نشریه زیست‌شناسی خاک / جلد 6 / شماره 2 / 1397

10.22092/sbj.2018.121554.132

# اثر بیوچار کود مرغی و قارچ *فونلیفورمیس موسه* بر رشد، غلظت و جذب برخی عناصر پرمصرف و شاخص سبزینگی در گیاه ذرت تحت تنش شوری

راضیه کاظمی[1]، عبدالمجید رونقی، جعفر یثربی، رضا قاسمی فسایی و مهدی زارعی

دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **r.kazemi1@yahoo.com**

استاد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **amronaghi@yahoo.com**

استادیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **j-yasrebi@yahoo.com**

دانشیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **ghasemif@shirazu.ac.ir**

دانشیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **mehdizarei@shirazu.ac.ir**

دریافت: **97/2/10** و پذیرش: **97/7/18**

## چکیده

**شوری از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در جهان است، که یکی از اثرات منفی آن ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی به دلیل غلظت بالای یون‌های سدیم و کلر می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از قدرت جذب بالای بیوچار در جذب سدیم، کاهش نسبت سدیم به پتاسیم گیاه و کاهش اثرات منفی شوری بر رشد گیاه، غلظت و جذب نیتروژن و فسفر همراه با کاربرد قارچ ریشه به عنوان اصلاح کننده زیستی بود. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل مواد آلی در پنج سطح [عدم مصرف ماده آلی، کود مرغی (1% و 2%) و بیوچار کود مرغی (1% و 2%)]، شوری در چهار سطح ( 0/5، 3/6، 7/9، و 12/4 دسی‌زیمنس بر متر) و قارچ در دو سطح (شاهد بدون قارچ و مایه‌زنی با *فونلیفورمیس موسه*) بودند. کاربرد کود مرغی وبیوچار به طور معنی-داری وزن خشک، شاخص سبزینگی، غلظت و جذب عناصر پرمصرف را افزایش اما درصد کلنیزاسیون ریشه را کاهش دادند. کاربرد کود مرغی غلظت سدیم گیاه ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داد. با این حال، کاربرد بیوچار کود مرغی تغییری در غلظت سدیم گیاه در مقایسه با تیمار شاهد نشان نداد، اما افزایش غلظت پتاسیم اندام‌هوایی نسبت سدیم به پتاسیم گیاه را به طور معنی‌داری کاهش داد. کاربرد بیوچار در سطوح شوری بالا و متوسط (7/9 و 12/4 دسی‌زیمنس بر متر) نسبت سدیم به پتاسیم را در اندام‌هوایی گیاه کاهش داد. هرچند کاربرد قارچ در سطح 2% بیوچار (به دلیل بالا بودن میزان فسفر بیوچار)، تفاوت معنی‌داری را در رشد گیاه ایجاد نکرد. به طورکلی نتایج نشان داد که میزان عملکرد ماده خشک ذرت در تیمار یک درصد بیوچار همراه با *فونلیفورمیس موسه* مشابه عملکرد در تیمار دو درصد کود مرغی بود و همچنین مانع کارایی قارچ در کاهش نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی گیاه در سطوح بالای شوری نگردید.**

**واژه‌های کلیدی:** پیرولیز، ذرت، سدیم کلرید، قارچ ریشه آربوسکولار، نسبت سدیم به پتاسیم

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش علوم خاک

## مقدمه

گیاهان در طبیعت اغلب با انواع مختلفی از تنش‌های زیستی مانند شوری، خشکی و دمای نامطلوب در طول دوره رشد خود رو به رو می‌شوند (ماراده و همکاران، 2018). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، شور شدن خاک‌ها مانع مهمی برای بهینه‌سازی استفاده از اراضی است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که حدود 34 میلیون هکتار از اراضی جهان، شامل 4/1 میلیون هکتار از زمین‌های تحت آبیاری، به علت پدیده‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر نمک هستند (غدیر و همکاران، 2008).

ذرت (*Zea mays* L.)، پس از برنج و گندم، سومین محصول مهم غلات است و در طیف وسیعی از خاک و شرایط آب و هوایی رشد می‌کند. این گیاه $C_4$نسبت به تنش شوری نسبتاً حساس است (فروق و همکاران، 2015). افزایش غلظت نمک در خاک باعث کاهش توانایی گیاه در جذب آب می‌شود و بر فرآیندهای متابولیکی، تعادل اسمزی، جذب عناصر غذایی، سرعت فتوسنتز و به طورکلی رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (الهیندی و همکاران 2017). نسبت بالای یون $Na^+$ در مقایسه با سایر یون‌ها از طریق کاهش توانایی گیاه، در جذب سایر یون‌ها مانند $K^+$، $Ca^{2+}$ و $Mn^{2+}$ اختلال ایجاد می‌کند (هاسگاوا و همکاران، 2000).

بیوچار که ماده مشابه زغال است و از حرارت دادن هر ترکیب ارگانیک از طریق فرآیند پیرولیز به دست می‌آید، به دلیل قدرت جذب بالا احتمالاً می‌تواند علاوه بر اصلاح خاک‌های آلوده و سمی (احمد و همکاران، 2014؛ یوچیمیا و همکاران، 2012)، در بهبود شرایط گیاهان تحت تنش شوری نیز مؤثر باشد. همچنین بیان کردند که بیوچار به دلیل قدرت جذب بالا می‌تواند با کاهش غلظت $Na^+$ و نسبت $Na^+/K^+$ اثر منفی شوری بر رشد گیاه را کاهش دهد (اختر و همکاران، 2015؛ نادیان و همکاران، 1392). بیوچار با کاهش جذب سدیم توسط گیاه از طریق نگهداری سدیم بر سطح خود اثر شوری بر گیاه را کاهش می‌دهد (لاشاری و همکاران 2015). تعدادی از پژوهشگران بیان کردند که بیوچار اثرات منفی شوری بر گیاه را کاهش می‌دهد (پاتل و همکاران، 2017؛ کنوال و همکاران، 2017 ) در اصلاح خاک‌های شور به وسیله بیوچار ویژگی‌های خاک و بیوچار هر دو مهم هستند. بافت خاک، سطح شوری و غلظت عناصر از ویژگی‌های مهم خاک هستند که باید قبل از پیشنهاد کاربرد بیوچار به عنوان ماده آلی اصلاح کننده در نظر گرفته شوند. همچنین نوع بیوچار و ماده مورد استفاده برای تهیه بیوچار مناسب، از عوامل کلیدی در اثر بخشی بیوچار به عنوان یک ماده آلی هستند. نتایج متناقضی در مورد اصلاح خاک‌های شور با استفاده از بیوچار موجود است، که احتمالاً به دلیل طیف گسترده از نوع بیوچارها و خاک‌های مورد استفاده در این تحقیقات است (امینی و همکاران، 2016). همچنین هم‌زیستی ذرت با قارچ ریشه آربوسکولار، بعنوان یک اصلاح کننده زیستی، مقاومت به شوری ذرت را با مکانیسم‌های مختلف از جمله بهبود رشد، کاهش نسبت $Na^+/K^+$ و بهبود تعادل اسمزی افزایش می‌دهد. هرچند که شوری هم می‌تواند اثرات منفی بر کلنیزاسیون قارچ ریشه داشته باشد (اولین و همکاران، 2009؛ آیوگ و همکاران 2014؛ فروق و همکاران، 2015). در تحقیقی عملکرد گیاه ذرت هم زیست با قارچ ریشه آربوسکولار در شرایط تنش شوری بررسی و گزارش شد غلظت سدیم و کلرید در اندام-هوایی گیاهان کلنیزه شده با قارچ کاهش یافت، همچنین بیان شد که درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه در سطح هشت دسی زیمنس بر متر به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت (احمدی قشلاقی و همکاران، 1394). کاربرد گونه‌های *گلوموس اینترارادیس* و *گلوموس موسه*، در تنش شوری 10 دسی زیمنس بر متر به ترتیب به میزان 39/69 و 40/45 درصد نسبت سدیم به پتاسیم را در گیاه ذرت کاهش داد (کاظمینی و همکاران، 1396). اطلاعات موجود نشان می‌دهدکه تحمل به شوری (نمک) در گیاهان زراعی با تغییر سطح حاصلخیزی خاک تغییر می‌کند و گیاهان در سطح حاصلخیزی پایین با دریافت کود کافی با توجه به محدودیت شوری مقاومت نشان می‌دهند. با توجه به جذب فسفر در مناطق گرم و خشک و در خاک‌های آهکی، انتظار می‌رود که بتوان با استفاده از قارچ ریشه به یک راهکار جدید در خصوص افزایش جذب فسفر در خاک-های شور و کاهش مصرف بی رویه کودهای فسفره دست یافت (پارسا مطلق و همکاران، 1390).

