Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Effects of Arbuscular Mycorrhiza Fungi and Salinity Stress on Morphological Characteristics, uptake of Some Nutrients and Soil Aggregate Stability in Three Different Plants

Zahra Ghasemi[1], Habibollah Nadian[2], Bijan Khalilimoghadam[*3]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: zahraghasemi1742@gmail.com
2. Dept. of Soil Science, Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: nadian_habib@yahoo.com
3. Corresponding Author, Dept. of Soil Science, Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.29.2021
Revised: 02.7.2022
Accepted: 02.08.2022

Keywords:
Clover,
Inoculation,
Mycorrhizal plants,
Onion,
Parsley

ABSTRACT

Background and Objectives: Soil salinity is an increasing problem in agricultural soils that mycorrhizal fungi in saline soils increase plants tolerance to salinity by symbiosos with their roots and improving their growth. In addition, mycorrhizae contribute to agglomerate stability through two main mechanisms, physical stabilization by trapping individual soil particles by extensive hyphae networks and chemical stabilization by adhesive-like secretions. Therefore, the aim of this study was to compare the root effects of three different plants, clover *Terifoliom alexandrinum* L., onion *Allium cepa* L. and parsley *Petrocelinum crispum* L. with and without mycorrhizal on soil aggregates stability in saline soils.

Materials and Methods: A factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications were conducted in the greenhouse of Agricultural sciences and natural resources university of Khuzestan in 2018. factors were included mycorrhiza at two levels (no inoculation with mycorrhiza (NM), inoculation with mycorrhiza (M)), salinity at three levels (salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and a 6 dS m^{-1} (S3)) and three levels of plant type (clover (TA), parsley (PC) and onion (AC)). Factors that was measured were included shoot and root dry weight, plant height, total root length, root colonization percentage, mean diameter weight of aggregates and concentrations of phosphorus, potassium, sodium, iron, copper and zinc in shoots.

Results: Accourding to the results, salinity stress caused a significant decrease in growth indices and plant colonization percentage, but inoculation with mycorrhiza fungus increased them significantly. Salinity stress in clover, parsley and onion reduced shoots dry weight 31%, 35% and 96% respectively, but inoculation with mycorrhizal faungus increased this factor 69%, 67% and 93% compared to non-mycorrhizal treatments. The increase of root dry matter of these three mycorrhizal plants compared to their non-mycorrhizal treatments was 65, 65 and 93%, respectively. Salinity stress also caused a significant decrease in the macronutrients (phosphorus and potassium) and micronutrients (iron, zinc and copper) concentration, while sodium concentration increased significantly. Mycorrhizal treatment increased phosphorus concentration significantly in clover, parsley and onion by 26, 27 and 41%, while salinity stress reduced

it by 22, 24 and 26% respectively. Mycorrhizal inoculation increased iron concentratin 6, 12 and 66% in the above three plants, respectively. The results showed that the highest aggregate stability in clover, parsley and onion were seen with an average of 0.81, 0.75 and 0.93 mm in mycorrhizal low salinity level treatment and and the lowest aggregate stability by an average of 0.41 , 0.39 and 0.35 mm were obtained in non-mycorrhizal high salinity level treatment.

Conclusion: Based on the results of this study, salinity stress has a negative effects on plant growth characteristics and nutrient uptake by clover, parsley and onion, but mycorrhizal fungi inoculation reduces these negative effects. Also, the negative effects of salinity stress on aggregate stability in mycorrhizal treatments were less than non-mycorrhizal treatments. Among the studied plants, the highest amount of aggregate stability in mycorrhiza inoculation conditions was related to onion and the lowest amount of aggregate stability was seen in parsley. Its obvious from the results that onion, which has a higher mycorrhizal dependency, can further increase the aggregates stability. Thus, the use of mycorrhizal fungi, especially in saline soils, can increase the stability of aggregates and thus improve quality and soil physiacl properties.

Cite this article: Ghasemi, Zahra, Nadian, Habibollah, Khalilimoghadam, Bijan. 2022. Effects of Arbuscular Mycorrhiza Fungi and Salinity Stress on Morphological Characteristics, uptake of Some Nutrients and Soil Aggregate Stability in Three Different Plants. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (2), 45-65.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19277.2036
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲

تأثیر قارچ آربسکولار مایکوریزا و تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک، جذب برخی عناصر غذایی و پایداری خاکدانه‌ای در کشت سه گیاه مختلف

زهرا قاسمی[۱]، حبیب‌اله نادیان[۲]، بیژن خلیلی‌مقدم*[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: zahraghasemi1742@gmail.com

۲. گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: nadian_habib@yahoo.com

