

## تأثیر بیوچار و شوری آب آبیاری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت باقلا

ناهید رضایی، فاطمه رزاقی<sup>1</sup>، علیرضا سپاسخواه و سید علی اکبر موسوی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ [nahid92rzi@yahoo.com](mailto:nahid92rzi@yahoo.com)  
استادیار بخش مهندسی آب و مرکز مطالعات خشکسالی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ [razzaghi@shirazu.ac.ir](mailto:razzaghi@shirazu.ac.ir)  
استاد بخش مهندسی آب و مرکز مطالعات خشکسالی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ [sepas@shirazu.ac.ir](mailto:sepas@shirazu.ac.ir)  
دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ [aamousavi@gmail.com](mailto:aamousavi@gmail.com)

دریافت: 96/7/26 و پذیرش: 97/2/8

### چکیده

امروزه با توجه به محدود بودن منابع آب و حاصلخیزی کم خاک‌ها، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، نیاز به استفاده از آب با کیفیت نا مطلوب (مانند آب شور) و استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک مانند بیوچار ضروری به نظر می‌رسد. بیوچار نوعی زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و حیوانی است که به دلیل ساختار متخلخلی که دارد سبب بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. لذا تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری و بیوچار بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت باقلا انجام شد. تیمارهای شوری آب آبیاری شامل چهار سطح 0/5، 2/5، 5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر و بیوچار شامل چهار سطح صفر، 1/25، 2/5 و 3/75 درصد وزنی در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اعمال گردید. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم، سدیم، نسبت جذبی سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزایش شوری و همچنین کاربرد بیوچار سبب افزایش غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم و همچنین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک شد. علاوه بر این، به دلیل تیخیر سطحی و صعود آب و املاح به لایه سطحی، غلظت کلیه عناصر، نسبت جذبی سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی در لایه صفر تا 10 سانتی‌متر بیشتر از لایه 10 تا 20 سانتی‌متر بود. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بیوچار به عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مفید مانند کلسیم و پتاسیم در خاک شود، اما بایستی اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار بر ویژگی‌هایی مانند افزایش شوری را نیز در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: سدیم، پتاسیم، کلسیم، قابلیت هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، دانشگاه شیراز - دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی آب

## مقدمه

بیوجار نوعی زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که از تخریب حرارتی آن‌ها در شرایط نبود یا کمبود حاصل می‌شود. این ماده به دلیل سرعت تجزیه بسیار کند، نسبت به سایر مواد آلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی اکسید کربن و متان دارد که از ضایعات آلی آزاد می‌شود و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند (آیون و همکاران، 2014؛ فانگ و همکاران، 2014). هر چند بیوجار یک اصلاح‌کننده جدید است اما یک ماده جدید نیست. خاک‌های سراسر جهان از طریق وقایع طبیعی مانند آتش‌سوزی جنگل و مرتع حاوی بیوجارند. در واقع در مناطق مرتفع مانند دشت آمریکای شمالی به طور طبیعی بیوجار تولید می‌شود و این مناطق از حاصلخیزترین خاک‌های جهان هستند (انبل و همکاران، 2009). اصطلاح بیوجار بر منشا زیستی آن تأکید می‌کند و آن را از هر ماده غیر زیستی زغال شده متمایز می‌کند.

در واقع بیوجار نشان دهنده مواد آلی زغال شده‌ای است که با هدف بهبود ویژگی‌های خاک به کار می‌رود (لیمن و همکاران، 2003). در اکثر مطالعات ذکر شده است که بیوجار می‌تواند سبب بهبود رشد گیاه شود. بهبود رشد گیاه در اثر کاربرد بیوجار در خاک، تحت دو مکانیسم مستقیم و غیر مستقیم رخ می‌دهد. در مکانیسم مستقیم، بیوجار با افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر در خاک و در مکانیسم غیر مستقیم، بیوجار با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، پهاش، بهبود ساختمان خاک، افزایش زیست توده میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک در افزایش رشد گیاه نقش دارد (پنگ و همکاران، 2012؛ اندرس و همکاران، 2012؛ چنگ و همکاران، 2012). بیوجار به دلیل چگالی کم و تخلخل زیاد قادر است مقادیر زیادی آب در خود نگه دارد و به این ترتیب افزایش ذخیره آب در خاک می‌شود. همچنین بیوجار با دارا بودن سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد قادر به جذب عناصر غذایی محلول و نمک‌ها بوده و سبب حفظ عناصر غذایی در خاک می‌شود (کوکانا و همکاران، 2011؛ گلاسر و همکاران، 2002). لذا استفاده از بیوجار در خاک‌های شور می‌تواند تا حد زیادی سبب کاهش اثرات سوء تنش شوری شود (کانوال و همکاران، 2017). نقش بیوجار در فراهمی عناصر غذایی، در تحقیقات مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج متفاوتی گزارش شده است، به طوری که با افزودن بیوجار به خاک، هم کاهش و هم افزایش فراهمی عناصر غذایی

خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه گزارش شده است (لیمن و همکاران، 2003). وو و همکاران (2014) در یک آزمایش انکوباسیون 56 روزه، به بررسی تأثیر بیوجار تولید شده از چوب ذرت در دمای 300 درجه سانتی‌گراد در دو سطح 2/5 و 5 درصد وزنی در یک خاک شنی در چین (با پهاش و درصد سدیم قابل تبادل زیاد) پرداختند. نتایج آنان نشان داد که افزودن بیوجار به خاک سدیمی (pH برابر با 8/3) به واسطه‌ی اینکه پهاش (pH) بیوجار برابر با 4/5) کمتری نسبت به خاک داشت، سبب کاهش پهاش خاک شد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که افزودن بیوجار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و افزایش عناصر غذایی مانند پتاسیم و کلسیم می‌شود. بیوجار در طی گذشت زمان در خاک اکسید شده و این سبب افزایش سطوح باردار و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی آن می‌شود (چنگ و همکاران، 2008). در مطالعه‌ای که توسط لشری و همکاران (2014) در یک مزرعه با خاک شور (با شوری 12/68 گرم نمک بر کیلوگرم خاک) در چین انجام شد، اثر 12 تن در هکتار بیوجار حاصل از کاه و کلش گندم (در دمای 350 تا 550 درجه سانتی‌گراد) بر ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت در طی دو سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیوجار در هر دو سال سبب کاهش پهاش خاک، شوری خاک و میزان سدیم خاک گردید و میزان کلسیم را در خاک افزایش داد.

با توجه به محدود بودن منابع آبی در کشور ایران و شوری بسیاری از اراضی (در حدود 20 درصد از مساحت کشور (مومنی، 2010))، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک از جمله بقایای گیاهی مانند کاه و کلش گندم (با توجه به سطح زیاد زیر کشت این گیاه به‌ویژه در استان فارس) به فرم بیوجار می‌تواند راهکار مناسبی جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین افزایش محصولات کشاورزی باشد. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی میزان و نحوه اثر بیوجار در سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت باقلا انجام شد.

## مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این تحقیق از منطقه گربایگان فسا تهیه شد. این خاک دارای بافت لوم شنی (70 درصد شن، 18 درصد سیلت و 12 درصد رس) با چگالی ظاهری 1/53 گرم بر سانتی‌متر مکعب و رطوبت حجمی 33، 21 و 8 درصد به ترتیب در نقطه اشباع، ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم می‌باشد. برای تهیه بیوجار از کاه و کلش گندم استفاده شد. ابتدا کاه و کلش‌ها بسته

عناصر موجود در خاک گربایگان در جدول 1 آورده شده است (گویلی و همکاران، 1395).