با توجه به این که اکثر مطالعات در مورد بیوچار در سراسر جهان در خاک‌های غیرشور انجام شده است (امینی و همکاران، 2016)، این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار و قارچ ریشه آربوسکولار بر غلظت سدیم ($Na^+$)، پتاسیم ($K^+$)، نسبت سدیم به پتاسیم ($Na^+/K^+$) (به عنوان شاخص تحمل شوری) و به طور کلی پاسخ-های گیاه ذرت تحت تنش شوری اجراء گردید.

## مواد و روش‌ها

مقدار کافی خاک از افق سطحی خاک سری چیتگر واقع در منطقه سروستان تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت خاک به روش

هیدرومتری (بیوکاس 1962)، ماده آلی به روش اکسایش با بی کرومات پتاسیم و سپس تیتره کردن بافروآمونیوم سولفات (نلسون و سامر، 1996)، پ‌هاش خاک در خمیر اشباع به وسیله پ‌هاش‌متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم (سامر 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی به وسیله اسید کلریدریک (لوپرت و سوارز، 1996)، فسفر قابل استفاده به وسیله عصاره‌گیری با بی کربنات سدیم (السن، 1954) و اندازه‌گیری با اسپکتروفتومتر، نیتروژن کل توسط روش کلدال (برمنر و همکاران، 1996)، و عناصر کم مصرف به وسیله عصاره‌گیری با عصاره‌گیرDTPA (لیندسی و نرول، 1978) و اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین شد (جدول 1).

**جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه**

| ویژگی | مقدار | ویژگی | مقدار |
|---|---|---|---|
| شن (درصد) | 29/5 | فسفر محلول در بیکربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 8/00 |
| سیلت (درصد) | 44/9 | کربنات کلسیم معادل (درصد) | 44/8 |
| رس (درصد) | 25/6 | ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم) | 8/00 |
| بافت | لوم | منگنز قابل استخراج با دی.تی.پی.ا. (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 5/57 |
| ماده آلی (درصد) | 1/6 | مس قابل استخراج با دی.تی.پی.ا. (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 0/92 |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | 0/5 | آهن قابل استخراج با دی.تی.پی.ا. (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 3/20 |
| پ هاش خمیر اشباع | 7/78 | روی قابل استخراج با دی.تی.پی.ا. (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 0/52 |
| نیتروژن کل (درصد) | 0/12 | کادمیوم قابل استخراج با دی.تی.پی.ا. (میلی‌گرم در کیلوگرم) | ND* |

*غیر قابل تشخیص

مقدار کافی کود مرغی تهیه و پس از هوا خشک کردن و پودر کردن آن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای تهیه بیوچار کود مرغی با استفاده از کوره الکتریکی ( Heraeus مدل K-1252) دما با روند افزایش 15 درجه سلسیوس در دقیقه افزایش یافت و به مدت چهار ساعت در دمای ثابت 300 درجه سلسیوس و در شرایط عدم وجود اکسیژن آزاد، حرارت داده شد. دمای 300 درجه سلسیوس به عنوان دمای مناسب با توجه به نتایج گزارش سایر پژوهشگران (زلفی‌باوریانی و همکاران، 2016) انتخاب گردید. قابلیت هدایت الکتریکی و پ‌هاش در نسبت 1:5 نمونه به آب (سینگ و همکاران، 2010) تعیین شد. مقدار کل عناصر (Fe, Cu Zn, Mn, Cd, Pb) به‌روش هضم در اسید و توسط دستگاه جذب اتمی (مدل شیمادزو) و نیتروژن کل توسط دستگاه کلدال (برمنر، 1996) اندازه‌گیری شد. فسفر به روش وانادیوم- مولیبدات (کوتن، 1980) و سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد. همچنین عملکرد بیوچار که نشان‌دهنده نسبت وزنی تبدیل کود مرغی به بیوچار است با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$yield(\%) = \frac{B}{PM} \times 100$$

در این معادله PM وزن مشخصی از کود مرغی قبل از بیوچار شدن و B وزن بیوچار آن می‌باشد. برخی ویژگی‌های مواد آلی استفاده شده در پژوهش حاضر در جدول 2 ارائه گردید.

کود مرغی و بیوچار حاصل از آن، در یک طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل با سه تکرار به کار برده شد. فاکتورها شامل مواد آلی در پنج سطح [عدم مصرف ماده آلی، کود مرغی (1% و 2%) و بیوچار کود مرغی ( 1% و 2%)]، شوری در چهار سطح (0/5، 3/6، 7/9، و 12/4 دسی‌زیمنس بر متر) و قارچ ریشه آربوسکولار در دو سطح (شاهد (عدم تلقیح) و *فونلیفورمیس موسه*) بودند. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون خاک عناصرغذایی مورد نیاز (10 میلی‌گرم در کیلوگرم آهن و منگنز، 75 میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و 20 میلی گرم در کیلوگرم فسفر) به خاک اولیه به صورت یکنواخت به همه گلدان‌ها افزوده شد. کلرید سدیم به تدریج به خاک افزوده شد. قارچ *فونلیفورمیس موسه* که از منطقه انگوران زنجان شناسایی و جداسازی شده (زارعی، 1378) به‌روش کشت تله‌ای با گیاه ذرت در گلخانه بخش علوم خاک دانشگاه شیراز به مدت چهار ماه تکثیر یافت. هنگام کاشت مقدار 50 گرم از زادمایه قارچ ریشه آربوسکولار شامل اسپور (11 اسپور در هر گرم

زادمایه) هیف و قطعات ریشه (85% کلنیزاسیون) و بستر در هر گلدان سه کیلوگرمی در عمق پنج سانتی‌متری از سطح خاک پخش و روی آن مقدار کافی خاک غیر استریل اضافه شد. سپس در هر گلدان چهار عدد بذر ذرت کاشته شد، به طوری که زادمایه قارچ در عمق حدود یک سانتی‌متری زیر بذر قرار گرفت. در تیمار شاهد (بدون قارچ)، مقدار معادل (50 گرم) از گلدان‌های شاهد بدون قارچ، نگه‌داری شده در مرحله تکثیر قارچ به کار رفت. بعد از جوانه زنی و استقرار گیاهان، تعداد گیاه در هر گلدان به دو بوته یکنواخت کاهش داده شد. در طول دوره رشد گلدان‌ها روزانه به وسیله آب مقطر تا حدود 80 درصد ظرفیت مزرعه با روش توزین آبیاری شدند.

ده هفته بعد از جوانه زنی یا شانزده برگی (آخر فصل رشد رویشی)، شاخص سبزینگی گیاه در هر گلدان با کلروفیل سنج دستی ( SPAD -502) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت عناصرغذایی مورد نظر در نمونه‌های گیاه، بعد از جداسازی اندام‌هوایی گیاه و ریشه، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شد. نمونه‌ها در آون و در دمای 65 درجه سلسیوس خشک و پس از ثابت شدن وزن خشک، توزین و با استفاده از آسیاب برقی پودر گردیدند. سپس یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی در دمای 550 درجه سلسیوس خاکستر شد. خاکستر حاصل در پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و پس از شستشو با آب مقطر داغ و صاف نمودن با استفاده از کاغذ صافی، حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر به 50 میلی متر رسانده شد و غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل CORNING 405 اندازه‌گیری شد. فسفر به روش وانادیوم- مولیبدات (کوتن، 1980) و نیتروژن کل توسط دستگاه کلدال تعیین شد. جذب کل نیتروژن و فسفر (وزن خشک × غلظت عنصر) در اندام-هوایی محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری کلنیزاسیون ریشه حدود 1 تا 2 گرم از ریشه‌های نازک و ظریف جهت رنگ آمیزی ریشه و اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه برداشت شد و کلنیزاسیون ریشه (%) با استفاده از روش تقاطع خطوط شبکه بعد از پاکسازی ریشه‌های شسته شده در پتاسیم هیدروکسید 10 درصد و رنگ آمیزی آن با جوهر آبی در لاکتوگلیسرول (v/v) بر اساس روش (کرمانیک و مککرا، 1982) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل پاسخ‌های گیاهی شامل وزن خشک اندام‌هوایی، اعداد قرائت شده توسط کلروفیل‌متر، کلنیزاسیون ریشه، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، غلظت و جذب کل نیتروژن و فسفر اندام‌هوایی با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و Excel انجام و میانگین‌ها با آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

### شاخص سبزینگی و عملکرد ماده خشک

تجزیه واریانس عوامل اصلی و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سبزینگی و وزن خشک اندام‌هوایی در جدول 3 نشان داده شده است. شاخص سبزینگی گیاه ذرت با افزودن کود مرغی و بیوچار حاصل از آن به طور معنی-داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل 1-الف). افزایش کود مرغی و بیوچار حاصل از آن (2% وزنی) شاخص سبزینگی گیاه را به ترتیب به میزان 34 و 29 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. با توجه به این که شاخص سبزینگی با میزان نیتروژن مرتبط است، می-توان گفت افزایش نیتروژن حاصل از کاربرد این مواد آلی (جدول 2) احتمالاً باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی شده‌است. گویلی و همکاران (1395) بیان کردند که بیوچار کود گاوی به طور معنی‌داری شاخص سبزینگی گیاه اسفناج را افزایش داده است. بالاترین سطح شوری (12/4 دسی زیمنس بر متر) به میزان 10 درصد شاخص سبزینگی گیاه را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و سایر سطوح شوری اثر معنی‌داری بر شاخص سبزینگی گیاه نداشتند (شکل 1-ب). اثر قارچ *فونلیفورمیس موسه* بر شاخص سبزینگی گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول 3).