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

واژه‌های کلیدی:
پیاز،
تلقیح،
جعفری،
شبدر،
گیاهان مایکوریزایی

چکیده

سابقه و هدف: شوری خاک یک مشکل روزافزون خاک‌های کشاورزی بوده و حضور قارچ‌های مایکوریزا با برقراری همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل آن‌ها را در برابر شوری افزایش می‌دهند. علاوه بر این قارچ مایکوریزا از طریق دو مکانیسم اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات انفرادی خاک به وسیله شبکه‌های گسترده هیف و تثبیت شیمیایی توسط ترشحات چسب مانند به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند. هدف این مطالعه مقایسه تأثیر ریشه‌های گیاهان شبدر (*Terifoliom alexandrinum* L.)، پیاز (*Allium cepa* L.) و جعفری (*Petrocelinum crispum* L.) با و بدون حضور قارچ مایکوریزا تحت شوری خاک بر ویژگی های مورفولوژیک، غلظت عناصر غذایی و ثبات خاکدانه‌ها بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل قارچ مایکوریزا در دو سطح (عدم تلقیح با مایکوریزا (NM)، تلقیح با مایکوریزا (M))، شوری در سه سطح ($1\ dS\ m^{-1}$ (S1)، $3\ dS\ m^{-1}$ (S2) و $6\ dS\ m^{-1}$ (S3)) و سه گونه گیاه (شبدر (TA)، جعفری (PC) و پیاز (AC)) بود. فاکتورهای مورد اندازه‌گیری شامل وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، مجموع طول ریشه، درصد کلنیزاسیون ریشه، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، سدیم، آهن، مس و روی در اندام هوایی بود.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به‌دست آمده تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی و درصد کلنیزاسیون ریشه گردید اما تلقیح با قارچ مایکوریزا سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های فوق گردید. تنش شوری در گیاهان شبدر، جعفری و پیاز به ترتیب باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی به میزان ۳۱ و ۳۵ و ۹۶ درصدگردید، اما این فاکتور در گیاهان میکویزایی نسبت به تیمارهای غیرمایکوریزایی آن‌ها به ترتیب ۶۹، ۶۷ و ۹۳ درصد افزایش نشان داد. میزان افزایش وزن ماده خشک ریشه این سه گیاه مایکوریزایی نسبت به غیرمایکوریزایی آن‌ها به ترتیب یادشده ۶۵، ۶۵ و ۹۳ درصد بود. هم‌چنین تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار در جذب غلظت عناصر پرمصرف (فسفر و پتاسیم) و عناصر کم‌مصرف (آهن، روی و مس) گردید در صورتی که غلظت عنصر سدیم افزایش معنی‌داری یافت. تیمار قارچ مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز به میزان ۲۶، ۲۷ و ۴۱ درصد گردید در حالی که تنش شوری غلظت فسفر را در سه گیاه فوق به میزان ۲۲، ۲۴ و ۲۶ درصد کاهش داد. تلقیح مایکوریزایی سبب افزایش ۶، ۱۲ و ۶۶ درصد آهن به ترتیب در سه گیاه فوق گردید. بررسی نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه در گیاهان شبدر، جعفری و پیاز با میانگین ۰/۸۱، ۰/۷۵ و ۰/۹۳ میلی‌متر در تیمار مایکوریزایی با شوری کم و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/۴۱، ۰/۳۹ و ۰/۳۵ میلی‌متر در تیمار غیرمایکوریزایی با شوری زیاد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی و جذب عناصر غذایی سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز اثر منفی می‌گذارد اما تلقیح گیاهان فوق با قارچ مایکوریزا تا حد زیادی از این اثرات منفی تنش شوری می‌کاهد. هم‌چنین اثرات منفی تنش شوری بر پایداری خاکدانه در تیمارهای مایکوریزایی کم‌تر از تیمارهای غیرمایکوریزایی بود. در بین گیاهان مورد مطالعه، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه در شرایط تلقیح قارچ مایکوریزا، مربوط به گیاه پیاز بود و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه در گیاه جعفری دیده شد. با بررسی نتایج مشاهد شد گیاه پیاز که وابستگی مایکوریزایی بیش‌تری به قارچ دارد می‌تواند باعث افزایش بیش‌تر میزان پایداری خاکدانه‌ها گردند. بدین‌ترتیب می‌توان با کاربرد قارچ مایکوریزا، به‌خصوص در خاک‌های شور، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد و در نتیجه آن باعث بهبود کیفیت و سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک گردید.

استناد: قاسمی، زهرا، نادیان، حبیب‌اله، خلیلی‌مقدم، بیژن (۱۴۰۱). تأثیر قارچ آربسکولار مایکوریزا و تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک، جذب برخی عناصر غذایی و پایداری خاکدانه‌ای در کشت سه گیاه مختلف. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲ (۲)، ۶۵-۴۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19277.2036

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

شوری خاک یک مشکل روزافزون خاک‌های کشاورزی است که باعث کاهش سرعت رشد گیاهان و تولید محصول، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. عمده‌ترین اثر تنش شوری بر گیاهان جلوگیری از رشد می‌باشد که ممکن است به‌دلیل کاهش تقسیم سلولی، عدم تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر، اثرات یون‌های سمی به‌ویژه سدیم، اختلال در جذب، احیاء و متابولیسم نیتروژن و پروتئین، بسته‌شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز باشد (۱). در ایران مساحت خاک‌هایی که به نوعی تحت‌تأثیر شوری قرار دارند بالغ بر ۳۲ میلیون هکتار است که نزدیک به ۳۰ درصد از سطح کل کشور و ۵۵ درصد از اراضی قابل‌کشت را شامل می‌شود (۲). با توجه به گسترش روزافزون مساحت خاک‌های شور، ضرورت دستیابی به راه‌حل‌های علمی برای افزایش بازده محصول در شرایط شوری، بیش‌تر احساس می‌شود. یکی از راه‌حل‌های اساسی برای این مشکلات، استفاده از پدیده‌های مفید بیولوژیک می‌باشد.

وجود قارچ‌های مایکوریزا در خاک‌های شور و ایجاد همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان در این شرایط نشان می‌دهد که برخی از این قارچ‌ها در همزیستی با گیاهان، از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل آن‌ها را در برابر شوری افزایش می‌دهند (۳). نتایج مطالعه نادیان و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که قارچ رایزوفاگوس اینترارادیسز[1]، قادر است به خوبی با گیاه زعفران ارتباط همزیستی برقرار کند و کلنیزاسیون مایکوریزایی موجب می‌شود تا اثرات سوء تنش شوری بر مؤلفه‌های رشدی گیاه، جذب فسفر، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم را کاهش دهد (٤). هم‌چنین در مطالعات دیگری اثرات مثبت قارچ مایکوریزا در مقابله با تنش خشکی گزارش شده است (۵ و ٦). نتایج پژوهش‌های ارمان و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تلقیح با قارچ رایزوفاگوس اینترارادیسز در نخود باعث افزایش معنی‌داری در کلونیزه شدن ریشه به‌میزان ٤۳/۸ درصد شد (۷). به‌طورکلی این قارچ‌ها از طریق افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک مثل فسفر، روی و مس، افزایش نسبی جذب آب که باعث رقیق شدن اثرات یون‌های سمی می‌شود، افزایش غلظت قندهای محلول و اسیدهای آمینه مثل پرولین در ریشه که منجر به کاهش پتانسیل اسمزی ریشه می‌شود و با ایجاد تعادل عناصر غذایی گیاه، موجب مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیر زنده محیطی (تنش خشکی و شوری) می‌گردند (۸).

