بور همبستگی مثبت با مواد آلی خاک داشته است (۶). استفاده از مواد آلی در خاک میزان جذب بور را افزایش و انتقال بور به وسیله گیاه را کاهش داد (۲۷ و ۳۹). به طوری کلی با افزایش میزان مواد آلی، تعداد سطوح دارای قابلیت پیوند و واکنش افزایش یافته و مقدار جذب بور افزایش می‌یابد (۲۵). در تحقیقات انجام شده روی گیاه آفتابگردان گزارش شد که استفاده از مواد آلی باعث کاهش معنی‌دار عناصر سنگین از جمله بور در اندام هوایی گیاه شده است (حجازی زاده و همکاران^۲، ۱۳۹۵). در تحقیق دیگری که از کربن فعال به عنوان جاذب برای حذف بور استفاده کردند مشخص شد ظرفیت

مواد آلی ظرفیت جذب و راندمان بالایی برای جذب بور، مس، روی و غیره دارند (۷). این موضوع می‌تواند دلیلی برای کاهش مقدار این عناصر در گیاه باشد. در بررسی انجام شده توسط سپیر و همکاران^۱ (۳۷) بر روی تأثیر کربن فعال در میزان قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک مشخص شد که کربن فعال باعث کاهش دسترسی منگنز خاک نسبت به تیمار شاهد (بدون کربن فعال) شده است. کاهش دسترسی منگنز و کاهش جذب آن توسط گیاه در حضور کربن فعال می‌تواند در اثر تفاوت در pH ایجاد شده توسط کربن فعال و محتوای ماده آلی خاک باشد (۱۱).

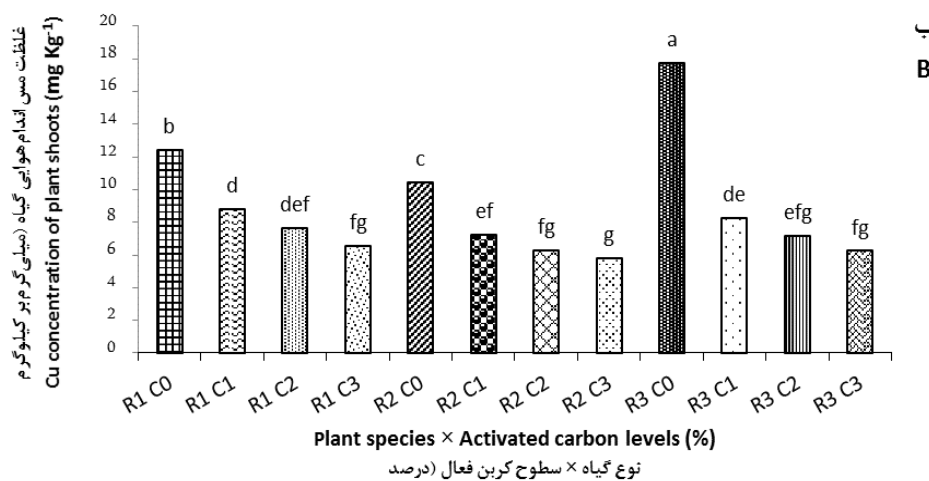
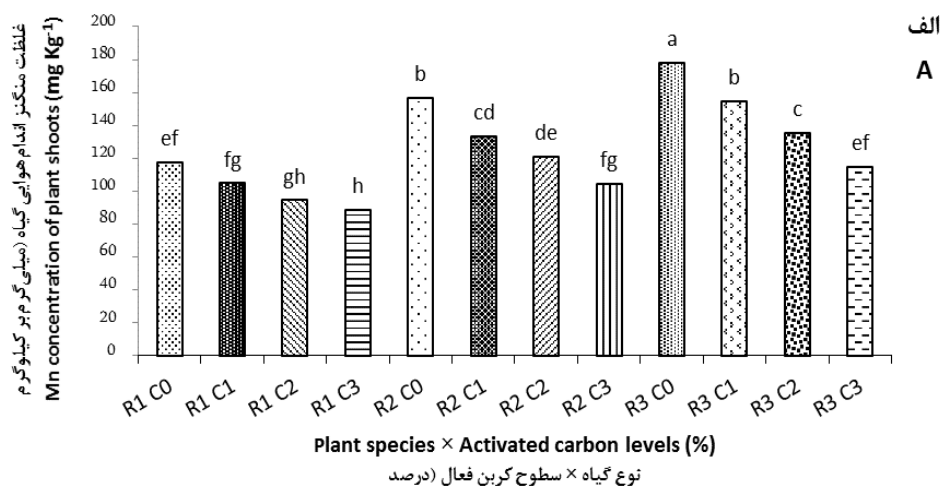
غلظت بور اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی نوع گیاه، سطوح بور و کربن فعال، اثرات متقابل نوع گیاه×سطوح بور و سطوح بور×کربن فعال بر غلظت بور اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد ($p<0/01$) و اثر متقابل نوع گیاه×کربن فعال در سطح احتمال پنج درصد ($p<0/05$) معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل سه‌گانه نوع گیاه×سطوح بور×کربن فعال بر غلظت بور اندام هوایی معنی‌دار ($p<0/01$) نشد (جدول ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در هر سه نوع گیاه مورد بررسی با افزایش غلظت کربن فعال، غلظت بور در اندام هوایی گیاه کاهش یافت. بیشترین غلظت بور اندام هوایی (۳۱/۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) در گیاه خیار سبز و تیمار صفر درصد کربن فعال و کمترین غلظت آن (۵/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در گیاه بادمجان و تیمار ۳ درصد کربن فعال به دست آمد (شکل ۵).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع گیاه×سطوح بور بر غلظت بور اندام هوایی نیز نشان داد که بیشترین مقدار بور (۳۷/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) از گیاه خیار سبز و تیمار ۵ میلی‌گرم بور در لیتر به دست آمد و گیاه گوجه‌فرنگی با تیمار ۵ میلی‌گرم بور در لیتر در مقام دوم قرار گرفت (شکل ۶). در هر سه نوع گیاه کمترین غلظت بور اندام هوایی از سطح صفر بور به دست آمد. مقادیر بیش از حد بور با اثرات فیزیولوژیکی منفی نظیر کاهش