بندی شده و سپس در دمای 500°C و در شرایط بدون اکسیژن حرارت داده شده و سپس سرد شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی بیوجار تولید شده و همچنین میزان

جدول 1- برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده بیوجار تولید شده، خاک مورد آزمایش و آب چاه مورد استفاده

ویژگی	بیوجار	خاک	آب
چگالی ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	0/25	1/53	--
پهاش	8/5*	7/44	7/0
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	7/5	0/66	0/55
سدیم محلول (meq/L)	2/3	0/095	1/2
پتاسیم محلول (meq/L)	83	0/017	0/05
کلسیم محلول (meq/L)	15	2	1/15

\*پهاش و قابلیت هدایت الکتریکی بیوجار در نسبت 1:10 بیوجار به آب

کاشته شد و پس از استقرار کامل گیاه به 3 بوته تنک شدند. به دلیل اینکه گیاهان در مراحل ابتدایی رشد حساس به شوری هستند لذا تا استقرار کامل گیاه اقدام به اعمال شوری نشد. در این تحقیق از ابتدای کشت تا زمان استقرار کامل گیاه عملیات آبیاری با آب چاه و تا حد ظرفیت مزرعه‌ای به صورت یک روز در میان انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه تیمارهای شوری در سطوح مربوطه نیز به صورت یک روز در میان اعمال شدند. جهت تهیه آب شور از ترکیب NaCl و CaCl<sub>2</sub> به نسبت مساوی وزنی استفاده شد. جهت آبیاری، گلدان‌ها یک روز در میان وزن شده و سپس کمبود آب تا حد رطوبت زراعی به علاوه 15 درصد مازاد به عنوان نیاز آبتجویی به آن‌ها اضافه شد.

شایان ذکر است که بیشترین مقدار آب مصرفی به میزان 641 میلی‌متر در تیمار B<sub>0</sub>S<sub>0</sub> و کمترین مقدار آب مصرفی به میزان 342 میلی‌متر در تیمار B<sub>3.75</sub>S<sub>7.5</sub> بوده است. جهت تعیین مقدار عناصر در خاک هر گلدان، از دو لایه صفر تا 10 سانتی‌متری (لایه سطحی) و 10 تا 20 سانتی‌متری (لایه پایین) پس از برداشت گیاه باقلا نمونه برداشته شد و پس از تهیه عصاره اشباع میزان عناصر سدیم و پتاسیم با دستگاه Flame Photometer اندازه‌گیری شد (ریچاردز، 1954). کلسیم موجود در خاک نیز به روش تیتراسیون (کندسن و همکاران، 1982) اندازه‌گیری شد. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه EC متر قرائت شد. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده برای سدیم و کلسیم (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) در عصاره اشباع خاک، میزان نسبت جذبی سدیم بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (لازم به ذکر است که از آنجا که میزان منیزیم در عصاره اشباع خاک

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه‌ی مرکز خشکسالی دانشگاه شیراز با پوشش شیشه‌ای واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با عرض جغرافیایی 29° 36' و طول جغرافیایی 33° 52' و ارتفاع 1810 متر از سطح دریا انجام شد. تیمارهای شوری شامل آب چاه مورد استفاده (جدول 1) در دانشکده کشاورزی با شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد (S<sub>0</sub>) و آب‌های با شوری‌های 2/5، 5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر (S<sub>2.5</sub>، S<sub>5</sub> و S<sub>7.5</sub>) مورد استفاده قرار گرفت. چهار سطح بیوجار عبارت بودند از صفر، 1/25، 2/5 و 3/75 درصد وزنی (B<sub>0</sub>، B<sub>1.25</sub>، B<sub>2.5</sub> و B<sub>3.75</sub>) که به ترتیب (با در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری 1/53 گرم بر سانتی متر مکعب و عمق 20 سانتی‌متر) معادل صفر، 25، 50 و 75 تن در هکتار می‌باشد.

با توجه به سطوح بیوجار و سطوح شوری در مجموع تعداد 48 گلدان مورد استفاده قرار گرفت (3 تکرار). متوسط ارتفاع و قطر گلدان‌های مورد استفاده به ترتیب برابر 20 و 21/6 سانتی‌متر بود. با توجه به تیمارهای بیوجار، مقدار خاک (قطر ذرات کوچک‌تر از 2 میلی‌متر) و بیوجار (قطر ذرات کوچک‌تر از 2 میلی‌متر) به نحوی محاسبه گردید که وزن نهایی گلدان‌ها به 6 کیلوگرم برسد. به منظور بهبود کیفیت رشد گیاه و جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی، با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک، قبل از اینکه مخلوط خاک و بیوجار در گلدان‌ها ریخته شود، کودهای مورد نیاز مانند اوره، سکسترن آهن، سولفات منگنز، سولفات مس، سولفات روی، سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به خاک افزوده شد. پس از آماده شدن مقدمات کشت، در هر گلدان 5 عدد بذر باقلا رقم برکت

وزنی) افزایش شوری میزان پتاسیم را به صورت معنی‌داری افزایش داده است. که علت این امر را می‌توان به وجود پتاسیم زیاد در بیوچار دانست.

در لایه سطحی، افزایش شوری سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم عصاره اشباع خاک گردید (شکل 1). به طوریکه در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر، میزان پتاسیم به بیشترین مقدار خود رسید و 61/5 درصد بیشتر از میزان پتاسیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر شد. این در حالیست که در لایه پایینی، افزایش شوری سبب کاهش میزان پتاسیم خاک گردید، البته تفاوت بین سطح شوری شاهد و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود، که این مساله بر خلاف مشاهدات در لایه سطحی می‌باشد. این مساله را می‌توان به صعود موئینه آب در اثر تبخیر سطحی و همچنین به واسطه حضور بیوچار در لایه سطحی دانست که مانع از انتقال آب و املاح به سمت لایه پایینی می‌گردد. ماتئجویک و همکاران (2012) در یک آزمایش گلخانه‌ای به بررسی تأثیر شوری بر غلظت عناصر در خاک تحت کشت باقلا پرداختند. سطوح شوری صفر، 35، 50 و 65 میلی‌مولار کلرید سدیم جهت اعمال تنش شوری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در عصاره اشباع خاک شد.