پایداری خاکدانه یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده و اثرگذار بر پایداری خاک و تولید محصول است که بر گستره وسیعی از فرآیندهای فیزیکی و بیوشیمیایی در محیط‌های طبیعی و کشاورزی تأثیر می‌گذارد (۹). قارچ مایکوریزا از طریق دو مکانیسم اصلی تثبیت فیزیکی با به دام انداختن ذرات انفرادی خاک به‌وسیله شبکه‌های گسترده هیف و تثبیت شیمیایی توسط ترشحات چسب مانند به پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کند (۱۰). قارچ‌های مایکوریزا علاوه بر افزایش رشد گیاه از طریق جذب عناصر غذایی، با ترشح ماده گلیکو پروتئینی به نام گلومالین نقش به‌سزایی در بهبود ساختمان خاک و مقاومت خاکدانه‌ها دارند (۱۱). هم‌چنین مارتین و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر قارچ‌های فانلیفورمیس موسه و رایزوفاگوس اینترارادیسز را بر تخلخل یک خاک لوم شنی بررسی نموده و نتیجه گرفتند تخلخل خاک از ۹/۷۷ درصد در تیمار شاهد به ١٤/٨١ درصد در تیمار تلقیح‌شده با قارچ فانلیفورمیس موسه افزایش یافت. این پژوهش‌گران دلیل این افزایش را تشکیل خاکدانه‌های پایدار در اثر فعالیت‌های قارچی بیان داشتند (۱۲).

1- *Rhizophagus intraradices*

گیاهان با توجه به سیستم ریشه‌ای متفاوت خود تأثیر متفاوت بر ثبات خاکدانه دارند. علاوه بر این، پاسخ رشد مایکوریزایی[1] گیاه تحت‌تأثیر ساختار و معماری ریشه قرار می‌گیرد. اولین بار بیلیس (۱۹۷۵) عنوان نمود گیاهان با ریشه‌های ضعیف، کم انشعاب و ریشه‌های موئین ناچیز دارای پاسخ رشد مایکوریزایی بیش‌تری نسبت به گیاهان با سیستم ریشه‌ای انبوه و پوشیده از ریشه‌های مویی فراوان هستند (۱۳). نتایج بعضی از آزمایش‌ها این نظریه را تاکنون تأیید نموده است (۱٤ و ۱۵). این‌که قارچ‌های مایکوریزا باعث کاهش تنش شوری در گیاه می‌شود عموماً به خوبی نشان داده شده است (۸) و این‌که این قارچ‌ها در ثبات خاکدانه‌ها می‌تواند تأثیر مثبت داشته باشد نیز شواهدی وجود دارد (۱۱). اما این‌که پاسخ رشد مایکوریزایی سه گیاه شبدر (*Terifoliom alexandrinum* L.)، جعفری (*Petrocelinum crispum* L.) و پیاز (*Allium cepa* L.) متفاوت در ساختار ریشه‌ای به شوری چگونه است و اثرات متقابل این دو چه بر همکنشی بر ثبات خاکدانه با حضور و بدون حضور رایزوفاگوس اینترارادیسز ایجاد می‌کند از اهدف این مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش: این آزمایش در سال ۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ مایکوریزا در دو سطح (عدم تلقیح با قارچ (NM)، تلقیح با قارچ (M))، شوری در سه سطح ($S1$) ۱ $dS\ m^{-1}$)، ($S2$) ۳ $dS\ m^{-1}$ و ($S3$) ٦ $dS\ m^{-1}$) و سه گونه گیاه (شبدر (TA)، جعفری (PC) و پیاز (AC)) بود. این آزمایش به صورت گلدانی و در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام گرفت.

آماده‌سازی خاک گلدان‌ها: به منظور حذف قارچ‌های بومی خاک و عوامل پاتوژن و به‌طورکلی ایجاد یک محیط عاری از قارچ و حذف عوامل بیماریزا، خاک توسط اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ بار به مدت یک ساعت استریل شد. پس از استریل نمودن، خاک در کیسه‌های پلاستیکی کاملاً در بسته تا زمان استفاده، نگهداری شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ نمایش داده شده است.

آماده‌سازی بذور، کاشت و تلقیح آن‌ها: بذور گیاهان، در ظروف پتری‌دیش جهت جوانه‌زنی قرار داده شدند. به این ترتیب که ابتدا بذور به وسیله هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ده دقیقه ضدعفونی شده و پس از جوانه‌زنی در پتری‌دیش، گیاهچه‌ها به گلدان انتقال داده شدند. گلدان‌های مورد استفاده در این آزمایش پلاستیکی و با قطر دهانه ۱٦/۵ سانتی‌متر بودند. به این ترتیب که ابتدا درون هر گلدان ۱۰ حفره به عمق حدود سه سانتی‌متر و به فاصله ۳-۵ سانتی‌متر از یکدیگر توسط میله شیشه‌ای ایجاد گردید. ریشه‌چه گیاهچه‌ها در عمق یک سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. در تیمارهای مایکوریزایی، زادمایه (با تعداد ۱۵۰ اسپور در هر گرم خاک) به وزن ۲۰۰ گرم (شامل اسپور، ریسه‌ها و ریشه‌های گیاه شبدر از قبل کلونی شده با قارچ *رایزوفاگوس اینترارادیسز*) به‌صورت یک لایه در عمق یک سانتی‌متری زیر ریشه‌چه به گلدان‌ها اضافه گردید. برای تهیه مایه تلقیح از کشت تله‌گلدانی استفاده شد. برای این کار شبدر برسیم در گلدان هایی که محتوی مخلوط ماسه و شن (به نسبت ۹ قسمت ماسه و ۱ قسمت خاک) بود کشت شد و ریشه‌های آن توسط قارچ *رایزوفاگوس اینترارادیسز* مایه‌کوبی شدند و در تیمارهای غیرمایکوریزایی همان مقدار زادمایه بعد از استریل به گلدان‌ها اضافه گردید (۱٦). دو ماه پس از کشت گیاه شبدر قسمت هوایی گیاه قطع و دور انداخته شد. از خاک این گلدان‌ها که محتوی اسپور،

1- Mycorrhizal growth response

هیف‌های خارجی قارچ و ریشه شبدر کلنی شده با میکوریزا بود به عنوان مایه تلقیح استفاده شد. در پایان وزن هر گلدان به ۲۹۴۰ گرم رسانده شد. با توجه به فقیر بودن خاک از عناصر غذایی، یک محلول غذایی تهیه شد و هر هفته مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از آن به هر گلدان اضافه شد (۱۷).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد اسفاده در این آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in this experiment.