کربن فعال باعث کاهش pH محلول شده و جذب عناصر بور و استرانسیم با افزایش دما کاهش یافته است. در تحقیق دیگری که بر روی جذب بور و آهن به وسیله کربن فعال از شیرابه‌های آلوده انجام دادند مشخص شد که کربن فعال توانست به ترتیب ۹۵ و ۹۳ درصد از بور و آهن را از فاز مایع جذب خود کند (۱۷).

جذب کربن فعال (۰/۴۲ میلی گرم در گرم) نسبت به بقیه جاذب‌ها بیشتر بوده است. ظرفیت جذب کربن فعال به دو عامل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن وابسته می‌باشد (۴۴). ساختار شیمیایی سطحی و گروه‌های عاملی نقش مهمی در تعیین اندازه جز جذب شونده از فاز مایع دارند (۲۴). شانب (۳۸) گزارش کرد که کربن فعال می‌تواند مقدار زیادی از بور و استرانسیم موجود در آب دریا را جذب خود نماید. هم‌چنین بیان کرد که



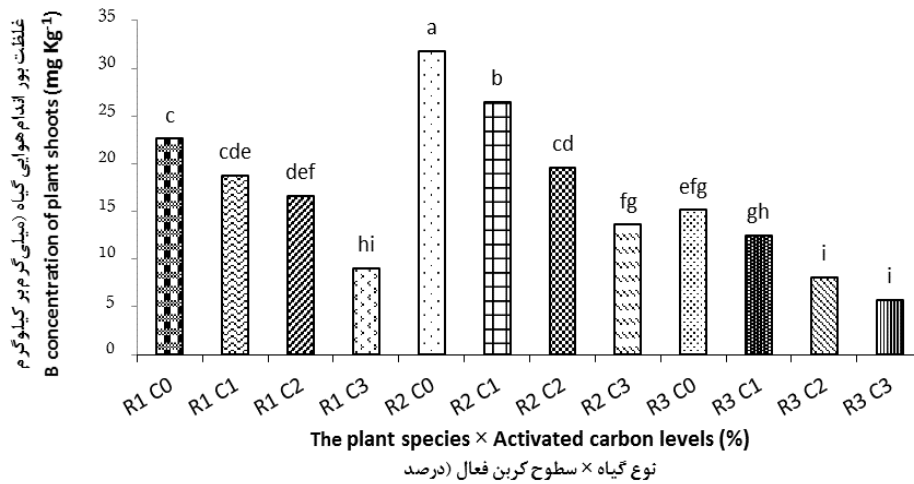
شکل (۴) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع گیاه و سطوح کربن فعال بر غلظت منگنز (الف) و مس (ب) اندام هوایی گیاهان.
Figure(4) The comparing the means of the interaction effects of plant species and activated carbon levels on Mn (A) and Cu (B) concentration of plant shoots.