در هر دو لایه، کاربرد 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان پتاسیم را به طور معنی‌داری افزایش داد. میزان پتاسیم عصاره اشباع خاک در تیمار 3/75 درصد وزنی به ترتیب در لایه سطحی و پایین 38/7 و 32/7 برابر میزان پتاسیم در تیمار شاهد (بدون بیوچار) به دست آمد. از آنجا که بیوچار استفاده شده در تحقیق حاضر حاوی مقدار زیادی پتاسیم بوده است (جدول 1)، سبب تغییر ترکیب محلول خاک به سمت پتاسیم بیشتر گردید. یوان و زو (2011) گزارش کردند که افزودن دو نوع بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم و پوسته برنج در دمای 350 درجه سانتی‌گراد سبب افزایش عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در خاک شد. در همین راستا زی و همکاران (2014) گزارش کردند که با افزودن 5 گرم بر کیلوگرم بیوچار تولید شده از چوب درخت، غلظت پتاسیم در خاک تحت کشت لوبیا افزایش یافت. خان و همکاران (2014) نیز گزارش کردند که کاربرد 5 تن در هکتار بیوچار تولید شده از سبوس برنج، ساقه برنج و خاک اره سبب افزایش فراهمی پتاسیم در خاک شد. همچنین، نجفی قیری (1394) تأثیر بیوچارهای بقایای گندم، بقایای ذرت، چوب ذرت، بقایای پنبه و بقایای

اندازه‌گیری نشد، در محاسبه ی نسبت جذبی سدیم ((میلی‌اکی‌والان بر لیتر)<sup>0/5</sup>) در مخرج کسر تنها مقدار کلسیم لحاظ شد (سوارز، 1981):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{Ca/2}} \quad (1)$$

## تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از اثرات سطوح مختلف شوری و بیوچار بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از نرم افزار SAS استفاده شد. تفاوت بین معناداری تیمارها با آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفت (با سطح اطمینان 95 درصد). پردازش داده‌ها نیز با نرم افزار Sigma Plot انجام شد.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر سطوح شوری، بیوچار، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر ترکیب شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح شوری، بیوچار و عمق بر غلظت پتاسیم، سدیم، کلسیم، نسبت جذبی سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سطوح شوری، بیوچار و عمق نیز بر غلظت عناصر ذکر شده، نسبت جذبی سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 2). لذا با توجه به معنی‌دار بودن اختلافات بین دو عمق، نتایج کلیه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای دو عمق به صورت مجزا ارائه گردیده است.

## غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک

شکل 1 مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر پتاسیم عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده، میزان پتاسیم در لایه سطحی (صفر تا 10 سانتی‌متری) با میانگین 25/82 میلی‌اکی‌والان بر لیتر، به طور معنی‌داری از میزان پتاسیم در لایه پایینی (10 تا 20 سانتی‌متری) با میانگین 14/68 میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشتر است. از طرف دیگر، مقایسه بر همکنش دو تیمار شوری آب آبیاری و بیوچار نشان می‌دهد که در لایه سطحی بیشترین میزان پتاسیم در تیمار  $B_{3.75}S_{7.5}$  و کمترین مقدار آن در تیمار  $B_0S_0$  بوده است. همین روند در لایه پایینی نیز قابل مشاهده است. از طرف دیگر، در سطح بیوچار شاهد (بدون بیوچار)، افزایش شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم در هر دو لایه نداشته است اما در سطوح بالای کاربرد بیوچار (در سطح 3/75 درصد

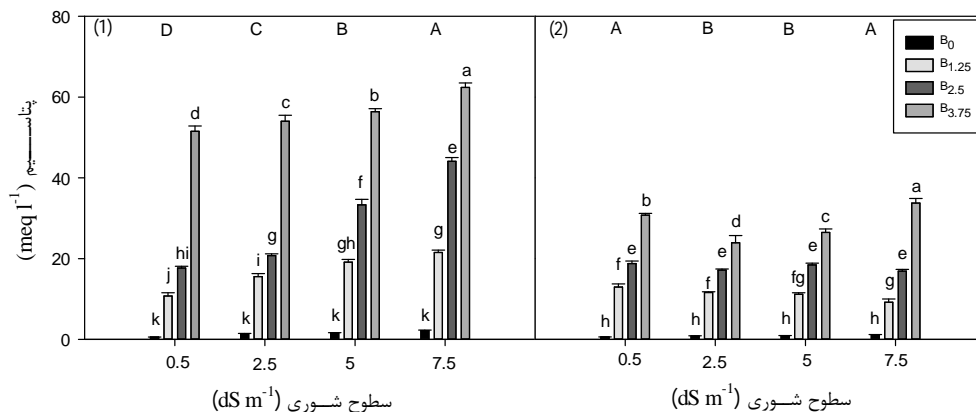
بیوچارهای حاصل از بقایا و چوب ذرت و بقایای پنبه اگر چه تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش پتاسیم محلول خاک داشتند اما تفاوت معنی‌داری بین این سه نوع بیوچار در افزایش پتاسیم محلول مشاهده نشد.

کنجد بر پتاسیم محلول خاک را بررسی و گزارش کرد که افزودن بیوچار سبب افزایش 4/4 تا 7 برابری مقدار پتاسیم محلول شد. نتایج وی نشان داد که بیشترین مقدار افزایش مربوط به بیوچارهای حاصل از بقایای کنجد و گندم (به ترتیب افزایش 193 و 181 میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح شوری آب آبیاری، بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت عناصر پتاسیم، سدیم و کلسیم، نسبت جذبی سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد)

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم	سدیم	کلسیم	نسبت جذبی سدیم	قابلیت هدایت الکتریکی
شوری	3	187/21**	6160/71**	1437/03**	296/71**	101/67**
بیوچار	3	7234/64**	399/56**	53/82**	15/36**	205/24**
عمق	1	2976/94**	22383/07**	7281/91**	529/64**	443/72**
شوری $\times$ بیوچار	9	385/9**	120/91**	38/35**	13/59**	5/56**
شوری $\times$ عمق	3	548/04**	2302/83**	896/97**	30/89**	57/09**
بیوچار $\times$ عمق	3	2438/30**	940/37**	142/50**	48/11**	21/14**
شوری $\times$ بیوچار $\times$ عمق	9	430/17**	159/20**	52/11**	8/36**	4/31**
خطا	64	1/75	2/06	0/43	0/38	0/45

\*\* در سطح 1 درصد معنی‌دار می‌باشند.



شکل 1- اثر سطوح بیوچار (B) و شوری آب آبیاری (S) بر غلظت پتاسیم در عصاره اشباع خاک (meq/l). نمودار 1 و 2 به ترتیب مربوط به لایه سطحی (صفر تا 10 سانتی‌متری) و پایین (10 تا 20 سانتی‌متری) خاک می‌باشند. B<sub>0</sub>، B<sub>1.25</sub>، B<sub>2.50</sub> و B<sub>3.75</sub> بیان‌کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی می‌باشد. S<sub>0</sub>، S<sub>2.5</sub>، S<sub>5</sub> و S<sub>7.5</sub> نیز به ترتیب بیان‌کننده سطوح شوری 0/5، 2/5، 5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. حروف مشابه کوچک و بزرگ، به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار شوری می‌باشد. خطوط عمودی نیز میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

### غلظت سدیم عصاره اشباع خاک

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر سدیم عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری در جدول 3 نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده، میزان سدیم در لایه سطحی با میانگین 44/7 میلی‌اکی‌والان بر لیتر به طور معنی‌داری نسبت به میزان سدیم در لایه پایین با میانگین

14/2 افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین مقدار سدیم در لایه سطحی به میزان 98 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار B<sub>2.5</sub>S<sub>7.5</sub> و در لایه پایین به میزان 33 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار B<sub>0</sub>S<sub>7.5</sub> مشاهده می‌گردد. نکته‌ی قابل توجه این است که با افزایش سطوح بیوچار، درصد افزایش سدیم در اثر افزایش شوری کمتر می‌شود. به عنوان مثال