بافت خاک	شن	سیلت	رس	میانگین وزنی قطر	هدایت الکتریکی	واکنش خاک	فسفر قابل‌جذب
	(٪)			(mm)	($dS\ m^{-1}$)		($mg\ kg^{-1}$)
Texture	Sand	Silt	Clay	MWD	EC	pH	Available Phosphorous
	(%)			(mm)	($dS\ m^{-1}$)		($mg\ kg^{-1}$)
Clay	7	19.4	73.6	0.31	0.8	7.7	3.2

اعمال تنش شوری: جهت اعمال تنش شوری از هفته سوم به بعد پس از استقرار کامل گیاه از نمک کلرید سدیم استفاده شد. بدین‌منظور محلول‌هایی از کلرید سدیم در غلظت‌های ۱، ۳ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از آب مقطر جداگانه تهیه شد. بدین‌صورت که برای هر کدام از سه سطح شوری، مقداری نمک با آب مخلوط و EC آن اندازه‌گیری شد تا در نهایت EC مورد نظر به‌دست آمد. آبیاری گلدان‌ها در تیمارهای مختلف در هر نوبت با احتساب نیاز آبشویی (به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان) آبیاری می‌شدند. نیاز آبشویی بر اساس محاسبه EC انجام پذیرفت (۱۸).

اندازه‌گیری مؤلفه‌های رشدی گیاه: پس از برداشت گیاهان در اواخر هفته دوازدهم رشد، ارتفاع هر گیاه از محل طوقه تا بالاترین نقطه گیاه توسط خط‌کش، اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، پاکت‌های حاوی گیاه در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت درون آون قرار داده شدند. پس از خشک شدن اندام هوایی، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و به منظور آنالیز شیمیایی ذخیره گردید. برای جداسازی ریشه گیاهان ابتدا خاک محتوی هر گلدان به همراه ریشه‌های موجود در آن به داخل الک ریخته شد و با تکان دادن آهسته و شستن خاک اطراف ریشه، ریشه‌ها از خاک جدا شدند. بعد از جداسازی، ریشه‌ها به طور کامل با آب مقطر شسته شد و با کاغذ صافی آب اضافی ریشه‌ها گرفته شد. از هر گلدان مقداری از ریشه تازه جهت اندازه‌گیری طول ریشه برداشت شد و ریشه‌های باقی‌مانده را درون پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت درون آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از خشک کردن، وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وابستگی مایکوریزایی[1]: یکی از مؤلفه‌های مهم در مطالعات مایکوریزایی اندازه‌گیری وابستگی مایکوریزایی می‌باشد. این اندازه‌گیری میزان وابستگی گیاه میزبان به قارچ مایکوریزا را تحت شرایط مختلف نشان می‌دهد. وابستگی مایکوریزایی از رابطه زیر محاسبه شد (۱۹):

$$\text{وابستگی مایکوریزایی (٪)} = \frac{\text{وزن گیاه غیرمایکوریزایی} - \text{وزن گیاه مایکوریزایی}}{\text{وزن گیاه مایکوریزایی}} \times ۱۰۰$$

1- Mycorrhizal Dependency

اندازه‌گیری مجموع طول ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه: جهت تعیین مجموع طول ریشه و درصد کلنیزاسیون، یک زیرنمونه از کل ریشه‌های جمع‌آوری شده از هر گلدان به طور تصادفی انتخاب و به دقت وزن گردید. بقیه ریشه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک شدند. زیرنمونه ریشه‌ها در هر تیمار، با استفاده از هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت یک هفته نگهداری شدند و پس از تمیز شدن (مرحله سفید کردن ریشه‌ها) شستشو با آب مقطر، ریشه‌ها توسط محلول تریپن بلو بر اساس روش فیلیپس و هایمن (۱۹۷۰) رنگ‌آمیزی شدند (۲۰)، سپس مجموع طول ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه با استفاده از باینو کولار و روش تقاطع با خطوط شبکه طبق روش تنانت (۱۹۷۵) تعیین گردید (۲۱).

اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی و پایداری خاکدانه‌ها: در این آزمایش عناصر غذایی شامل فسفر، سدیم، پتاسیم، مس، روی، آهن در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. استخراج عناصر با روش خاکسترگیری خشک صورت گرفت. اندازه‌گیری فسفر با استفاده از روش مولیبدات- وانادات، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و عناصر مس، روی و آهن توسط دستگاه جذب اتمی صورت گرفت (۲۲). اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر انجام شد. در نهایت پایداری خاکدانه‌ها بر حسب میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[1] بر حسب میلی‌متر محاسبه شد (٦).

آنالیز داده‌ها: تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

برهمکنش شوری و قارچ مایکوریزا بر مؤلفه‌های رشدی شبدر، جعفری و پیاز: بر طبق جدول ۲ ملاحظه می‌شود که اثر متقابل قارچ مایکوریزا و تنش شوری فقط در وزن خشک ریشه سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز و وزن خشک اندام‌هوایی پیاز در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. با افزایش شوری ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ریشه و مجموع طول ریشه در هر سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا نمود ولی تلقیح با قارچ مایکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار مؤلفه‌های فوق در مقایسه با تیمار بدون تلقیح گردید (جدول‌های ۳ و ٤). تنش شوری باعث کاهش ارتفاع گیاهان شبدر، جعفری و پیاز به‌ترتیب به میزان ٤٠، ٤٤ و ٥٩ درصد گردید. وزن خشک اندام هوایی در گیاه شبدر و جعفری تحت تنش شوری به میزان ۳۱ و ۳۵ درصد کاهش یافت. وزن خشک اندام هوایی پیاز در تیمار غیرمایکوریزایی و تنش شوری زیاد نسبت به تیمار مایکوریزایی و تنش شوری کم ۹٦ درصد کاهش نشان داد. هم‌چنین تحت تنش شوری مجموع طول ریشه هر سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز به میزان ۲۵، ٢٤ و ۲۲ درصد کاهش یافت. وزن ماده خشک اندام هوایی شبدر، جعفری و پیاز مایکویزایی نسبت به تیمارهای غیرمایکوریزایی آن‌ها به ترتیب ٦٩، ٦٧ و ۹۳ درصد افزایش یافت. درصد افزایش وزن ماده خشک ریشه این سه گیاه مایکوریزایی نسبت به غیرمایکوریزایی آن‌ها به ترتیب یاد شده ٦٥، ٦٥ و ۹۳ و برای مجموع طول ریشه این سه گیاه مایکوریزایی نسبت به غیرمایکوریزایی آن‌ها به ترتیب برای شبدر، جعفری و پیاز ۲۵، ۱۹ و ٤٦ درصد افزایش یافت. ارتفاع هر سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز تحت تلقیح با مایکوریزا به‌میزان ۲۸، ۳۸ و ٦٨ درصد افزایش یافت. ملاحظه می‌گردد درصد افزایش هر چهار مؤلفه رشدی اندازه‌گیری شده فوق برای پیاز مایکوریزایی نسبت به پیاز غیرمایکوریزایی بیش‌تر از دیگر گیاهان بوده است (جدول‌های ۳ و ٤).