**جدول 2- برخی ویژگی‌های کود مرغی و بیوچار حاصل از آن**

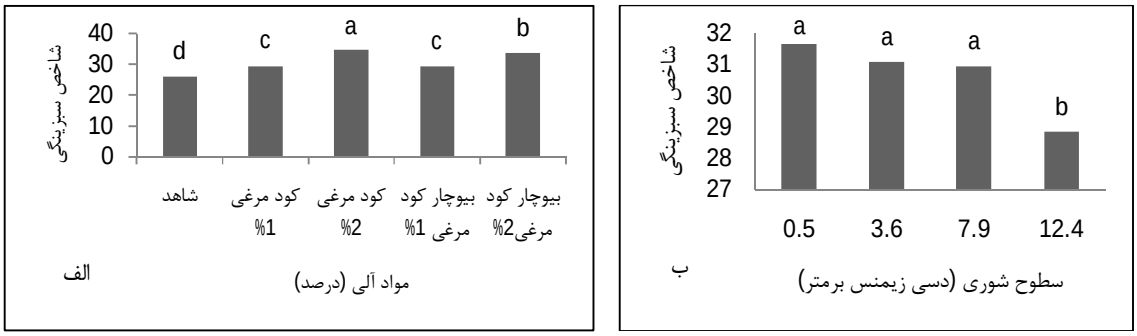
| ویژگی | ماده آلی | |
|---|---|---|
| | کود مرغی | بیوچار کود مرغی |
| پ هاش (نسبت 1:5) | 7/30 | 7/27 |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) (نسبت 1:5) | 5/80 | 7/5 |
| ظرفیت تبادل کاتیونی ( سانتی‌مول بار در کیلوگرم) | 60 | 69 |
| نیتروژن کل (درصد) | 3/3 | 3/6 |
| فسفر کل (درصد) | 2/0 | 2/7 |
| سدیم (درصد) | 0/126 | 0/172 |
| پتاسیم (درصد) | 0/175 | 0/244 |
| آهن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 1780 | 1916 |
| منگنز کل (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 495 | 595 |
| روی کل (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 317 | 430 |
| مس کل (میلی‌گرم در کیلوگرم) | 35/5 | 48 |
| کلسیم کل (درصد) | 13/16 | 17/65 |
| منیزیم کل (درصد) | 0/169 | 0/345 |
| عملکرد (درصد) | _ | 70 |

**جدول 3- تجزیه واریانس تأثیر مواد آلی، سطوح شوری، قارچ و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سبزینگی، وزن خشک و کلنیزاسیون ریشه**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | شاخص سبزینگی | وزن خشک اندام هوایی | کلنیزاسیون ریشه |
| مواد آلی | 4 | 308/25** | 58/07** | 878/39** |
| سطوح شوری | 3 | 45/17** | 116/15** | 462/77** |
| قارچ | 1 | 0/001ns | 5/62ns | 117813** |
| مواد آلی x سطوح شوری | 12 | 43/83ns | 11/33ns | 3/05ns |
| مواد آلی x قارچ | 4 | 0/50ns | 40/05** | 869/85** |
| سطوح شوری x قارچ | 3 | 1/67ns | 20/55ns | 446/87** |
| مواد آلی x سطوح شوری x قارچ | 12 | 3/83ns | 7/19ns | 3/66ns |

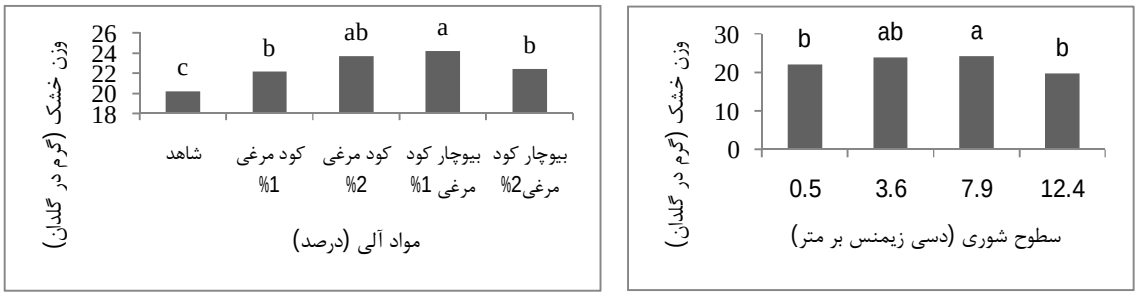
از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. ns

* و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد

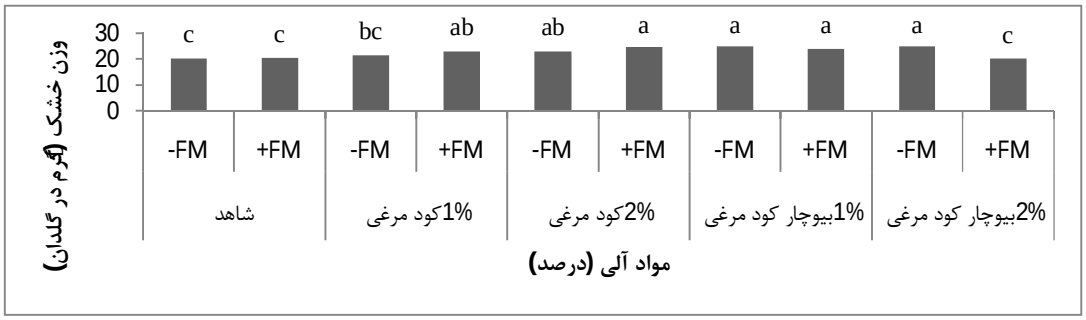



**شکل 1- اثر اصلی مواد آلی (الف) سطوح شوری (ب) بر شاخص سبزینگی گیاه ذرت**

مواد آلی به کار برده شده (کود مرغی و بیوچار حاصل از آن) در هر دو سطح 1 و 2 درصد به طور معنی‌داری وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل 2-الف). بالاترین میزان وزن خشک در اثر کاربرد بیوچار کود مرغی در سطح 1 درصد به دست آمد، هرچند با سطح 2 درصد کود مرغی اختلاف معنی‌داری نداشت. همان طور که نتایج کلنیزاسیون ریشه (جدول 4) نیز نشان می‌دهد، کاربرد بیوچار کود مرغی 2% به دلیل فسفر بالا و برهمکنش ماده آلی (با غلظت فسفر بالا) و قارچ (شکل 3) در مقایسه با بیوچار در سطح 1% در افزایش وزن خشک گیاه کارا نبود (شکل 2-الف). تنش شوری در سطوح متوسط (7/9 و 3/6 دسی زیمنس بر متر) وزن خشک اندام هوایی گیاه را افزایش داد، اما در بالاترین سطح ( 12/4 دسی زیمنس بر متر) به میزان 18 درصد نسبت به تیمار شاهد وزن خشک را کاهش داد (شکل 2-ب). تحقیقات دیگری هم افزایش وزن خشک در سطوح پایین تنش شوری را گزارش کردند (آنلوکارا و همکاران، 2010؛ هوفمن و همکاران، 1983). اثر قارچ *فونلیفورمیس موسه* و برهمکنش عوامل اصلی (به استثنا برهمکنش ماده آلی و *فونلیفورمیس موسه*) بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول 3)، که این امر با توجه به نتایج حاصل از کلنیزاسیون (جدول 4) شاید به دلیل کارایی کم‌تر قارچ *فونلیفورمیس موسه* در سطوح بالای کود مرغی، بیوچار و شوری باشد (جدول 4).