(گونه‌های گیاهی: R1=گوجه‌فرنگی؛ R2=خیار؛ R3=بادمجان) (Plant species: R1=Tomato; R2=Cucumber; R3=Eggplant)

(سطوح کربن فعال: C₀=صفر، C₁=۱، C₂=۲، C₃=۳ درصد) (Activated carbon levels: C₀=0; C₁=1; C₂=2; C₃=3%)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).



شکل (۵) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع گیاه و سطوح کربن فعال بر غلظت بور اندام هوایی گیاهان.

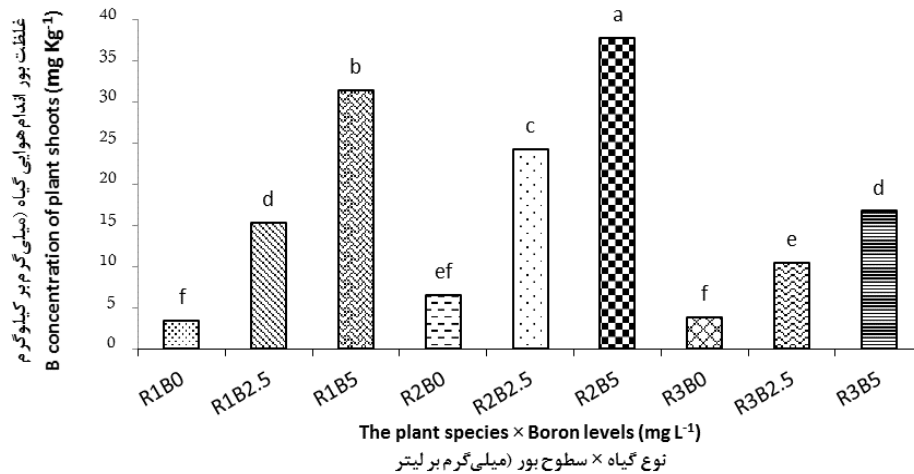
Figure(5) The comparing the means of the interaction effects of plant species and activated carbon levels on boron concentration of plant shoots.

(Plant species: R1= Tomato; R2= Cucumber; R3= Eggplant) (بادمجان؛ R3=خیار؛ R2=گوجه‌فرنگی؛ R1=گوجه‌های گیاهی)

(Boron levels; B₀=0; B_{2.5}=2.5; B₅=5 mg L⁻¹) (سطوح بور: B₀=صفر، B_{2.5}=۲/۵، B₅=۵ میلی‌گرم بور در لیتر)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).



شکل (۶) اثرات متقابل نوع گیاه و سطوح بور بر غلظت بور اندام هوایی گیاهان.

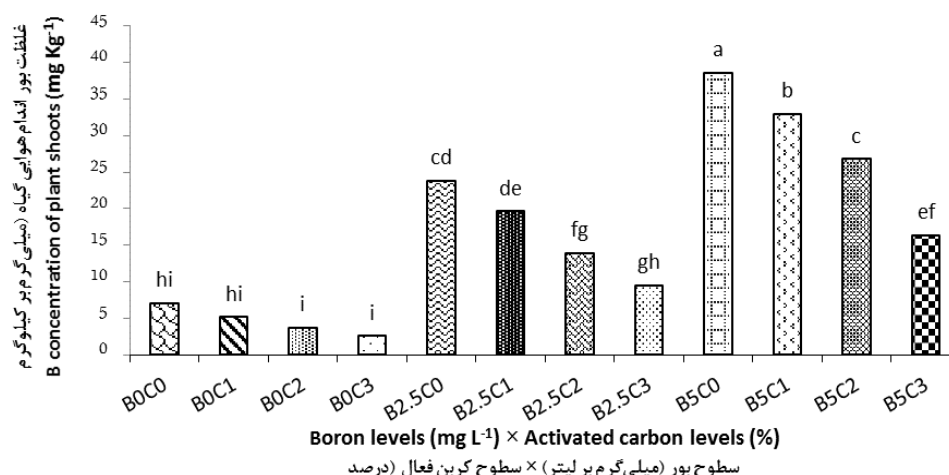
Figure(6) The comparing the means of the interaction effects of plant species and boron levels on boron concentration of plant shoots