1- MWD

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و مجموع طول ریشه سه گیاه.

Table 2. Analysis of variance of mycorrhizal fungus and salinity effect on plant height, shoot and root dry weights and total root length in three plants.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares											
		ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)			وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot dry weight (g pot^{-1})			وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry weight (g pot^{-1})			مجموع طول ریشه (متر در گلدان) Total root length (m pot^{-1})		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
قارچ Mycorrhiza	1	578.0**	512.0**	2156.1**	2.1**	1.58**	9.2**	0.75**	0.64**	5.24**	2.59**	1.98**	18.30**
شوری Salinity	2	87.7**	66.7**	168.2**	0.1**	0.11**	0.2**	0.12**	0.09**	0.13**	0.74**	0.47*	0.94**
قارچ * شوری Mycorrhiza * Salinity	2	2.5^{ns}	1.5^{ns}	4.7^{ns}	0.03^{ns}	0.01^{ns}	0.06**	0.05*	0.02**	0.09**	0.22^{ns}	0.13^{ns}	0.41^{ns}
خطا Error	12	4.6	10.1	75.3	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.18	0.19	0.16
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	11.10	17.30	12.63	10.21	15.62	12.56	17.58	18.08	8.86	13.68	13.68	6.77

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

** Significant difference at 5%, * Significant at 1% and ns Not significant (Duncan Multi-Range Test)

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و مجموع طول ریشه سه گیاه.

Table 3. Mean comparison of mycorrhizal fungus and salinity effect on plant height, shoot and root dry weights and total root length in three plants.

تیمار	سطح	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)			وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot dry weight (g pot^{-1})			مجموع طول ریشه (متر در گلدان) Total root length (m pot^{-1})		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
با قارچ Mycorrhiza	M	23.5 [a]	20.5 [a]	30.7 [a]	1.072 [a]	0.937 [a]	4.07 [a]	3.47 [a]	3.31 [a]	4.07 [a]
	NM	16.8 [b]	12.6 [b]	9.8 [b]	0.387 [b]	0.345 [b]	2.05 [b]	2.58 [b]	2.32 [b]	2.05 [b]
شوری Salinity	S_1	22.5 [a]	19 [a]	25.6 [a]	0.866 [a]	0.816 [a]	3.48 [a]	3.26 [a]	3.09 [a]	3.48 [a]
	S_2	16.5 [b]	15 [b]	18.5 [b]	0.726 [b]	0.578 [b]	3.03 [b]	2.89 [ab]	2.76 [b]	3.03 [b]
	S_3	13.3 [c]	11 [c]	15.3 [c]	0.596 [c]	0.53 [b]	2.69 [c]	2.44 [b]	2.32 [c]	2.69 [c]

شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2) و ۶ dS m^{-1} (S3). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪)

Salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and 6 dS m^{-1} (S3). Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level)

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه سه گیاه.

Table 4. Mean comparison of mycorrhizal fungus and salinity effect on shoot and root dry weights in three plants.

تیمار Treatment	سطح شوری Salinity level	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot dry weight (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry weight (g pot^{-1})		
		پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
با قارچ Mycorrhiza	S_1	1.81 [a]	0.82 [a]	0.74 [a]	1.22 [a]
	S_2	1.62 [b]	0.61 [b]	0.60 [b]	1.07 [b]
	S_3	1.32 [c]	0.47 [c]	0.35 [c]	0.88 [c]
بدون قارچ Non-Mycorrhiza	S_1	0.25 [d]	0.30 [d]	0.26 [cd]	0.15 [d]
	S_2	0.16 [d]	0.22 [de]	0.16 [d]	0.10 [de]
	S_3	0.08 [e]	0.16 [e]	0.12 [d]	0.06 [e]

شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2) و ۶ dS m^{-1} (S3). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪)

Salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and 6 dS m^{-1} (S3). Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level)

تنش شوری با ایجاد مشکلات زراعی و اکولوژیکی می‌تواند مؤلفه‌هایی مانند جوانه‌زنی بذر، استقرار گیاه، رشد و توسعه گیاه، جذب عناصر غذایی و در نهایت عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر خود درآورد. با وجود این گیاهان بر حسب توانایی خود قادرند به درجات مختلف در مواجه با تنش شوری از خود مقاومت نشان دهند. گیاهان زمانی که تحت تنش شوری قرار می‌گیرند از طریق

فرآیندهای مختلف مانند تنظیم اسمزی سلول، حفظ تمامیت غشاء سلولی، بهبود فرآیندهای ضد اکسایشی ناشی از تنش شوری و افزایش فعالیت آنزیمی مقاومت خود را در برابر تنش شوری افزایش می‌دهند (۲۳).