**شکل 2- اثر اصلی مواد آلی (الف) و سطوح شوری (ب) بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت (گرم در گلدان)**




**شکل 3- برهمکنش ماده آلی و *فونلیفورمیس موسه* بر وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت (گرم در گلدان)**

**FM-: بدون قارچ *فونلیفورمیس موسه* FM+: با قارچ *فونلیفورمیس موسه***

**کلنیزاسیون ریشه گیاه**

در تیمار بدون *فونلیفورمیس موسه*، کاربرد سطوح شوری و مواد آلی بر درصد کلنیزاسیون ریشه اثر معنی‌داری نداشت، بااین‌حال در تیمار *فونلیفورمیس موسه* اثر تیمارها معنی‌دار بود. داده‌های جدول 4 نشان می‌دهد که تنش شوری به طور معنی‌داری درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت را هم در تیمار بدون ماده آلی و هم در تیمارهای ماده آلی (کود مرغی و بیوچار در هر دو سطح) کاهش داد. نتایج مشابهی اثر منفی تنش شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (آل- کاراکی، 2000؛ یانگ و همکاران، 2014).

در تیمار *فونلیفورمیس موسه*، کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در همه سطوح، درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمار بدون ماده آلی به طور معنی‌داری کاهش داد (جدول 4). بیشترین میزان کاهش درصد کلنیزاسیون در گیاهان رشد یافته در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در سطح 2 درصد مشاهده شد، که این امر احتمالاً به دلیل بالا بودن میزان فسفر در مواد آلی به کار برده شده می‌باشد (جدول 2). مطابق تحقیق حاضر، تحقیقات زیادی نشان می‌دهد که غلظت بالای فسفر درصد کلنیزاسیون ریشه را کاهش می‌دهد (گسلینگ و همکاران، 2013؛ بالزرگو و همکاران، 2013).

**جدول 4- اثر عوامل اصلی و برهمکنش آن ها بر کلنیزاسیون ریشه (درصد) گیاه ذرت**

| سطوح شوری ($dS\ m^{-1}$) | منابع ماده آلی (درصد وزنی) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | بدون ماده آلی | کود مرغی | | بیوچار کود مرغی | | میانگین |
| | | 1 | 2 | % | 1 | 2 | |
| | | -FM | | | | | |
| 0/5 | 7/67l* | 7/66l | 8/33l | | 7/67l | 7/67l | 7/8E |
| 3/6 | 7/33l | 7/67l | 7/67l | | 7/33l | 7/67l | 7/53E |
| 7/9 | 8/33l | 6/67l | 6/67l | | 8/00l | 7/00l | 7/33AE |
| 12/4 | 7/67l | 7/67l | 7/33l | | 7/67l | 8/00l | 7/67E |
| میانگین | 7/75E | 7/42E | 7/5E | | 7/67E | 7/58E | 7/58B |
| | | +FM | | | | | |
| 0/5 | 92/00a | 89/00b | 68/33f | | 78/67d | 67/67f | 78/87A |
| 3/6 | 89/00b | 85/33c | 62/00gh | | 74/00e | 59/33hi | 73/73B |
| 7/9 | 80/00d | 78/00d | 57/00j | | 68/00f | 57/33j | 67/5C |
| 12/4 | 72/5e | 72/00e | 51/00k | | 62/33g | 48/33k | 60/87D |
| میانگین | 83/25A | 81/08B | 58/00D | | 70/75C | 58/17D | 70/25A |

* میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک یا بزرگ مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح 5% تفاوت معنی‌داری ندارند.

FM-: بدون قارچ *فونلیفورمیس موسه* FM+: با قارچ *فونلیفورمیس موسه*

**غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی**

تأثیر کلرید سدیم بر غلظت سدیم در اندام-هوایی ذرت معنی‌دار بود (جدول 5). غلظت سدیم در تیمارهای با قابلیت هدایت الکتریکی 3/6، 7/9 و 12/4 دسی زیمنس بر متر به ترتیب 5/3، 20/6 و 51/0 برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (جدول 6). افزایش غلظت سدیم گیاه در اثر تنش شوری توسط بسیاری از محققان (صفوی و خواجه پور، 2008؛ گارسیا مورالز و همکاران، 2012؛ لوپاساکی و همکاران، 2002) گزارش شده است. غلظت پتاسیم گیاه با افزایش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت، بگونه‌ای که تیمارهای با شوری 3/6، 7/9 و 12/4 دسی زیمنس بر متر به ترتیب 8، 12 و 18 درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (جدول 6). کاهش غلظت پتاسیم در اثر کاربرد کلرید سدیم توسط دیگر پژوهشگران (شیخی و رونقی، 2012؛گارسیا مورالز و همکاران، 2012) نیز گزارش شده است. تنش اسمزی مربوط به تجمع یونی، به خصوص سدیم و کلر، در دسترس بودن سایر عناصر ضروری مانند پتاسیم و کلسیم را با اختلال مواجه می‌کند (حسین و همکاران، 2013). همچنین رقابت بین سدیم و پتاسیم تحت تنش شوری به میزان زیادی غلظت پتاسیم را در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت کاهش می‌دهد (کایا و همکاران، 2010). نسبت سدیم به پتاسیم در گیاه ذرت با افزایش سطوح شوری افزایش یافت و افزایش 5/5، 23/4 و 62/8 برابری را به ترتیب در سطوح 3/6، 7/9 و 12/4 دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول 6). افزایش قابل توجه میزان غلظت سدیم با افزایش سطوح شوری در ده رقم ذرت منجربه کاهش غلظت پتاسیم و در نتیجه افزایش نسبت سدیم به پتاسیم گردید (اکرم و همکاران، 2010). کاهش جذب پتاسیم در نتیجه افزایش سدیم به دلیل کاربرد سدیم کلرید، یک مکانیسم رقابتی است. همچنین مقادیر زیاد سدیم در محیط ریشه نه فقط در

جذب پتاسیم مداخله می‌کند، بلکه بر عمل غشای ریشه نیز اثر می‌گذارد (روحانی و همکاران، 1395).

**جدول 5- تجزیه واریانس تأثیر مواد آلی، سطوح شوری، قارچ و برهمکنش آن‌ها بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی ذرت**

| | | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| منابع تغییر | درجه آزادی | غلظت سدیم | غلظت پتاسیم | نسبت سدیم به پتاسیم |
| مواد آلی | 4 | 65/18$^{**}$ | 1017/19$^{**}$ | 0/062$^{**}$ |
| سطوح شوری | 3 | 3287/12$^{**}$ | 329/39$^{**}$ | 2/87$^{**}$ |
| قارچ | 1 | 659/11$^{**}$ | 53/94$^{*}$ | 0/534$^{**}$ |
| مواد آلی x سطوح شوری | 12 | 37/13$^{**}$ | 10/49$^{ns}$ | 0/037$^{**}$ |
| مواد آلی x قارچ | 4 | 54/55$^{**}$ | 70/33$^{ns}$ | 0/042$^{**}$ |
| سطوح شوری x قارچ | 3 | 238/29$^{**}$ | 7/44$^{ns}$ | 0/0202$^{**}$ |
| مواد آلی x سطوح شوری x قارچ | 12 | 25/23$^{**}$ | 13/89$^{ns}$ | 0/026$^{**}$ |

از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. ns

* و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد

**اثر مواد آلی بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم**

کاربرد کود مرغی در سطوح 1 و 2 درصد به ترتیب غلظت سدیم اندام هوایی گیاه ذرت را 34 و 52 درصد و غلظت پتاسیم را 23 و 44 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد، اما در نسبت سدیم به پتاسیم تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول 6)، که این امر ممکن است به دلیل محتوای بالای پتاسیم کود مرغی بوده باشد. با این حال، کاربرد بیوچار کود مرغی در سطوح 1 و 2 درصد علی رغم اینکه باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم به میزان 31و 58 درصد شد، اما اثر معنی‌داری بر غلظت سدیم نداشت. بنابراین، کاربرد بیوچار کود مرغی در سطوح 1 و 2 درصد موجب کاهش معنی‌دار 25 و 39 درصدی نسبت سدیم به پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در تحقیقی (اختر و همکاران، 2015) با کاربرد بیوچار بر عملکرد سیب زمینی تحت تنش شوری نشان دادند که کاربرد بیوچارموجب کاهش غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم و افزایش پتاسیم و هچنین بهبود رشد سیب زمینی، به دلیل جذب سطحی یون سدیم شد. آنان همچنین بیان کردند که شاید بتوان بیوچار را به عنوان ماده مناسبی برای افزایش عملکرد گیاهان تحت تنش شوری به کار برد.