(Plant species: R1= Tomato; R2= Cucumber; R3= Eggplant) (بادمجان؛ R3=خیار؛ R2=گوجه‌فرنگی؛ R1=گوجه‌های گیاهی)

(Boron levels; B₀=0; B_{2.5}=2.5; B₅=5 mg L⁻¹) (سطوح بور: B₀=صفر، B_{2.5}=۲/۵، B₅=۵ میلی‌گرم بور در لیتر)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).



شکل (۷) مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح بور و کربن فعال بر غلظت بور اندام هوایی گیاهان

Figure(7) The comparing the means of the interaction effects of boron and activated carbon levels on boron concentration of plant shoots

(سطوح کربن فعال: C₀=0، C₁=1، C₂=2، C₃=3%) (سطوح بور: B₀=0، B_{2.5}=2.5، B₅=5 mg L⁻¹)

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با هم ندارند.

Means that have at least one similar letter, do not have a statistically significant difference ($p < 0.05$).

تنش بور می‌تواند باعث کاهش جذب و سمیت بور در گیاهان شود و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. مصرف کربن فعال موجب کاهش برخی عناصر غذایی در گیاه گردید که این امر یکی از دلایل بررسی بیشتر این ماده برای کاهش سمیت بور می‌باشد مگر اینکه عناصر غذایی از روش‌های مختلفی مانند محلول پاشی یا تغذیه با محلول‌های غذایی به صورت مازاد در اختیار گیاه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت تأثیر سطوح بور و کربن فعال بر غلظت عناصر مورد بررسی متفاوت بود. به طوری که غلظت برخی از عناصر غذایی افزایش و برخی دیگر کاهش یافت. مشاهدات نشان داد که هر چه مقدار بور در تیمارها افزایش یابد غلظت عناصر مس و آهن در اندام هوایی افزایش و برعکس غلظت عناصر منگنز و روی کاهش می‌یابد. در مورد اثر کربن فعال نیز مشاهده گردید که با افزایش مقدار کربن فعال تا سطح ۳ درصد در تیمارها غلظت عنصر روی کاهش و در مقابل غلظت آهن در اندام هوایی افزایش یافت.

همچنین با افزودن کربن فعال، به دلیل تخلخل، سطح ویژه زیاد و اثر گروه‌های عاملی، بور موجود آب آبیاری به دلیل جذب توسط کربن فعال، کاهش یافته و در نتیجه مقدار جذب و انباشت بور در اندام هوایی گیاهان و سمیت آن کاهش یافت. با توجه به نتیجه به دست آمده می‌توان گفت که کاربرد ۲ درصد کربن فعال در شرایط