همان‌طور که مشاهده شد درصد افزایش مؤلفه‌های رشد در تیمار تلقیح با قارچ مایکوریزا برای گیاه پیاز بیش‌تر از دو گیاه دیگر بود. این افزایش درصد برای پیاز می‌تواند به عوامل مختلفی مربوط شود. از جمله این عوامل می‌تواند به ساختار و معماری ریشه[1] گیاه پیاز اشاره نمود. پیاز گیاهی است فاقد ریشه‌های مویی و نیز ریشه‌های اصلی فاقد انشعابات فرعی درجه یک[2]، انشعابات فرعی درجه دو[3] و انشعابات بعدی است. بنابراین براساس نظرات بیلیس (۱۹۷۵) که برای اولین بار رابطه بین ساختار ریشه و وابستگی مایکوریزایی را اعلام نمود و مطالعات بعدی از جمله بایون و همکاران (۱۹۹٤)، نادیان (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) و قاسم جوکار و همکاران (۲۰۱۳) آن را تأیید نمودند، وابستگی مایکوریزایی پیاز به دلیل ساختاری ریشه‌ای که گفته شد بسیار بالا می‌باشد (٤، ۱۳، ۱٤ و ۲٤).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه شبدر، جعفری و پیاز نشان داد که بیش‌ترین درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمار با شوری کم با میانگین ۲۲ ، ۱۸ و ۲٦ و کم‌ترین درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمار با شوری زیاد با میانگین ۱۱، ۸ و ۱۸ به‌دست آمد (جدول ٦). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شوری بر وابستگی مایکوریزایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). با مقایسه میانگین‌ها ملاحظه می‌شود با افزایش شوری درصد وابستگی مایکوریزایی برای هر سه گیاه افزایش معنی‌داری یافته است (جدول ٦).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه و وابستگی مایکوریزایی در سه گیاه.

Table 5. Analysis of variance of different level of soil salinity on root colonization and mycorrhizal dependency in three plants.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares					
		درصد کلنیزاسیون ریشه Root colonization%			وابستگی مایکوریزایی Mycorrhizal dependency		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
شوری Salinity	2	41.43**	33.19**	20.12**	0.06**	0.04**	0.03**
خطا Error	6	1.99	1.76	0.46	0.00008	0.0002	0.00004
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	16.4	16.4	8.0	6.2	5.1	3.0

** معنی‌دار در سطح یک درصد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

** Significant difference at 1% (Duncan Multi-Range Test)

1- Root architecture
2- First order lateral roots
3- Second order lateral roots

جدول ٦- مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری بر درصد کلنیزاسیون و وابستگی مایکوریزایی ریشه سه گیاه.

Table 6. Mean comparison of different level of soil salinity on root colonization and mycorrhizal dependency of three plants.

وابستگی مایکوریزایی Mycorrhizal dependency			درصد کلنیزاسیون ریشه Root colonization %			سطح شوری Salinity level
پیاز Onion	جعفری Parsley	شبدر Clover	پیاز Onion	جعفری Parsley	شبدر Clover	
83 [c]	61 [c]	59 [c]	26.17 [a]	18.73 [a]	22.33 [a]	S_1
93 [b]	65 [b]	63 [b]	22.83 [b]	14.34 [b]	17.50 [b]	S_2
96 [a]	68 [a]	68 [a]	18.83 [c]	8.81 [c]	11.83 [c]	S_3

شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2) و ٦ dS m^{-1} (S3). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪)

Salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and 6 dS m^{-1} (S3). Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level)

برهمکنش شوری و قارچ مایکوریزا بر درصد کلنیزاسیون ریشه، وابستگی مایکوریزایی و برخی عناصر غذایی شبدر، جعفری و پیاز: گزارش‌های اخیر نشان می‌دهند که مهم‌ترین تأثیر شوری بر روی قارچ مایکوریزا به دلیل تأثیر بر روی جوانه‌زنی اسپور و تولید هیف می‌باشد. مطالعات مختلف نشان می‌دهند که تلقیح گونه‌های مختلف مرکبات با قارچ‌های مایکوریزایی مختلف می‌تواند درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه را افزایش دهد (۲۵ و ۲٦). گزارش شده است که قارچ مایکوریزا خود نیز تحت‌تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد و در این شرایط میزان کلنیزاسیون مایکوریزایی گیاه کم شده و قارچ تمایل بیش‌تری به اسپورزایی خواهد داشت. احتمالاً کاهش درصد کلنیزاسیون در اثر افزایش شوری، باعث کاهش تأثیر قارچ در کاهش تنش شوری نیز می‌گردد (۲۷). قارچ‌های مایکوریزا با انجام فرآیندهای مختلف آنزیمی، هورمونی و بیوشیمیایی قادر است مولفه‌های رشدی، فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه میزبان را بهبود بخشد. همان‌طور که گفته شد تحت تنش شوری بسیاری از فرآیندهای حیاتی گیاه مانند فتوسنتز، سنتز پروتئین (۲۸)، فعالیت‌های آنزیمی، هدایت آبی و فرآیندهای جذبی گیاه را مختل می‌سازد (۲۹). برقراری روابط همزیستی گیاه و قارچ مایکوریزا قادر است به میزان قابل‌توجهی بسیاری از این اختلالات را در گیاه میزبان کاهش دهد. بهبود تغذیه فسفری گیاه (تأثیر غیرمستقیم قارچ در کاهش تنش شوری) که منجر به بهبود مؤلفه‌های رشد و عملکردی گیاه میزبان می‌شود (٤). در واقع، شبکه گسترده هیف‌های خارجی این قارچ‌ها به درون خاک منتشر می‌شوند و قادرند فسفر را با سرعت بیش‌تری، مستقل از حرکت کند انتشار آن‌ها در خاک، به گیاه میزبان انتقال دهند. در واقع تحت تنش شوری رشد و گسترش ریشه بسیار محدود می‌شود. بنابراین جذب عناصر کم‌تحرک مانند فسفر توسط ریشه بسیار کاهش می‌یابد. به‌همین دلیل وابستگی پیاز به قارچ مایکوریزا نسبت به دو گیاه دیگر بیش‌تر است (جدول ٦). البته علاوه بر ساختار ریشه

نوع و میزان ترشحات ریشه‌ای گیاه در میزان جذب عناصر کم‌تحرک مثل فسفر نیز دخیل است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت فسفر اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار قارچ مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در مقایسه با تیمار شاهد در سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز به میزان ۲٦، ۲۷ و ٤۱ درصد گردید. تنش شوری غلظت فسفر را نسبت به تیمار شاهد در سه گیاه به ترتیب به میزان ۲۲، ۲٤ و ۲٦ درصد کاهش داد (جدول ۸). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان مایکوریزایی گردند که از بین آن‌ها می‌توان دسترسی به سطح بیش‌تری از خاک، بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف‌های خارجی قارچ‌های مایکوریزایی (میزان فسفر جذب شده در واحد زمان و واحد طول ریشه) و افزایش فرآهمی فسفر خاک اشاره کرد (۲۸).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت فسفر و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در سه گیاه.