در حالیست که در سطح بالای کاربرد بیوچار (3/75 درصد وزنی) میزان سدیم در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر، 4/4 برابر سدیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر است و این کاهش تنش سدیمی در اثر کاربرد بیوچار را نشان می‌دهد. نیگوسای و همکاران (2012) بیان کردند که کاربرد بیوچار حاصل از ساقه ذرت در دمای 500 درجه سانتی‌گراد (به میزان 5 و 10 تن در هکتار) به مقدار قابل توجهی سبب افزایش پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم خاک تحت کشت کاهو می‌شود. بطوریکه در سطح 10 تن در هکتار بیوچار نسبت به شاهد در میزان پتاسیم، سدیم و کلسیم خاک به ترتیب افزایش 13/2، 29/9 و 9/7 درصدی مشاهده شد. گاسکین و همکاران (2008) به بررسی تأثیر بیوچار حاصل از بستر مرغ، پوسته بادام زمینی و تراشه کاج در دماهای 400 و 500 درجه سانتی‌گراد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش میزان سدیم در خاک شد. آنگی و همکاران (2014) نیز گزارش کردند که کاربرد 5، 10، 15 و 20 درصد وزنی بیوچار سبب افزایش غلظت سدیم در خاک شد.

#### غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک

جدول 4 مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر کلسیم عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول 4، بیشترین مقدار کلسیم در لایه سطحی به میزان 50 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار B<sub>2.5</sub>S<sub>7.5</sub> و در لایه پایین به میزان تقریباً 11 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار B<sub>0</sub>S<sub>7.5</sub> مشاهده می‌گردد. در لایه پایین تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار B<sub>0</sub>S<sub>7.5</sub> و B<sub>1.25</sub>S<sub>7.5</sub> مشاهده نگردید.

همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، در هر دو لایه افزایش شوری سبب افزایش معنی‌دار کلسیم عصاره اشباع خاک شد. در لایه سطحی، کاربرد 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان کلسیم را به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 5/3، 36 و 34/6 درصد افزایش داد. وجود کلسیم موجود بیشتر در بیوچار نسبت به خاک مورد استفاده (جدول 1) سبب تغییر در ترکیب محلول خاک به سمت کلسیم بیشتر گردیده است. این در حالیست که در لایه پایین، افزایش بیوچار تا 1/25 درصد وزنی در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان کلسیم را به طور معنی‌داری به میزان 5/6 درصد افزایش داد اما با افزایش سطوح بیوچار به بیشتر از 1/25 درصد وزنی، از میزان کلسیم کاسته شد.

در لایه سطحی، در تیمار شاهد بیوچار میزان سدیم در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر 9/6 برابر (و در لایه پایین 5/6 برابر) سدیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر است، این در حالیست که در تیمار بالای بیوچار (3/75 درصد وزنی) میزان سدیم در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر 4/4 برابر (و در لایه پایین 2/5 برابر) سدیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر است و این کاهش تنش شوری در اثر کاربرد بیوچار را نشان می‌دهد.

در هر دو لایه، سطوح شوری اثر معنی‌داری بر میزان سدیم عصاره اشباع خاک داشت و سبب افزایش آن شد. به طوریکه در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در لایه سطحی و پایین، میزان سدیم عصاره اشباع 6/1 و 3 برابر میزان سدیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر همان لایه شد. همانگونه که در جدول 3 نیز قابل مشاهده است، روند تغییرات سدیم تحت تأثیر افزایش سطوح بیوچار در دو لایه کاملاً با هم متفاوت است. در لایه سطحی کاربرد 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان سدیم عصاره اشباع خاک را به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 13/2، 66/1 و 35/5 درصد افزایش داد. وجود سدیم موجود بیشتر در بیوچار مورد استفاده (جدول 1) سبب تغییر در ترکیب محلول خاک به سمت سدیم بیشتر گردیده است. علاوه بر این در سطح شوری صفر، افزایش بیوچار سبب افزایش معنی‌دار سدیم در لایه سطحی شد که به دلیل حضور سدیم در خود بیوچار می‌باشد. در حالیکه در لایه پایین، کاربرد 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان سدیم عصاره اشباع خاک را به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 7/8، 25/4 و 42/2 درصد کاهش داد. تبخیر از سطح خاک در لایه سطحی سبب افزایش غلظت سدیم در این لایه گردیده است (جدول 3). از طرف دیگر، بدلیل گرادیان رو به بالای جریان آب جهت تبخیر سطحی، بخش عمده‌ای از سدیم لایه پایین به همراه جریان آب به سمت لایه سطحی حرکت کرده و سبب کاهش غلظت سدیم در لایه پایین بخصوص در سطوح مختلف بیوچار گردیده است. نکته‌ی قابل توجه این است که هرچند با افزایش سطوح بیوچار مقدار سدیم در لایه سطحی افزایش یافته است، لیکن با افزایش سطوح بیوچار، درصد افزایش سدیم در اثر افزایش شوری، کمتر می‌شود. به عنوان مثال در لایه سطحی، در تیمار شاهد بیوچار میزان سدیم در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر، 9/6 برابر سدیم در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر است این

جدول 3- اثر سطوح بیوجار (B) و شوری آب آبیاری (S) بر غلظت سدیم (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) در عصاره اشباع خاک (میلی اکی‌والان بر لیتر)

میانگین	سطوح بیوجار				سطوح شوری
	B <sub>3.75</sub>	B <sub>2.50</sub>	B <sub>1.25</sub>	B <sub>0</sub> *	
لایه صفر تا 10 سانتی متری					
11/79 <sup>D</sup>	16/52 $\pm$ 1/00 <sup>h</sup>	16/23 $\pm$ 0/77 <sup>h</sup>	8/99 $\pm$ 0/29 <sup>i</sup>	5/43 $\pm$ 0/13 <sup>***</sup>	S <sub>0</sub> **
38/51 <sup>C</sup>	35/65 $\pm$ 0/50 <sup>g</sup>	43/04 $\pm$ 0/75 <sup>e</sup>	38/70 $\pm$ 0/43 <sup>f</sup>	36/67 $\pm$ 1/63 <sup>fg</sup>	S <sub>2.5</sub>
56/78 <sup>B</sup>	63/04 $\pm$ 1/15 <sup>c</sup>	73/62 $\pm$ 1/53 <sup>b</sup>	45/80 $\pm$ 1/16 <sup>e</sup>	44/64 $\pm$ 1/16 <sup>e</sup>	S <sub>5</sub>
71/70 <sup>A</sup>	73/04 $\pm$ 1/00 <sup>b</sup>	97/80 $\pm$ 1/26 <sup>a</sup>	63/77 $\pm$ 0/72 <sup>c</sup>	52/17 $\pm$ 1/00 <sup>d</sup>	S <sub>7.5</sub>
	47/07 <sup>C</sup>	57/68 <sup>A</sup>	39/31 <sup>B</sup>	34/73 <sup>D</sup>	میانگین
لایه 10 تا 20 سانتی متری					
7/05 <sup>D</sup>	4/93 $\pm$ 0/29 <sup>i</sup>	6/38 $\pm$ 0/29 <sup>hi</sup>	11/01 $\pm$ 0/29 <sup>fg</sup>	5/87 $\pm$ 0/22 <sup>hi</sup>	S <sub>0</sub>
11/23 <sup>C</sup>	7/25 $\pm$ 0/58 <sup>h</sup>	10/00 $\pm$ 0/43 <sup>g</sup>	18/26 $\pm$ 0/75 <sup>c</sup>	9/42 $\pm$ 0/77 <sup>g</sup>	S <sub>2.5</sub>
16/89 <sup>B</sup>	15/39 $\pm$ 0/85 <sup>d</sup>	14/49 $\pm$ 0/58 <sup>de</sup>	16/23 $\pm$ 0/58 <sup>d</sup>	21/45 $\pm$ 0/58 <sup>b</sup>	S <sub>5</sub>
21/46 <sup>A</sup>	12/75 $\pm$ 0/58 <sup>ef</sup>	21/20 $\pm$ 0/73 <sup>b</sup>	18/84 $\pm$ 0/72 <sup>c</sup>	33/04 $\pm$ 1/00 <sup>a</sup>	S <sub>7.5</sub>
	10/08 <sup>D</sup>	13/02 <sup>C</sup>	16/09 <sup>B</sup>	17/45 <sup>A</sup>	میانگین