Reference

1. Abussaud, B., Asmaly, H.A., Ihsanullah, Saleh, T.A., Gupta, V.K., laoui, T., and Atieh, M.A. 2016. Sorption of phenol from waters on activated carbon impregnated with iron oxide, aluminum oxide and titanium oxide. *Journal of Molecular Liquids*, 213: 351–359.
2. Afroze, F., Chabokro, Gh.R., and Akbari, S.M. 2010. Negative effects of drought and strategies to deal with it (case study: Sistan). National Water Crisis Management Conference. The National Conference on Water Crisis Management. (in Persian)
3. Ali, F., Ali, A., Gul, H., Sharif, M., Sadiq, A., Ahmed, A., Ullah, A., Mahar, A., and Kalhoro, S. A. 2015. Effect of boron soil application on nutrients efficiency in tobacco leaf. *American Journal of Plant Sciences*, 6(9): 506-511.
4. Alvarez-Tinaut, M. C., Leal, A., Agui I., and Recalde-Martinez, L. 1979. Physiological effects of B-Mn interaction in tomato plants. III. The uptake and translocation of microelements. *Analse de Edafologiai Agrobiologia*, 38(5/6): 1013-1029.
5. Ardiç, M., Sekmen, A., Turkan, I., Tokur, S., and Ozdemir, F. 2009. The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plant and Soil*, 314: 99–108
6. Arona, S. 2002. Modeling boron adsorption kinetics in benchmark soils of Punjab, India. In 17th World Congress Soil Science, August 2002, Thailand.
7. Ashkenazy, R., Gottlieb, L., and Yannai, S. 1997. Characterization of acetone-washed yeast biomass functional groups involved in lead biosorption. *Biotechnology and Bioengineering*, 55(1): 1-10.
8. Balarak, D., Pirdadeh, F., and Mahdavi, Y. 2015. Biosorption of Acid Red 88 dyes using dried Lemna minor biomass. *Journal of Science, Technology and Environment Informatics*, 1: 81–90.
9. Bansal, R., and Goyal, M. 2005. Activated Carbon Adsorption. CRC press.
10. Ceyhan, A.A., Şahin, Ö., Baytar, O., and Saka, C. 2013. Surface and porous characterization of activated carbon prepared from pyrolysis of biomass by two-stage procedure at low activation temperature and it's the adsorption of iodine. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104: 378–383.
11. Chamon, A.S., Gerzabek, M.H., Mondol, M.N., Ullah, S.M., Rahman, M., and Blum, W.E.H. 2005. Influence of soil amendments on heavy metal accumulation in crops on polluted soils of Bangladesh. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*, 36: 907–927.
12. Chatzissavvidis, C., and Therios, I. 2010. Response of four olive (*Olea europaea* L) cultivars to six B concentrations Growth performance, nutrient status and gas exchange parameters. *Scientia Horticulturae*, 127: 29–38.
13. Dane, J.H., and Topp, C.G. (Eds.). 2020. Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods (Vol. 20). John Wiley & Sons.
14. Dannel, F., Pfeffer, H., and Römheld, V. 1998. Compartmentation of boron in roots and leaves of sunflower as affected by boron supply. *Journal of Plant Physiology*, 153(5-6): 615-622.
15. Dursun, A., Ekinçi, M., and Dönmez, M. F. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 42(5): 3349-3356.
16. Farzaneh, N., Golchin, A., and Hashemi Majd, K. 2011. Effects of different levels of supplementary nitrogen and potassium in nutrient solution on yield and leaf N and K concentrations of Tomato. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 1(1): 27-34. (in Persian)

17. Foo, K.Y., Lee, L.K., and Hameed, B. 2013. Preparation of banana frond activated carbon by microwave-induced activation for the removal of boron and total iron from landfill leachate. *Chemical Engineering Journal*, 223: 604–610.
18. Gao, Y., Yue, Q., Xu, S., Gao, B., Li, Q., and Yu, H. 2015. Preparation and evaluation of adsorptive properties of micro-mesoporous activated carbon via sodium aluminate activation. *Chemical Engineering Journal*, 274: 76–83.
19. Grossman, R. B., and Reinsch, T. G. 2002. Bulk density and linear extensibility. In *Methods of Soil Analysis*, 201–228.
20. Hejazizadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A., and Ghorbani, M. 2016. Effect of Biochar on Lead and Cadmium Uptake from Applied Paper Factory Sewage Sludge by Sunflower (*Heliantus annus L.*). *Water and Soil Science*, 26(1-2): 259-271. (in Persian)
21. Helmke, P.H., and Sparks D.L. 1996. Potassium. In Sparks, D.L. et al., *Method of soil analysis*. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA., 551-574.
22. Hosseini fard. S.J., Sedaghat, N., Mohammadi Mohammad Abadi, A., and Heidarinejad, A. 2009. Survey on Boron position on water, soil and pistachio in pistachio growing area in Iran. *Pajouhesh & Sazandegi*, 81: 9-19. (in Persian with English abstract)
23. Jones Jr., J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, Handling, and Analyzing Plant Tissue Samples. In *Soil Testing and Plant Analysis*, 389-427.
24. Kasnejad, M.H., Esfandiari, A., Kaghazchi, T., and Asasian, N. 2012. Effect of pre-oxidation for introduction of nitrogen containing functional groups into the structure of activated carbons and its influence on Cu (II) adsorption, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43: 736-740.
25. Keyhanian, F., Shariati, S., Faraji, M., and Hesabi, M. 2016. Magnetite nanoparticles with surface modification for removal of methyl violet from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: 348-354.
26. Kotby, R. A., Mohamed, H. M., Gomah, H. H., and Usman, A. R. 2023. Combined Effects of Microbial Inoculation and Activated Carbon/Biochar on the Accumulation and Transfer of Nutrients and Potentially Toxic Metals in Maize Plants Grown on a Contaminated Soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 1-22.
27. Majidi, A., Rahnemaie, R., Hassani, A., and Malakouti, M.J. 2010. Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils. *Chemosphere*, 80(7), 733-739.
28. Miura, T., Perlyn, C.A., Kinboshi, M., Ogihara, N., Kobayashi-Miura, M., Morriss-Kay, G.M., and Shiota, K. 2009. Mechanism of skull suture maintenance and interdigitation. *Journal of Anatomy*, 215(6): 642–655.
29. Moradi, S., Golchin, A., Sepehr, E., and Vafaei, M. 2019. Effects of Salinity and boron content of irrigation water on growth and micronutrient concentrations of purslane plant. *Iranian Journal of water research in Agriculture (Formerly Soil and Water Science)*. 32(4) : 615-626. (in Persian with English abstract)
30. Nelson, D. and Sommers, L.E. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series. 961–1010.
31. Olsen, J. R. and Bass, V.B. 1982. The application of performance technology in the military: 1960-1980. *Performance and Instruction*, 21(6): 32–36.
32. Rajaković, L.V. and Ristić, M.D. 1996. Sorption of boric acid and borax by activated carbon impregnated with various compounds. *Carbon*, 34(6): 769–774.
33. Ranveer, A. and Jadhav, P. 2016. Human population and environment: Effects of population growth, climate changes and poverty relationship. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, 06: 54-60.