Table 7. Analysis of variance of mycorrhizal fungus and salinity effect on Shoot P, K/Na concentration in three plants.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares					
		فسفر اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot P (mg kg^{-1})			نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی Shoot K/Na		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
قارچ Mycorrhiza	1	7879126**	7701504**	23541234**	0.253**	0.252**	1.36**
شوری Salinity	2	2011462**	1988889**	2745980**	0.057**	0.057**	0.57**
قارچ * شوری Mycorrhiza * Salinity	2	52939^{ns}	74074^{ns}	539199^{ns}	0.001**	0.001**	0.001**
خطا Error	12	137258	212375	3031525	0.000008	0.000001	0.000002
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	8.49	11.08	11.37	4.9	4.9	9.8

** معنی‌دار در سطح یک درصد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

** Significant difference at 1% (Duncan Multi-Range Test)

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت فسفر اندام هوایی سه گیاه.

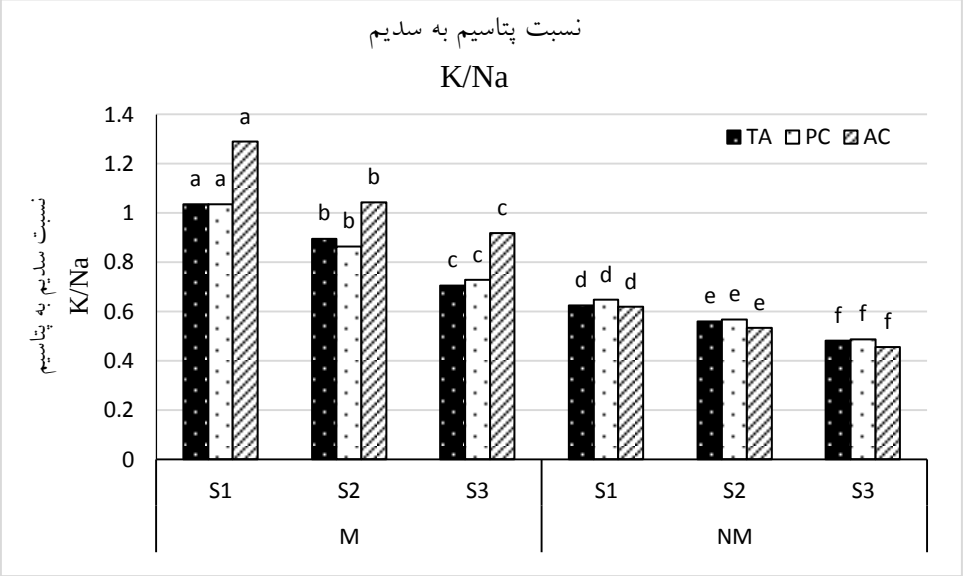
Table 8. Mean comparison of mycorrhizal fungus and salinity effect on Shoot P concentration in three plants.

تیمار Treatment	سطح Level	فسفر اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot P (mg kg^{-1})		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
قارچ Mycorrhiza	M	5036.6 [a]	4812.1 [a]	5562.8 [a]
	NM	3713.4 [b]	3504.0 [b]	3275.6 [b]
شوری Salinity	S_1	4994.0 [a]	4761.8 [a]	5146.6 [a]
	S_2	4284.5 [b]	4097.3 [b]	4301.8 [b]
	S_3	3846.0 [b]	3615.2 [b]	3809.0 [b]

شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2) و ٦ dS m^{-1} (S3). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪)

Salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and 6 dS m^{-1} (S3). Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل قارچ و شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۷). با مقایسه میانگین‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش شوری، هرچند نسبت پتاسیم به سدیم کاهش می‌یابد اما، این نسبت در تیمار مایکوریزایی مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که بین پتاسیم و سدیم اثر آنتاگونیستی وجود دارد. اساس تحمل بالاتر گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی در شرایط شوری را می‌توان به جلوگیری از جذب سدیم از خاک یا ذخیره سدیم در هیف‌های درون سلولی قارچ در ریشه نسبت داد که موجب کاهش ورود سدیم به اندام هوایی می‌شود (۳۰). قارچ‌های مایکوریزا با کاهش جذب سدیم و کلر با انتقال کم‌تر آن‌ها به اندام هوایی همانند یک بهبوددهنده زیستی در خاک‌های شور عمل می‌کنند (۳۱). تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزا موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای، از جمله افزایش غلظت پتاسیم در بافت برگ می‌شود (۳۲). همانند نتایج این پژوهش، هالپرین و لینچ (۲۰۰۳) بیان کردند که غلظت زیاد یون سدیم در شرایط شور توازن جذب کاتیونی گیاه را برهم زده و موجب کاهش جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود (۳۳). گیاهان برای کاهش جذب سدیم و انتقال آن به اندام‌هوایی راه‌کارهای مختلفی را به کار می‌برند. از مهم‌ترین این راه‌کارها می‌توان به کنترل‌های ژنتیکی که بر روی ناقل‌های Na^+ و K^+ صورت می‌گیرد اشاره نمود (۲۹). همان‌طور که قبلاً گفته شد نقش قارچ‌های مایکوریزا در افزایش و بهبود نسبت K^+/Na^+ در اندام‌های گیاهی تحت تنش شوری به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۱- نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شبدر (TA)، جعفری (PC) و پیاز (AC) با مایکوریزا (M) و بدون مایکوریزا (NM) تحت‌تأثیر سطوح شوری ($S1=1, S2=3$ and $S3= 6$ dS m^{-1}).