**جدول 6- اثر عوامل اصلی بر غلظت سدیم، پتاسیم (درصد) و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌هوایی ذرت**

| تیمار | غلظت سدیم | غلظت پتاسیم | نسبت سدیم به پتاسیم |
|---|---|---|---|
| مواد آلی | درصد | | |
| شاهد | 0/749c$^{*}$ | 2/98e | 0/298a |
| کود مرغی 1% | 1/01b | 3/66d | 0/297a |
| کود مرغی 2% | 1/14a | 4/29b | 0/272a |
| بیوچار کود مرغی 1% | 0/817c | 3/90c | 0/224b |
| بیوچار کود مرغی 2% | 0/792c | 4/70a | 0/182c |
| سطوح شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) | | | |
| 0/5 | 0/046d | 4/31a | 0/011d |
| 3/6 | 0/245c | 3/98b | 0/061c |
| 7/9 | 0/950b | 3/81b | 0/257b |
| 12/4 | 2/36a | 3/52c | 0/691a |
| *فونلیفورمیس موسه* | | | |
| -FM | 1/13a | 3/97a | 0/322a |
| +FM | 0/666b | 3/84b | 0/188b |

*در هر ستون و برای هر صفت تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نمی‌باشد.

بر این اساس امکان دارد جایگزین کردن بیوچار کود مرغی به جای استفاده مستقیم از کود مرغی را به عنوان راهکاری جهت تعدیل کردن نسبت سدیم به پتاسیم در نظر گرفت. در آزمایشی فراهمی پتاسیم با کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن به طور معنی‌داری افزایش یافت (زلفی-باوریانی و همکاران، 2016). آنان همچنین بیان کردند که بیشترین فراهمی پتاسیم در بیوچار تولید شده در بالاترین دما مشاهده شده بود.

**اثر مایه زنی *فونلیفورمیس موسه* بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی ذرت**

کاربرد *فونلیفورمیس موسه* سبب کاهش به ترتیب 40 و 3 درصدی غلظت سدیم و پتاسیم گیاه شد. نسبت سدیم به پتاسیم نیز با کاربرد این قارچ به میزان 1/7 برابر در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (جدول 6). تأثیر مثبت قارچ ریشه اربوسکولار بر کاهش نسبت سدیم به پتاسیم گیاه در بسیاری از تحقیقات مشاهده شده است (اولین و همکاران، 2009؛ الهیندی و همکاران، 2017). همزیستی و کلنیزاسیون قارچ ریشه آربوسکولار مقاومت به شوری گیاه ذرت را از طریق بهبود دسترسی به عناصر، کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در بافت‌های گیاهی و بهبود تعدیل اسمزی افزایش می‌دهد (فروق و همکاران 2015).

**اثر مواد آلی، سطوح شوری و ف*ونلیفورمیس موسه* بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام-هوایی گیاه ذرت**

برهمکنش عوامل اصلی بر غلظت سدیم معنی-دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول 5). بیشترین میزان غلظت سدیم درتیمار بدون قارچ، سطح دو درصد کود مرغی و بالاترین میزان شوری مشاهده گردید. کمترین میزان غلظت سدیم در تیمار بدون افزودن ماده آلی، کلرید سدیم و قارچ مشاهده گردید (جدول 7). نتایج نشان می‌دهد که در سطوح پایین شوری (0/5 و 3/6 دسی زیمنس بر متر) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای با و بدون قارچ وجود ندارد، اما در سطوح بالای شوری (7/9 و 12/4 دسی زیمنس بر متر) قارچ به صورت چشمگیری غلظت سدیم گیاه را کاهش داده است (به استثنا تیمار 2 درصدکود مرغی). به عبارت دیگر نقش مثبت قارچ در زمان بالا بودن غلظت سدیم به وضوح مشاهده شد. در سطوح بالای شوری بین تیمارهای با و بدون قارچ در تیمار کاربرد بیوچار کود مرغی تفاوت معنی‌داری دیده نشد، که احتمالاً به دلیل میزان بالای فسفر (جدول 2) در سطح دو درصد بیوچار کود مرغی و در نتیجه کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد بوده است. برهمکنش عوامل اصلی بر غلظت پتاسیم گیاه معنی‌دار نبود (جدول 5).

**جدول 7- اثر برهمکنش مواد آلی، سطوح شوری و *فونلیفورمیس موسه* بر غلظت سدیم (درصد) اندام هوایی ذرت**

| سطوح شوری | مواد آلی | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاهد | | کود مرغی 1% | | کود مرغی 2% | | بیوچار کود مرغی 1% | | بیوچار کود مرغی 2% | |
| خاک ($dS\ m^{-1}$) | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM |
| 0/5 | 0/026m* | 0/058Lm | 0/036Lm | 0/040Lm | 0/078Lm | 0/047Lm | 0/035Lm | 0/028Lm | 0/077Lm | 0/037Lm |
| 3/6 | 0/114Lm | 0/158k-m | 0/255i-m | 0/294i-m | 0/251i-m | 0/243j-m | 0/262i-m | 0/259i-m | 0/312i-m | 0/305i-m |
| 7/9 | 1/206G | 0/432h-l | 1/35G | 0/635Hi | 1/82Ef | 0/512h-k | 1/55Fg | 0/556H | 0/718H | 0/720H |
| 12/4 | 2/536C | 1/46G | 3/60B | 1/84Ef | 4/06A | 2/08De | 2/32Cd | 1/53Fg | 2/08De | 2/085De |

*در هر ستون یا ردیف تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نمی‌باشد.

FM-: بدون قارچ *فونلیفورمیس موسه* FM+: با قارچ *فونلیفورمیس موسه*

برهمکنش عوامل اصلی بر نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی معنی دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول 5). نتایج نشان می‌دهد که همانند سدیم در سطوح پایین شوری (0/5 و 3/6 دسی زیمنس بر متر) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای با و بدون قارچ وجود ندارد، اما در سطوح بالای شوری (7/9 و 12/4 دسی زیمنس بر متر) قارچ نسبت سدیم به پتاسیم گیاه، (به استثناء تیمار 2 درصد کود مرغی)، را کاهش داده است (جدول 8). عدم تفاوت بین تیمارهای با و بدون قارچ در تیمار کاربرد بیوچار کود مرغی (در سطوح بالای شوری)، احتمالاً به دلیل میزان بالای فسفر (جدول 2) در سطح دو درصد بیوچار کود مرغی و در نتیجه کاهش کلنیزاسیون به میزان 28 درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است (جدول 4). تحقیقات تأثیر منفی استفاده از کود آلی با فسفر زیاد را بر درصد کلنیزاسیون نشان داده است (گسلینگ و همکاران، 2013).

گزارش برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که اگرچه شوری اثر منفی بر قارچ آربوسکولار ریشه دارد، اما بسیاری از نتایج نشان می‌دهد که قارچ از طریق ایجاد تعادل بین عناصر در گیاهان تحت شوری باعث بهبود عملکرد آنان می‌گردد (فروق و همکاران، 2015).

**جدول 8- برهمکنش مواد آلی، سطوح شوری و *فونلیفورمیس موسه* بر نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌هوایی گیاه ذرت**

| سطوح شوری خاک ($dS\ m^{-1}$) | مواد آلی | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاهد | | کود مرغی 1% | | کود مرغی 2% | | بیوچار کود مرغی 1% | | بیوچار کود مرغی 2% | |
| | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM |
| 0/5 | 0/007k* | 0/016k | 0/009k | 0/010k | 0/016k | 0/011k | 0/007k | 0/007k | 0/015k | 0/007k |
| 3/6 | 0/037jk | 0/052i-k | 0/06i-k | 0/08i-k | 0/054i-k | 0/06i-k | 0/064i-k | 0/067i-k | 0/068i-k | 0/059i-k |
| 7/9 | 0/49d-g | 0/14i-k | 0/36h | 0/18k | 0/41fgh | 0/13i-k | 0/39gh | 0/15ij | 0/15ij | 0/16i |
| 12/4 | 1/09a | 0/56c-e | 1/14a | 0/53def | 0/89b | 0/60cd | 0/65c | 0/46e-h | 0/49d-g | 0/49d-g |

*در هر ستون یا ردیف تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نمی‌باشد.