B<sub>0</sub>\*، B<sub>1.25</sub>، B<sub>2.50</sub> و B<sub>3.75</sub> بیان کننده سطوح بیوجار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی می باشد. S<sub>0</sub>\*\*، S<sub>2.5</sub>، S<sub>5</sub> و S<sub>7.5</sub> نیز به ترتیب بیان کننده سطوح شوری 0/5، 2/5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر می باشد. \*\*\* در هر لایه، حروف مشابه کوچک و بزرگ، به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی دار در سطح اطمینان 95 درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار شوری و بیوجار می باشد.

جدول 4- اثر سطوح بیوجار (B) و شوری آب آبیاری (S) بر غلظت کلسیم (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) در عصاره اشباع خاک (میلی اکی‌والان بر لیتر)

میانگین	سطوح بیوجار				سطوح شوری
	B <sub>3.75</sub>	B <sub>2.50</sub>	B <sub>1.25</sub>	B <sub>0</sub> *	
لایه صفر تا 10 سانتی متری					
7/95 <sup>D</sup>	9/13 $\pm$ 0/58 <sup>k</sup>	8/63 $\pm$ 0/19 <sup>k</sup>	8/13 $\pm$ 0/13 <sup>k</sup>	5/90 $\pm$ 0/17 <sup>l***</sup>	S <sub>0</sub> **
18/50 <sup>C</sup>	19/87 $\pm$ 0/47 <sup>h</sup>	15/00 $\pm$ 0/12 <sup>j</sup>	18/00 $\pm$ 0/58 <sup>i</sup>	21/13 $\pm$ 0/07 <sup>h</sup>	S <sub>2.5</sub>
31/32 <sup>B</sup>	35/07 $\pm$ 0/07 <sup>d</sup>	37/07 $\pm$ 0/07 <sup>c</sup>	27/33 $\pm$ 0/88 <sup>f</sup>	25/80 $\pm$ 0/12 <sup>g</sup>	S <sub>5</sub>
39/20 <sup>A</sup>	45/67 $\pm$ 0/67 <sup>b</sup>	50/13 $\pm$ 0/13 <sup>a</sup>	32/33 $\pm$ 0/88 <sup>e</sup>	28/67 $\pm$ 0/67 <sup>f</sup>	S <sub>7.5</sub>
	27/43 <sup>A</sup>	27/71 <sup>A</sup>	21/45 <sup>D</sup>	20/38 <sup>C</sup>	میانگین
لایه 10 تا 20 سانتی متری					
5/44 <sup>D</sup>	3/13 $\pm$ 0/18 <sup>i</sup>	6/93 $\pm$ 0/29 <sup>cde</sup>	6/00 $\pm$ 0/12 <sup>fg</sup>	5/50 $\pm$ 0/06 <sup>g</sup>	S <sub>0</sub>
5/83 <sup>C</sup>	3/67 $\pm$ 0/27 <sup>hi</sup>	6/07 $\pm$ 0/07 <sup>fg</sup>	7/20 $\pm$ 0/12 <sup>cd</sup>	6/40 $\pm$ 0/23 <sup>def</sup>	S <sub>2.5</sub>
6/33 <sup>B</sup>	4/27 $\pm$ 0/13 <sup>h</sup>	6/13 $\pm$ 0/13 <sup>efg</sup>	7/67 $\pm$ 0/33 <sup>c</sup>	7/27 $\pm$ 0/18 <sup>c</sup>	S <sub>5</sub>
9/68 <sup>A</sup>	9/67 $\pm$ 0/33 <sup>b</sup>	7/60 $\pm$ 0/12 <sup>c</sup>	10/73 $\pm$ 0/37 <sup>a</sup>	10/73 $\pm$ 0/64 <sup>a</sup>	S <sub>7.5</sub>
	5/23 <sup>C</sup>	6/68 <sup>C</sup>	7/90 <sup>A</sup>	7/48 <sup>D</sup>	میانگین

B<sub>0</sub>\*، B<sub>1.25</sub>، B<sub>2.50</sub> و B<sub>3.75</sub> بیان کننده سطوح بیوجار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی می باشد. S<sub>0</sub>\*\*، S<sub>2.5</sub>، S<sub>5</sub> و S<sub>7.5</sub> نیز به ترتیب بیان کننده سطوح شوری 0/5، 2/5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر می باشد. \*\*\* در هر لایه، حروف مشابه کوچک و بزرگ، به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی دار در سطح اطمینان 95 درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار شوری و بیوجار می باشد.

معنی‌دار نسبت جذبی سدیم شد. به طوریکه در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر میزان نسبت جذبی سدیم به ترتیب در لایه سطحی و پایین 2/8 و 2/3 برابر میزان نسبت جذبی سدیم در سطح شوری شاهد (0/5) دسی‌زیمنس بر متر) شد. در لایه سطحی، کاربرد 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان نسبت جذبی سدیم را به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 12/2، 47/9 و 21/4 درصد افزایش داد. این در حالیست که در لایه پایین کاربرد 25، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) میزان نسبت جذبی سدیم را کاهش داد که البته تفاوت بین تیمار 1/25 درصد وزنی و تیمار شاهد معنی‌دار نبود. طبق نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی برهمکنش‌های در دو لایه نیز، میزان نسبت جذبی سدیم در لایه سطحی با میانگین 12/24، به طور معنی‌داری از میزان نسبت جذبی سدیم در لایه پایین با میانگین 7/54 بیشتر است.

طبق طبقه‌بندی خاک‌های شور به روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، به طور میانگین در لایه سطحی فقط در تیمار 2/50 درصد وزنی بیوچار خاک با نسبت جذبی سدیم 15/04، جزء خاک‌های سدیمی طبقه‌بندی شده است. در لایه پایین نیز در تمام تیمارها خطر سدیمی شدن مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر با توجه به نتایج جدول 5، شوری عامل مهم‌تری جهت سدیمی شدن خاک نسبت به بیوچار می‌باشد، زیرا درصد افزایش نسبت جذبی سدیم در اثر شوری به مراتب بیشتر از بیوچار می‌باشد. دانیش و همکاران (2015) در تحقیقی به بررسی تأثیر بیوچار حاصل از چوب گیاه پنبه در دمای 411 درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شنی پرداختند. بیوچار به میزان صفر، 5 و 15 گرم در هر نیم کیلوگرم خاک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد هر دو سطح سبب افزایش معنی‌دار عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم و همچنین نسبت جذبی سدیم در خاک شد. بطوری‌که در تیمار 10 و 30 گرم بیوچار در هر کیلوگرم خاک، میزان نسبت جذبی سدیم به ترتیب 2/7 و 2/9 برابر مقدار آن در تیمار بدون بیوچار به دست آمد.

نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی برهمکنش‌های در دو لایه نیز نشان می‌دهد که میزان کلسیم در لایه سطحی با میانگین 24/2 میلی‌اکی‌والان بر لیتر، به طور معنی‌داری از میزان کلسیم در لایه پایین با میانگین 6/8 میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشتر است. کمتر بودن غلظت کلسیم در لایه پایین نسبت به لایه سطحی را می‌توان به دلیل صعود آب به لایه بالا و تبخیر سطحی دانست که این مسئله سبب حرکت املاح به لایه بالاتر و کاهش غلظت املاح در لایه پایین نیز می‌گردد. به علاوه اینکه چون آب داده شده به گلدان‌ها در اثر کاربرد بیوچار در سطح خاک می‌ماند لذا غلظت عناصر در لایه سطحی بیشتر از لایه پایینی است. در لایه سطحی، بیشترین میزان کلسیم با میانگین 50/13 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار 2/50 درصد وزنی بیوچار در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن با میانگین 5/90 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار بدون بیوچار در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. در لایه پایین نیز، بیشترین و کمترین میزان کلسیم به ترتیب در تیمار بدون بیوچار در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر و تیمار 3/75 درصد وزنی در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. مشابه نتایج به دست آمده در این تحقیق، آنگه‌و و همکاران (2015) در یک آزمایش گلدانی به بررسی تأثیر بیوچار (حاصل از درخت بید و افاقیا در دمای 500 درجه سانتی‌گراد) مخلوط شده با کود معدنی، بر رشد گیاه ذرت و فراهمی عناصر غذایی در خاک تحت کشت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن مخلوط کود معدنی و هر دو نوع بیوچار سبب افزایش میزان پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم در خاک تحت کشت شد. در حالیکه اینال و همکاران (2015) گزارش کردند که کاربرد 20 گرم در کیلوگرم بیوچار سبب کاهش میزان کلسیم خاک شد.

#### نسبت جذبی سدیم در عصاره اشباع خاک

نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر نسبت جذبی سدیم در عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری در جدول 5 نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده، در هر دو لایه، افزایش سطوح شوری سبب افزایش



جدول 5- اثر سطوح بیوچار (B) و شوری آب آبیاری (S) بر نسبت جذبی سدیم (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) در عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)<sup>0/5</sup>

میانگین	سطوح بیوچار				سطوح شوری
	B <sub>3.75</sub>	B <sub>2.50</sub>	B <sub>1.25</sub>	B <sub>0</sub> *	
لایه صفر تا 10 سانتی‌متری					
5/79 <sup>D</sup>	7/74 $\pm$ 0/39 <sup>g</sup>	7/82 $\pm$ 0/38 <sup>g</sup>	4/46 $\pm$ 0/17 <sup>h</sup>	3/16 $\pm$ 0/03 <sup>i***</sup>	S <sub>0</sub> **
12/81 <sup>C</sup>	11/31 $\pm$ 0/03 <sup>f</sup>	15/72 $\pm$ 0/21 <sup>c</sup>	12/91 $\pm$ 0/34 <sup>de</sup>	11/28 $\pm$ 0/50 <sup>f</sup>	S <sub>2.5</sub>
14/25 <sup>B</sup>	15/06 $\pm$ 0/26 <sup>c</sup>	17/10 $\pm$ 0/34 <sup>b</sup>	12/40 $\pm$ 0/35 <sup>e</sup>	12/43 $\pm$ 0/35 <sup>e</sup>	S <sub>5</sub>
16/12 <sup>A</sup>	15/29 $\pm$ 0/31 <sup>c</sup>	19/54 $\pm$ 0/25 <sup>a</sup>	15/87 $\pm$ 0/37 <sup>c</sup>	13/79 $\pm$ 0/41 <sup>d</sup>	S <sub>7.5</sub>
	12/35 <sup>B</sup>	15/04 <sup>A</sup>	11/41 <sup>C</sup>	10/17 <sup>D</sup>	میانگین
لایه 10 تا 20 سانتی‌متری					
4/29 <sup>C</sup>	3/83 $\pm$ 0/31 <sup>f</sup>	3/42 $\pm$ 0/11 <sup>f</sup>	6/36 $\pm$ 0/18 <sup>e</sup>	3/54 $\pm$ 0/11 <sup>f</sup>	S <sub>0</sub>
6/50 <sup>B</sup>	5/36 $\pm$ 0/39 <sup>e</sup>	5/74 $\pm$ 0/24 <sup>e</sup>	9/63 $\pm$ 0/44 <sup>c</sup>	5/29 $\pm$ 0/53 <sup>e</sup>	S <sub>2.5</sub>
9/59 <sup>A</sup>	10/53 $\pm$ 0/46 <sup>bc</sup>	8/28 $\pm$ 0/38 <sup>d</sup>	8/30 $\pm$ 0/25 <sup>d</sup>	11/26 $\pm$ 0/35 <sup>b</sup>	S <sub>5</sub>
9/79 <sup>A</sup>	5/82 $\pm$ 0/37 <sup>e</sup>	10/87 $\pm$ 0/30 <sup>b</sup>	8/14 $\pm$ 0/39 <sup>d</sup>	14/32 $\pm$ 0/82 <sup>a</sup>	S <sub>7.5</sub>
	6/38 <sup>C</sup>	7/08 <sup>B</sup>	8/11 <sup>A</sup>	8/60 <sup>A</sup>	میانگین

\* B<sub>0</sub>, B<sub>1.25</sub>, B<sub>2.50</sub> و B<sub>3.75</sub> بیان‌کننده سطوح بیوچار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی می‌باشد.

\*\* S<sub>0</sub>، S<sub>2.5</sub>، S<sub>5</sub> و S<sub>7.5</sub> نیز به ترتیب بیان‌کننده سطوح شوری 0/5، 2/5، 5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

\*\*\* در هر لایه، حروف مشابه کوچک و بزرگ، به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار شوری و بیوچار می‌باشد.

#### قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

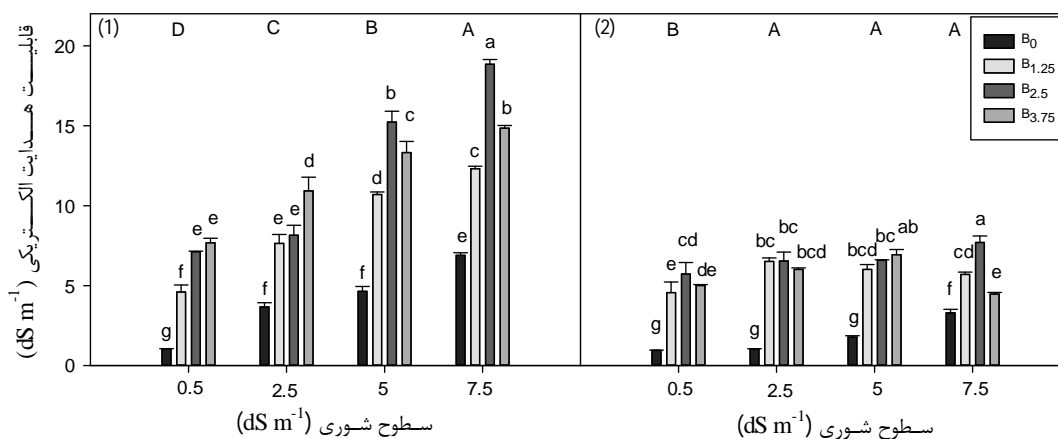
شکل 2 مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در دو لایه صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متری را نشان می‌دهد. در هر دو لایه، بیشترین و کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمارهای B<sub>2.5</sub>S<sub>7.5</sub> و B<sub>0</sub>S<sub>0</sub> مشاهده می‌گردد، هرچند که در لایه پایین، تفاوت معنی‌داری بین B<sub>0</sub>S<sub>0</sub> و B<sub>0</sub>S<sub>2.5</sub> و همچنین B<sub>0</sub>S<sub>5</sub> نمی‌باشد. در لایه سطحی و در سطح بیوچار شاهد (بدون بیوچار)، با افزایش شوری از صفر به 7/5 دسی‌زیمنس بر متر، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی 6/7 برابر شده است در حالی که در سطح بیوچار 3/75 درصد وزنی 1/9 برابر شده است. این مقادیر به ترتیب در لایه پایین 3/5 و 0/9 برابر گردیده است که مؤید این مطلب است که مقادیر بالای کاربرد بیوچار می‌تواند در کنترل شوری موثر واقع شود. طبق نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی لایه، میزان قابلیت هدایت الکتریکی در لایه سطحی (با میانگین 9/2

دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به میزان قابلیت هدایت الکتریکی در لایه پایین (با میانگین 4/9 دسی‌زیمنس بر متر)، افزایش معنی‌داری یافت که همین مساله بالاتر بودن غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم در لایه بالایی را تأیید می‌کند. در واقع با توجه به مساله تبخیر از سطح خاک و همچنین جذب بیشتر آب از لایه سطحی در مقادیر بالای کاربرد بیوچار، بیشترین عناصر در لایه سطحی جذب شده و باعث افزایش شوری گردیده است که در نتیجه این مساله غلظت عناصر در لایه زیرین کاهش یافته است. در واقع تبخیر از سطح خاک و در نتیجه حرکت آب به سطح خاک، می‌تواند منجر به انتقال املاح به لایه سطحی خاک و در نتیجه افزایش شوری شود. در هر دو لایه افزایش شوری سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نسبت به تیمار شاهد (0/5 دسی‌زیمنس بر متر) گردید.

به طوریکه در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر، میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به ترتیب در لایه سطحی و پایین 158/9 و 30/5 درصد

تحت کشت پرداختند. سطوح شوری صفر، 35، 50 و 65 میلی‌مولار کلرید سدیم جهت اعمال تنش شوری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک تحت کشت باقلا شد در حالیکه افزایش شوری تأثیری بر میزان پهاش خاک نداشت.

بیشتر از میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر همان لایه بود. در لایه پایین بین تیمارهای حاوی نمک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، که علت این امر را می‌توان به تجمع بیشتر عناصر در لایه سطحی ارتباط داد. ماتیجویک و همکاران (2012) در یک آزمایش گلخانه‌ای به بررسی تأثیر شوری بر غلظت عناصر در گیاه باقلا و در خاک



شکل 2- اثر سطوح بیوجار (B) و شوری آب آبیاری (S) بر قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر). نمودار 1 و 2 به ترتیب مربوط به لایه سطحی (صفر تا 10 سانتی‌متری) و پایین (10 تا 20 سانتی‌متری) خاک می‌باشند. B₀، B₁,₂₅، B₂,₅ و B₃,₇₅ بیان‌کننده سطوح بیوجار اعمال شده به ترتیب در سطح صفر، 1/25، 2/50 و 3/75 درصد وزنی می‌باشد. S₀، S₂,۵، S₅ و S₇,۵ نیز به ترتیب بیان‌کننده سطوح شوری 0/5، 2/5، 5 و 7/5 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. حروف مشابه کوچک و بزرگ، به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار شوری می‌باشد. خطوط عمودی نیز میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

کشت لوبیا افزایش یافت. هامر و همکاران (2015) نیز در طی تحقیقات خود بیان کردند که افزودن بیوجار سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین نتایج تحقیق نجفی قیری (1394) نشان داد که افزودن 2 درصد بیوجارهای بقایای ذرت، چوب ذرت، بقایای گندم، بقایای پنبه و بقایای کنجد سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک آهکی گردید، به نحوی که بیشترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در بیوجار بقایای گندم مشاهده گردید (0/51 دسی‌زیمنس بر متر).

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی و عناصر سدیم پتاسیم و کلسیم در خاک تحت کشت شد. همچنین نتایج نشان داد که در هر دو لایه خاک، کاربرد کلیه سطوح بیوجار، سبب شور شدن خاک

کاربرد سطوح بیوجار در مقایسه با شاهد (بدون بیوجار) در هر دو لایه قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع را به طور معنی‌داری افزایش داد. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در اثر افزودن بیوجار، احتمالاً به دلیل قابلیت هدایت الکتریکی زیاد (7/5 دسی‌زیمنس بر متر) بیوجار افزوده شده به خاک است (جدول 1). در لایه سطحی، بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی با میانگین 18/84 دسی‌زیمنس بر متر در تیمار 2/50 درصد وزنی بیوجار در سطح شوری 7/5 دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن با میانگین 1/03 دسی‌زیمنس بر متر در تیمار بدون بیوجار در سطح شوری 0/5 دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. در لایه پایین نیز، بیشترین و کمترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی با میانگین 7/7 و 0/95 دسی‌زیمنس بر متر در همان سطوح ذکر شده در لایه سطحی به دست آمد. زی و همکاران (2014) گزارش کردند که با افزودن 5 گرم بر کیلوگرم بیوجار تولید شده از چوب درخت، قابلیت هدایت الکتریکی در خاک تحت

نظر مواد معدنی مانند پتاسیم و کلسیم فقیر هستند، استفاده کرد، لیکن باید اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک مانند افزایش شوری را به‌ویژه در سال‌های اول پس از کاربرد بیوچار مد نظر قرار داد و یا اینکه برای جلوگیری از اثرات منفی احتمالی بیوچار بر شوری خاک، ابتدا بیوچار آبخوبی شده و شوری آن کاهش یابد و سپس به خاک اضافه شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه شیراز و همچنین حمایت مرکز مطالعات خشکسالی و قطب علمی مدیریت آب در مزرعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

گردید (قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر از 4 دسی‌زیمنس بر متر) که به دلیل بالاتر بودن قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار نسبت به خاک می‌باشد. از طرفی چون بیوچار مورد استفاده حاوی سدیم نیز بوده است، افزودن آن به خاک سبب افزایش میزان سدیم نیز شده است اما این افزایش به اندازه‌ی افزایش غلظت سدیم در خاک در اثر آبیاری با آب شور نبوده است و این امر سبب تاثیر بیشتر آب شور بر سدیمی شدن خاک ( $SAR > 13$ ) نسبت به بیوچار می‌باشد. به‌علاوه، درصد افزایش پتاسیم در لایه سطحی در اثر استفاده از بیوچار به مراتب بیشتر از درصد افزایش آن تحت اثر شوری بوده است. لذا می‌توان از بیوچار به عنوان یک عناصر غذایی در خاک‌هایی که از