34. Rasoulzadeh, A., and Mohamadi, N. 2017. Boron removal from drinking water by activated carbon modified with tungsten nanoparticles. 4th International Conference on Applied Research in Chemistry Science and Biology. WWW.CHEM-BIO.ir
35. Reid, R.J., Hayes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C.R., and Graham, R.D. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Environment*, 27(11): 1405–1414.
36. Rostami, H., Tabatabaei, S.J., Zare Nahandi, F., and Rahman Pour Azar, M. 2014. Effects of different concentrations of boron on concentration and distribution of this element and some other nutrients in hydroponic condition in two Olive cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(1): 93-101. (in Persian)
37. Sabir, M., Hanafi, M.M., Aziz, T., Ahmad, M.R., Zia-Ur-Rehman, M., Saifullah, Murtaza, Gh., and Hakeem. K.R. 2013. Comparative effect of activated carbon, pressed and poultry manure on immobilization and concentration of metals in maize (*Zea mays L.*) grown on contaminated soil. *International Journal of Agriculture and Biology*. 15(3): 559–564.
38. Shanab, F. M.A. 2019. Removal of boron and strontium from seawater by activated carbon produced from olives crushed seeds. (Doctoral dissertation).
39. Sharma, K.R., Srivastava, P.C., Srivastava, P., and Singh, V.P. 2006. Effect of farmyard manure application on boron adsorption–desorption characteristics of some soils. *Chemosphere*, 65(5): 769-777.
40. Sparks, D.L. 1996. Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, and R. H. Loeppert (Eds.), *SSSA Book Series (Issue 5.3)*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
41. Sultan, H., Ahmed, N., Mubashir, M., and Danish, S. 2020. Chemical production of acidified activated carbon and its influences on soil fertility comparative to thermo-pyrolyzed biochar. *Scientific Reports*, 10(1): 595.
42. Tariq, M., and Mott, C. 2006. Effect of boron supply on the uptake of micronutrients by radish (*Raphanus sativus L.*). *Journal of Agricultural and Biological Science*. 1(2): 1-8.
43. Tortell, P.D. 2020. Earth 2020: Science, society, and sustainability in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16): 8683-8691.
44. Vega, E., Lemus, J., Anfruns, A., Gonzalez-Olmos, R., Palomar, J., and Martin, M.J. 2013. Adsorption of volatile sulfur compounds onto modified activated carbons: effect of oxygen functional groups. *Journal of hazardous materials*, 258: 77-83.
45. Vera, A., Bastida, F., Patiño-García, M., and Moreno, J. L. 2023. The effects of boron-enriched water irrigation on soil microbial community are dependent on crop species. *Applied Soil Ecology*, 181: 104677.
46. Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B., and Samson-Liebig, S. E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(1): 3-17.
47. Wigmans, T. 1989. Industrial aspects of production and use of activated carbons. *Carbon*, 27(1), 13-22.
48. Wolf, B. 1974. Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 5(1): 39-44.