**غلظت و جذب کل نیتروژن و فسفر**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 9) نشان می‌دهد که اثر عوامل اصلی (مواد آلی، سطوح شوری و قارچ) بر غلظت و جذب کل نیتروژن اندام‌هوایی (به استثناء اثر قارچ بر جذب کل نیتروژن) معنادار بوده است و در جدول 10 نشان داده شده است. کاربرد مواد آلی (کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در هر دو سطح) به طور معنی‌داری غلظت و جذب نیتروژن اندام‌هوایی را نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده آلی) افزایش داده است. همچنین نتایج نشان داد که به جز سطح 1% که اثر کود مرغی و بیوچار بر جذب نیتروژن تفاوت معنی‌داری نداشته است،کود مرغی در افزایش غلظت و جذب نیتروژن نسبت به بیوچار کود مرغی کاراتر بوده است. با توجه به جدول 2 مشاهده می‌شود که محتوی نیتروژن کود مرغی و بیوچار حاصل از آن تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و شاید برتری کود مرغی در افزایش غلظت نیتروژن گیاه بر اساس گزارشات لهمان و همکاران (2003) به دلیل محدود شدن قابلیت دسترسی نیتروژن خاک به علت نسبت کربن به نیتروژن بالای بیوچار باشد. با این حال به دلیل این که دمای پیرولیز یکی از عوامل مهم در میزان پایداری بیوچار است (فانگ و همکاران، 2014) و در پژوهش حاضر از دمای 300 درجه سلسیوس برای تهیه بیوچار استفاده شده است، تفاوت بین تیمارهای کود مرغی و بیوچار آن بر غلظت و جذب نیتروژن کاهش یافته است به طوری که در سطح 1% تفاوت معنی‌داری بر جذب نیتروژن مشاهده نشد. کاربرد بیوچار کود مرغی نیتروژن اندام هوایی گیاه ذرت را به میزان 21 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است، اما بر غلظت نیتروژن گیاه گندم اثر مثبتی نداشته است (عباسی و انوار، 2015).

**جدول 9- تجزیه واریانس تأثیر مواد آلی، سطوح شوری، قارچ و برهمکنش آن‌ها بر غلظت و جذب نیتروژن و فسفر اندام‌هوایی ذرت**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | غلظت نیتروژن | جذب نیتروژن | غلظت فسفر | جذب فسفر |
| مواد آلی | 4 | 1/79** | 15414** | 5/69** | 3754/5** |
| سطوح شوری | 3 | 0/496** | 7864* | 2/82** | 451/4** |
| قارچ | 1 | 0/116** | 747ns | 4/70** | 1734/4** |
| مواد آلی x سطوح شوری | 12 | 0/039** | 4952ns | 0/573ns | 139/87ns |
| مواد آلیx قارچ | 4 | 0/054** | 12484** | 0/298ns | 295/54* |
| سطوح شوریx قارچ | 3 | 0/060** | 2296ns | 0/040ns | 59/2ns |
| مواد آلی x سطوح شوریx قارچ | 12 | 0/046** | 2390ns | 0/172ns | 118/3ns |

از لحاظ آماری معنی‌دار نمی باشد. ns

* و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می باشد

**جدول 10- اثر عوامل اصلی بر غلظت و جذب کل نیتروژن و فسفر اندام هوایی ذرت**

| تیمار | غلظت نیتروژن (درصد) | جذب نیتروژن (میلی گرم در گلدان) | غلظت فسفر (درصد) | جذب فسفر (میلی گرم در گلدان) |
|---|---|---|---|---|
| **مواد آلی** | | | | |
| شاهد | 1/63e* | 326d | 0/148d | 29/64c |
| کود مرغی 1% | 2/02c | 447c | 0/220c | 48/62b |
| کود مرغی 2% | 2/31a | 544a | 0/252b | 59/70a |
| بیوچار کود مرغی 1% | 1/87d | 450c | 0/225c | 53/81b |
| بیوچار کود مرغی 2% | 2/21b | 487b | 0/278a | 60/07a |
| سطوح شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) | | | | |
| 0/5 | 1/97b | 439b | 0/201b | 44/79b |
| 3/6 | 1/92b | 456ab | 0/210b | 50/65a |
| 7/9 | 1/94b | 470a | 0/218b | 52/92a |
| 12/4 | 2/20a | 436b | 0/269a | 53/11a |
| *فونلیفورمیس موسه* | | | | |
| -FM | 1/98b | 453a | 0/205b | 46/56b |
| +FM | 2/04a | 448a | 0/244a | 54/20a |

*در هر ستون و برای هر صفت تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نمی‌باشد.

تنش شوری تنها در بالاترین سطح (12/4 دسی زیمنس بر متر) غلظت نیتروژن اندام‌هوایی را به طور معنی‌داری افزایش داد، که این امر باتوجه به اینکه وزن خشک در این سطح در کم ترین میزان خود است، قابل توجیه است. بیشترین میزان جذب هم در سطح 7/9 دسی زیمنس بر متر، به دلیل افزایش وزن خشک، مشاهده شد. قارچ *فونلیفورمیس موسه* بر جذب نیتروژن اندام‌هوایی اثر معنی‌داری نداشت، اما غلظت نیتروژن را به طور معنی-داری کاهش داد. برهمکنش عوامل اصلی بر غلظت نیتروژن اندام‌هوایی معنادار بود (جدول 9). بیشترین میزان غلظت نیتروژن در هر دو تیمار با و بدون *فونلیفورمیس موسه* و کاربرد 2 درصد بیوچار و کود مرغی در بالاترین سطح شوری مشاهده شد. کم ترین میزان غلظت نیتروژن در شوری‌های کم و متوسط تیمار شاهد (بدون ماده آلی) مشاهده شد (جدول 11). برهمکنش ماده آلی و قارچ بر جذب نیتروژن معنادار بود (جدول 9) و اثر سایر برهمکنش‌ها بر جذب کل نیتروژن معنادار نبود. نتایج حاصل از برهمکنش ماده آلی و قارچ *فونلیفورمیس موسه* بر جذب نیتروژن روندی مشابه با وزن خشک (شکل 3) را نشان می‌دهد، که این امر نشان دهنده متأثر بودن جذب نیتروژن از میزان وزن خشک در اثر کاربرد قارچ در تیمارهای مختلف ماده آلی می‌باشد (شکل4).

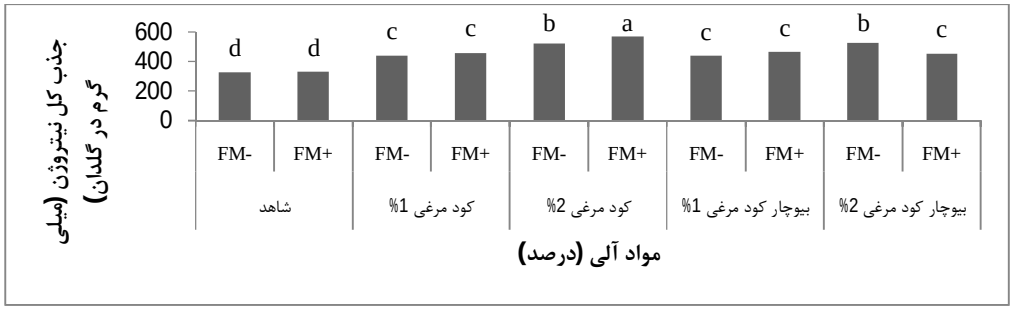
**جدول 11- برهمکنش مواد آلی، سطوح شوری و *فونلیفورمیس موسه* بر غلظت نیتروژن (درصد) اندام‌هوایی گیاه ذرت**

| سطوح شوری خاک ($dS\ m^{-1}$) | مواد آلی | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاهد | | کود مرغی 1% | | کود مرغی 2% | | بیوچار کود مرغی 1% | | بیوچار کود مرغی 2% | |
| | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM | -FM | +FM |
| 0/5 | 1/63o-r | 1/78l-o | 1/92i-m | 1/99g-k | 2/36b-d | 2/17d-g | 1/69n-q | 1/89k-n | 2/16d-h | 2/20c-f |
| 3/6 | 1/54qr | 1/45r | 2/10m-q | 1/90j-m | 2/13e-i | 2/28c-e | 1/73m-q | 1/97g-l | 1/89k-n | 2/21c-f |
| 7/9 | 1/53qr | 1/56p-r | 2/23c-f | 1/85k-n | 2/28c-e | 2/23c-f | 1/71m-q | 1/77l-p | 2/05f-k | 2/13e-i |
| 12/4 | 1/77l-p | 1/76l-p | 1/95h-l | 2/24c-f | 2/40bc | 2/65a | 1/95h-l | 2/22c-f | 2/51ab | 2/53ab |

*در هر ستون یا ردیف تفاوت بین میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نمی‌باشد.