### فهرست منابع:

1. گویلی، ا.، ع. موسوی و ع. ا. کامگار حقیقی. 1395. اثر بیوچار کود گاوی و تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج در شرایط گلخانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی. 30/2 (2): 243-259.
2. نجفی قیری، م. 1394. تأثیر کاربرد بیوچارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 29 (3): 351-358.
3. Abiven, S., M. W. I. Schmidt, and J. Lehmann. 2014. Biochar by design. *Nature Geoscience*. 7(5): 326-327.
4. Agegnehu, G., M.I. Bird, P.N. Nelson, and A.M. Bass. 2015. The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. *Soil Research*. 53(1): 1-12.
5. Anegebe, B., J.M. Okuo, E.O. Ewekay, and D.E. Ogbeifun. 2014. Fractionation of lead-acid battery soil amended with Biochar. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. 7(2): 36-43.
6. Cheng, C.H., J. Lehmann, and M.H. Engelhard. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72(6): 1598-1610.
7. Cheng, Y., Z.C. Cai, S.X. Chang, J. Wang, and J.B. Zhang. 2012. Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and  $N_2O$  production in a cultivated Black Chernozem. *Biology and Fertility of Soils*. 48(8): 941-946.
8. Danish, S., U. Younis, S. Nasreen, N. Akhtar, M. Ehsanullah, and M.T. Iqbal. 2015. Biochar consequences on cations and anions of sandy soil. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 6(2): 121-131.
9. Enders, A., K. Hanley, T. Whitman, S. Joseph, and J. Lehmann. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*. 114: 644-653.
10. Fang, Y., B. Singh, B.P. Singh, and E. Krull. 2014. Biochar carbon stability in four contrasting soils. *European Journal of Soil Science*. 65(1): 60-71.
11. Gaskin, J.W., C. Steiner, K. Harris, K.C. Das, and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 51(6): 2061-2069.
12. Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and Fertility of Soils*. 35(4): 219-230.

13. Hammer, E.C., M. Forstreuter, M.C. Rillig, and J. Kohler. 2015. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. *Applied Soil Ecology*. 96: 114-121.
14. Inal, A., A. Gunes, O. Sahin, M.B. Taskin, and E.C. Kaya. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*. 31(1): 106-113.
15. Kanwal, S., N. Ilyas, S. Shabir, M. Saeed, R. Gul, M. Zahoor, N. Batool, and R. Mazhar. 2018. Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 41(4): 526-538.
16. Khan, S., B.J. Reid, G. Li, and Y.G. Zhu. 2014. Application of biochar to soil reduces cancer risk via rice consumption: a case study in Miaoqian village, Longyan, China. *Environment International*. 68: 154-161.
17. Knudsen, D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt. 1982. *Methods of Soil analysis . Part 2/2 ed Monograph No : 9, American Society of Agronomy. Madison WI, pp, 225-246.*
18. Kookana, R.S., A.K. Sarmah, L. van Zwieten, E. Krull, and B. Singh. 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in Agronomy*. 112: 103-143.
19. Lashari, M.S., Y. Ye, H. Ji, L. Li, G.W. Kibue, H. Lu, and G. Pan. 2014. Biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 95(6): 1321-1327.
20. Lehmann, J., J.P. Da Silva Jr, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. 249(2): 343-357.
21. Matijevic, L. D. Romic, N. Maurovic, and M. Romic. 2012. Saline irrigation water affects element uptake by bean plant (*Vicia faba* L.). *European Chemical Bulletin*. 1(12): 498-502.
22. Moameni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Soil Research Journal*. 24: 203-215. (In Persian).
23. Nigussie, A., E. Kissi, M. Misganaw, and G. Ambaw. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*. L.) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*. 12(3): 369-376.
24. O'neill, B., J. Grossman, M.T. Tsai, J.E. Gomes, J. Lehmann, J. Peterson, E. Neves, and J.E. Thies. 2009. Bacterial community composition in Brazilian anthrosols and adjacent soils characterized using culturing and molecular identification. *Microbial Ecology*. 58(1): 23-35.
25. Peng, F., P.W. He, Y. Luo, X. Lu, Y. Liang, and J. Fu. 2012. Adsorption of phosphate by biomass char deriving from fast pyrolysis of biomass waste. *Clean Soil, Air, Water*. 40(5): 493-498.
26. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*. 78(2): 154-158.
27. Suarez, D. L. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil and drainage waters. *Soil Science Society of America Journal*. 45(3): 469-475.
28. Wu, Y., G. Xu, and H.B. Shao. 2014. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. *Solid Earth*. 5(2): 665-671.
29. Xie, T., K.R. Reddy, C. Wang, and K. Xu. 2014. Effects of amendment of biochar produced from woody biomass on soil quality and crop yield. *American Society of Civil Engineers*. 55(1): 32-36.
30. Yuan, J. H., and R.K. Xu. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*. 27(1): 110-115.

## Effect of Biochar and Saline Irrigation Water on Chemical Properties of Soil under Fababean Cultivation

**N. Rezaie, F. Razzaghi<sup>1</sup>, A. R. Sepaskhah, S. A. A. Moosavi**

MSc., Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University;  
E-mail: nahi92rzi@yahoo.com

Assistant Professor, Water Engineering Department and Drought Research Center, School of Agriculture,  
Shiraz University; E-mail: razzaghi@shirazu.ac.ir

Professor, Water Engineering Department and Drought Research Center, School of Agriculture, Shiraz  
University; E-mail: sepas@shirazu.ac.ir

Associate Professor, Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University;  
E-mail: aamousavi@gmail.com

Received: October, 2017 and Accepted: April, 2017

### Abstract

Nowadays, due to limited water resources and low soil fertility, especially in arid and semi-arid regions, the use of water with low quality (such as saline water) and soil amendments such as biochar is essential. Biochar is a kind of charcoal produced from plant residue and animal manure, which improves soil physical and chemical properties due to its porous structure. Therefore, the current research was conducted to investigate the effect of different levels of saline irrigation water and biochar on soil chemical properties under faba bean cultivation. Four saline irrigation water treatments having EC values of 0.5, 2.5, 5 and 7.5 dS m<sup>-1</sup> and four levels of biochar including 0, 1.25, 2.5 and 3.75 % w/w were applied based on completely randomized design with three replications. Chemical properties such as potassium, calcium, and sodium ions concentration, sodium adsorption ratio, and electrical conductivity of saturated extract were measured in two depths of 0-10 and 10-20 cm. The results showed that increase in salinity and biochar levels increased the amount of sodium, potassium, and calcium ions and also soil electrical conductivity. Further, all ions concentration, sodium adsorption ratio, and electrical conductivity in the depth of 0-10 cm were higher than 10-20 cm depth, due to soil evaporation and water and solute movement towards upper layer. According to the results obtained in this study, it can be concluded that the use of biochar as a rich source of plant nutrients can greatly increase availability of nutrients such as calcium and potassium in soil, but, the negative effects of biochar application, such as increasing salinity, should be considered.

**Keywords:** Sodium, Potassium, Calcium, Electrical conductivity, Sodium adsorption ratio

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Water Engineering Department, School of Agricultural, Shiraz University