مقایسه میانگین جذب فسفر توسط اندام هوایی (جدول 10) نشان می‌دهد که کاربرد هر دو ماده آلی (کود مرغی و بیوچار حاصل از آن) در تمام سطوح به طور معنی‌داری غلظت و جذب فسفر اندام‌هوایی را افزایش داده است. همچنین تفاوت معنی‌داری در تیمارهای هم سطح کود مرغی و بیوچار حاصل از آن درغلظت و جذب

فسفر اندام‌هوایی مشاهده نشد و تنها در سطح 2 درصد، بیوچار نسبت به کود مرغی به طور معنی‌داری غلظت فسفر را به میزان 10درصد افزایش داد.

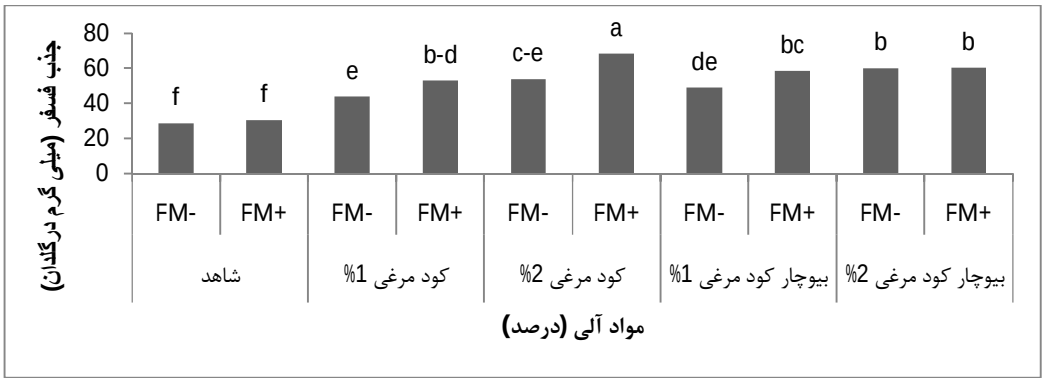



**شکل 4 - برهمکنش ماده آلی و *فونلیفورمیس موسه* بر جذب کل نیتروژن (میلی گرم در گلدان)**

**FM-: بدون قارچ *فونلیفورمیس موسه* FM+: با قارچ *فونلیفورمیس موسه***

بر اساس نتایج پرسچ و همکاران، 2002 کود مرغی به دلیل دارا بودن غلظت بالای فسفر، نیتروژن و پتاسیم کود زیستی مناسبی برای تولیدات کشاورزی می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی سطوح شوری بر جذب فسفر اندام هوایی نشان داد که جذب فسفر اندام‌هوایی در سطوح شوری نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است. این امر احتمالاً به دلیل متأثر بودن جذب از وزن خشک و غلظت است زیرا نتایج حاصل از غلظت نشان داد که شوری تنها در بالاترین سطح غلظت فسفر را به طور معنی‌داری افزایش داده است. کاربرد سدیم کلرید به طور معنی‌داری غلظت فسفر و نیتروژن گیاه اسفناج را افزایش داد (شیخی و رونقی، 2012). قارچ *فونلیفورمیس موسه* غلظت و جذب فسفر اندام هوایی را به طور معنی‌داری افزایش داد. قارچ ریشه آربوسکولار جذب فسفر و نیتروژن را توسط گیاه افزایش می‌دهد، اما در جذب فسفر نسبت به نیتروژن کاراتر است (جرج و همکاران، 1991). برهمکنش ماده آلی و قارچ بر جذب فسفر اندام هوایی معنادار بود (شکل 9) و در شکل 5 نشان داده شد. برهمکنش ماده آلی و قارچ بر جذب فسفر همانند جذب نیتروژن متاثر از وزن خشک بوده است. سایر برهمکنش ها بر غلظت و جذب فسفر معنی‌دار نبود (جدول 9).




**شکل 5 - برهمکنش ماده آلی و *فونلیفورمیس موسه* بر جذب کل فسفر (میلی گرم در گلدان)**

**FM-: بدون قارچ *فونلیفورمیس موسه* FM+: با قارچ *فونلیفورمیس موسه***

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد کاربرد همزمان کود مرغی 2% همراه با *فونلیفورمیس موسه* میزان وزن خشک، جذب فسفر و نیتروژن را در اندام‌هوایی گیاه ذرت افزایش داده است. علیرغم عدم تفاوت در تیمار *بدون فونلیفورمیس موسه* بین کود مرغی و بیوچار (سطح 2%) بر وزن خشک، جذب نیتروژن و فسفر، کاربرد قارچ در تیمار کود مرغی 2% و بیوچار 2% به ترتیب موجب افزایش و کاهش این پاسخ‌ها شد. بنابراین بهتر است کاربرد همزمان مواد آلی

با قارچ *فونلیفورمیس موسه* بنحوی باشد که فسفر بیوچار مانع از تأثیر مثبت قارچ بر بازدارندگی رشد گیاه ذرت نشود. با این حال کاربرد بیوچار 1% همراه با *فونلیفورمیس موسه* توانسته علاوه بر داشتن عملکردی (ماده خشک) مشابه با کود مرغی 2%، نسبت سدیم به پتاسیم را کاهش دهد و همچنین مانع کارایی قارچ در کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در سطوح بالای شوری نشود. بنابراین به نظر می‌رسد که بیوچار به خصوص در خاک‌های شور بتواند جایگزین بهتری برای کود مرغی باشد. همچنین مزایایی مانند تأثیرات مثبت محیط زیستی، کاهش بوی نامطبوع کود مرغی و کاربرد آسان‌تر آن نسبت به کود مرغی را نیز دارا می‌باشد. پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های بیشتری در شرایط مزرعه‌ای با گیاهانی با طول دوره رشد طولانی‌تر و با بیوچارهای حاصل از مواد دیگر صورت گیرد.

## سپاسگزاری

از دانشگاه شیراز به خاطر فراهم نمودن امکانات و ایجاد تسهیلات لازم برای انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

## فهرست منابع:


1. احمدی قشلاقی, س.، علی اصغرزاد، ن.، توسلی، ع. 1394. بررسی جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه ذرت میکوریزی در شرایط تنش شوری. دانش آب و خاک, *25*(1), 79-89.
2. پارسامطلق، ب.، س. محمودی، م. سیاری، و نقی زاده، م.1390. تأثیر قارچ میکوریزا و کود فسفر بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش شوری. نشریه بوم شناسی کشاورزی. 3(2): 233-244.
3. روحانی، ن. س.، نعمتی, س. ح.، مقدم، م.، اردکانیان، و. 1395. اثر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیک و چگونگی جذب عناصر سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و غده سه رقم تربچه. علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای. سال هفتم. 27 (169-178).
4. زارعی، م. 1387. بررسی تنوع خاک‌های میکوریزی آربوسکولار در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و کارایی آن‌ها در گیاه پالایی. رساله دکتری خاکشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
5. کاظمینی، س. ع.، دهقانی، ا.، زارعی، م.، علی نیا، م. 1396. تأثیر تنش شوری و قارچ میکوریزا بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه ذرت شیرین .مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 7 (1) :113-101
6. گویلی، ا.، موسوی، س. ع.، کامگار حقیقی، ع. ا. 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).
7. نادیان, ح.، حیدری, م.، قرینه, م. ح.، دانشور، م. ح. 1392. اثر سطوح مختلف کلرید سدیم و کلونیزاسیون میکوریزایی بر رشد و جذب فسفر، پتاسیم و سدیم توسط گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.). تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، 3(2): 49-59.
8. Abbasi, M. K. and Anwar, A. A. 2015. Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth promotion-greenhouse experiments. PloS one 10 (6): e0131592.
9. Ahmad, M. Rajapaksha, A. U. Lim, J. E. Zhang, M. Bolan, N. Mohan, D. Vithanage, M. Lee, S.S. and Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere 99: 19-33.
10. Akhtar, S.S. Andersen, M. N. Liu, F. 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. Journal of Agronomy and Crop Science 201: 368-378.
11. Al-Karaki, G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza 10(2): 51-54.

12. Amini, S. Ghadiri, H. Chen, C. and Marschner, P. 2016. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. Journal of Soils and Sediments 16: 939–953.
13. Auge, R. M. Toler, H. D. and Saxton, A. M. 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis. Frontiers in plant science 5: 562.
14. Balzergue, C. Chabaud, M. Barker, D. G. Becard, G. and Rochange, S. F. 2013. High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. Frontiers in Plant Science 4: 1-15.
15. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method for making particle-size analysis for soils. Agronomy Journal 54: 464-465.
16. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen total. P. 1085- 1122. In: Sparks, D.L., (ed), Methods of Soil Analysis part 3: Chemical methods. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils Bulletin, no. 38/2. Rome: FAO, Land and Water Development Division; 120 p.
18. Elhindi, K. M. El-Din, A. S. and Elgorban, A.M. 2017. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Saudi journal of biological sciences 24(1): 170-179.
19. Evelin, H. Kapoor, R. and Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Annals of botany 104(7): 1263-1280.
20. Fang, Y. Singh, B. singh, B. P. and Krull, E. 2014. Biochar carbon stability in four contrasting soils. European Journal of Soil Science 65:60–71
21. Farooq, M. Hussain, M. Wakeel, A. and Siddique, K.H. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. Agronomy for Sustainable Development 35(2): 461-481.
22. Garcia Morales, S. Trejo-Tellez, L.I. Gomez Merino, F.C. Caldana, C., Espinosa-Victoria, D., and Herrera Cabrera, B. E. 2012. Growth, photosynthetic activity, and potassium and sodium concentration in rice plants under salt stress. Acta Scientiarum. Agronomy 34(3): 317-324.
23. George, E. Marschner, H. and Jakobsen, I. 1995. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Critical Reviews in Biotechnology 15(3-4): 257-270.
24. Gosling, P. Mead, A. Proctor, M. Hammond, J. P. and Bending, G.D. 2013. Contrasting arbuscular mycorrhizal communities colonizing different host plants show a similar response to a soil phosphorus concentration gradient. New Phytologist 198(2): 546-556.
25. Hasegawa, P.M. Bressan, R.A. Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual review of plant biology, 51(1): 463-499.
26. Hoffman, G.J. Maas, E.V. Pritchard, T.L. Meyer, J.L. 1983. Salt tolerance of corn in the Sacramento–San Joaquin Delta of California. Irrigation Science 4: 31–44.
27. Hussain, M. Park, H.W. Farooq, M., Jabran, H. Lee, D.J. 2013. Morphological and physiological basis of salt resistance in different rice genotypes. International Journal of Agriculture and Biology 15:113–118
28. Kanwal, S. Ilyas, N. Shabir, S. Saeed, M. Gul, R. Zahoor, M. and Mazhar, R. 2017. Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Nutrition 1-13.
29. Kaya, C. Tuna, A.L. Okant, A.M. 2010. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestory 34:529–538.
30. Kormanic, P. P. and McGraw, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. P. 37-45. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. N. C. Schenck (eds.), American Phytopathological Society, St Paul, MN, USA

31. Lashari, M.S. Ye, Y. Ji, H. Li, L. Kibue, G.W. Lu, H. and Pan, G. 2015. 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 the Science of Food and Agriculture 95(6): 1321-1327.
32. Lehmann, J. Da. Silva, J. P. Steiner, C. Nehls, T. Zech, W. and Glaser, B. 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 249:343–357.
33. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.
34. Loppert, R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437- 474. In; Klute, A. et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 3. 3rd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
35. Loupassaki, M.H. Chartzoulakis, K.S. Digalaki, N.B. and Androulakis, I.I. 2002. Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sodium in leaves, shoots, and roots of six olive cultivars. Journal of Plant Nutrition 25(11): 2457-2482.
36. Marathe, A. Krishnan, V. Vinutha, T. Dahuja, A. Jolly, M. and Sachdev, A. 2018. Exploring the role of Inositol 1, 3, 4-trisphosphate 5/6 kinase-2 (GmITPK2) as a dehydration and salinity stress regulator in Glycine max (L.) Merr. through heterologous expression in E. coli. Plant Physiology and Biochemistry 123: 331-341.
37. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996.Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: Sparks, D.L., (ed), Methods of Soil Analysis part 3: Chemical methods. ASA and SSSA, Madison, WI.
38. Olsen, S.R. Cole, C.V. Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular No. 939.
39. Patel, A. Khare, P. and Patra, D.D. 2017. Biochar Mitigates Salinity Stress in Plants. P. 153-182. In: Plant Adaptation Strategies in Changing Environment. Springer, Singapore.
40. Preusch, P. L. Adler, P. R. Sikora, L. J. and Tworkoski, T. J. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. Journal of Environmental Quality 31(6): 2051-2057.
41. Qadir, M., Qureshi, A.S. Cheraghi, S.A.M. 2008. Extent and characterization of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. Land Degradation and Development 19: 214-227.
42. Safavi, S. and Khajehpour, M.R. 2008. Effects of salinity on Na, K and Ca contents of borage (*Borago officinalis* L.) and echium (Echium amoenum Fisch. & Mey.). Research in Pharmaceutical Sciences 2(1): 23-27.
43. Sheikhi, J. Ronaghi, A. 2012. Growth and macro and micronutrients concentration in spinach (*Spinacia oleracea* L.) as influenced by salinity and nitrogen rates. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3:770-777.
44. Singh, B. Singh B.P. and Cowie A.L. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 48: 516-525.
45. Summer, M.E. and Miller, W.P. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficient. p. 1201-1230. In: Sparks, D.L. (ed.). Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, WI, USA.
46. Uchimiya, M. Bannon, D. I. and Wartelle, L.H. 2012: Retention of heavy metals by carboxyl functional groups of biochars in small arms range soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 60: 1798-1809.

47. Unlukara, A. Kurunç, A. Kesmez, G.D. Yurtseven, E. and Suarez, D.L. 2010. Effects of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. Irrigation and Drainage, 59(2): 203-214.
48. Yang, S. J. Zhang, Z. L. Xue, Y. X. Zhang, Z. F. and Shi, S. Y. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. Botanical Studies 55(1): 70.
49. Zolfi-Bavariani, M. Ronaghi, A. Ghasemi-Fasaei, R. and Yasrebi, J. 2016. Influence of poultry manure–derived biochars on nutrients bioavailability and chemical properties of a calcareous soil. Archives of Agronomy and Soil Science 62(11): 1578-1591

# Influence of Poultry Manure-Derived Biochar and *Funneliformis mosseae* on Dry Matter Yield, Concentration and Uptake of Some Nutrient Elements, and Greenness Index in Corn Grown under Salinity Stress

**R. Kazemi[1], A. Ronaghi, J. Yasrebi, R. Ghasemi-Fasaei, and M. Zarei**

PhD student of Soil Science Department, college of agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: r.kazemi1@yahoo.com

Professor of soil science department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: amronaghi@yahoo.com,

Assistant Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: j-yasrebi@yahoo.com

Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: ghasemif@shirazu.ac.ir

Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: mehdizarei@shirazu.ac.ir

Received: April, 2018 & Accepted: October, 2018

**Abstract**

Salinity is among the most important stresses worldwide that affect the absorption and transport of nutrients to plants due to its high sodium concentration. The objective of this study was investigate the possibility of using high adsorption capacity of biochar for increasing sodium adsorption, reducing sodium to potassium ratio of the plant and reducing the negative effect of salinity on plant growth, concentration and uptake of nitrogen and phosphorus with use of mycorrhizal as an bio-amendment. This research was conducted with factorial arrangement in completely randomized design with three replications. Treatments consisted of five levels of organic substances (control, poultry manure (PM) (1% and 2%), poultry manure biochar (PMB) (1% and 2%), four salinity levels (0.5, 3.6, 7.9 and 12.4 $dS{\cdot}m^{-1}$) and two fungus levels (control and inoculated with *Funneliformis mosseae*). Application of PM and its biochar significantly increased growth, greenness index, concentration and uptake of macronutrients, but decreased percentage of root colonization. Application of PM significantly increased corn plant sodium concentration. Application of PMB had no significant effect on sodium concentration compared to the control treatment, but significantly reduced shoot sodium/potassium ratio ($Na^+$: $K^+$) by increasing potassium concentration. Biochar application at high levels of salinity (7.9 and 12.4 $dS{\cdot}m^{-1}$) significantly reduced shoots $Na^+$: $K^+$ ratio. AMF application did not affect plant growth due to the high amount of phosphorous at 2% PMB treatment. In general, results indicated that corn dry matter yield at co-application of fungus and 1% biochar treatment was similar to 2% PM treatment and also, did not inhibit the effectiveness of fungus in reducing the shoot sodium to potassium ratio at high salinity levels.

**Keyword:** Arbuscular mycorrhizal fungus, Corn, Pyrolysis, Sodium-to- potassium ratio, Sodium chloride

[1]. Corresponding author: Shiraz, Bajgah, college of agriculture shiraz university, Department of Soil Science and Engineering