Figure 1. Shoot K/Na ratio of clover (P1), parsley (P2) and onion (P3) with mycorrhiza (M) and non-mycorrhiza (NM) as affected by salinity levels (S1=1, S2=3 and S3= 6 dS m^{-1}).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت آهن و مس اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تلقیح مایکوریزایی سبب افزایش ٦، ۱۲ و ٦٦ درصد آهن و ۱۹، ٤٣ و ٤٤ درصد مس نسبت به تیمار شاهد به ترتیب در اندام هوایی گیاه شبدر، جعفری و پیاز گردید. نسبت به تیمار شاهد، تنش شوری سبب کاهش ۳۵، ۳۲ و ۳٦ درصد آهن نسبت به گیاه شاهد به‌ترتیب در سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز گردید. غلظت مس تحت‌تأثیر شوری نسبت به تیمار شاهد به میزان ۸، ۳۱ و ۲۹ درصد کاهش یافت (جدول ۱۰). این نتایج در گزارش عالیپور و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان شده است. آن‌ها گزارش کردند که تلقیح ریشه گیاهان با قارچ مایکوریزا منجر به افزایش جذب آهن می‌شود که علت آن را ترشح اسیدهای آلی و هم‌چنین تغییر pH بیان نمودند (۳٤). انتشاری و حاجی‌هاشمی (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر دو گونه قارچ مایکوریزا بر محتوای آهن گیاه سویا تحت تنش شوری بیان داشتند که شوری غلظت آهن را کاهش می‌دهد، ولی قارچ‌های مایکوریزا به‌طور معنی‌داری کاهش میزان این عنصر را تحت تنش شوری برطرف ساختند که علت این پدیده می‌تواند مربوط به سرعت گسترش هیف‌های قارچ مایکوریزا باشد که به طور متوسط ۸۰۰ برابر سرعت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌باشد (۳۵).

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، غلظت آهن، روی و مس اندام هوایی در سه گیاه.

Table 9. Analysis of variance of mycorrhizal fungus and salinity effect on MWD, Shoot Fe, Zn and Cu concentration in three plants.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares											
		میانگین وزنی قطر (میلی‌متر) MWD (mm)			آهن اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot Fe (mg kg^{-1})			روی اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot Zn (mg kg^{-1})			مس اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot Cu (mg kg^{-1})		
		شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion	شبدر Clover	جعفری Parsley	پیاز Onion
قارچ Mycorrhiza	1	0.19**	0.15**	1.06**	612.5**	2048**	115520**	338**	0.5**	82960**	470.2**	72.0**	3362**
شوری Salinity	2	0.07**	0.06**	0.05**	8252.1**	5471**	7689.5**	15944**	14139**	9374**	328.7**	158.3**	420.2**
قارچ * شوری Mycorriza * Salinity	2	0.0003**	0.0002**	0.0004**	105.5$^{n.s}$	232.17$^{n.s}$	93.72$^{n.s}$	1068.6**	244.5**	748.2**	19.39$^{n.s}$	78.17$^{n.s}$	88.7$^{n.s}$
خطا Error	۱۲	0.0002	0.0003	0.02	21512.5	378.33	10.01	1239.06	307.06	1041.3	67	83.61	491.3
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	4.61	3.09	6.53	10.85	12.73	12.26	19.49	13.82	10.5	16.90	18.88	13.12

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

** Significant difference at 5%, * Significant at 1% and ns Not significant (Duncan Multi-Range Test)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت آهن و مس اندام هوایی سه گیاه.

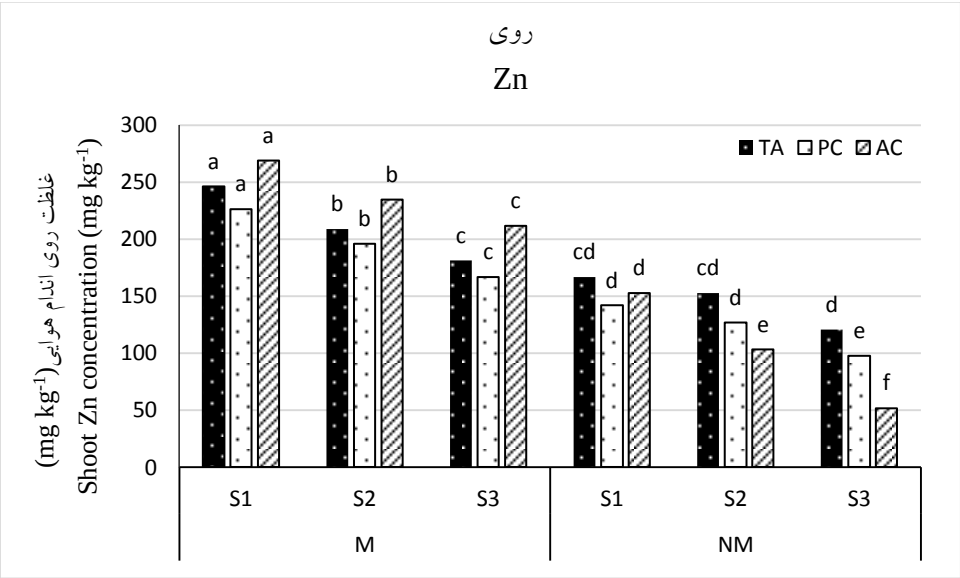
Table 10. Mean comparison of mycorrhizal fungus and salinity effect on Shoot Fe and Cu concentration in three plants.

مس اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot Cu (mg kg^{-1})			آهن اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Shoot Fe (mg kg^{-1})			سطح Level	تیمار Treatment
پیاز Onion	جعفری Parsley	شبدر Clover	پیاز Onion	جعفری Parsley	شبدر Clover		
62.4 ^{a}	53.0 ^{a}	53.5 ^{a}	240.1 ^{a}	165.2 ^{a}	178.0 ^{a}	M	قارچ Mycorrhiza
35.1 ^{b}	29.8 ^{b}	43.3 ^{b}	79.8 ^{b}	143.9 ^{b}	166.3 ^{b}	NM	
56.7 ^{a}	48.8 ^{a}	43.8 ^{a}	196.8 ^{a}	185.5 ^{a}	209.0 ^{a}	S_1	شوری Salinity
49.7 ^{a}	41.5 ^{ab}	50.2 ^{ab}	157.8 ^{b}	153.0 ^{b}	172.6 ^{b}	S_2	
40.0 ^{b}	33.8 ^{b}	40.3 ^{b}	125.3 ^{c}	125.2 ^{c}	134.8 ^{c}	S_3	

شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2) و ٦ dS m^{-1} (S3). اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪)

Salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2) and 6 dS m^{-1} (S3). Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت عنصر روی در اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین نتایج اثر قارچ مایکوریزا و تنش شوری بر غلظت روی اندام هوایی نشان داد که بیش‌ترین غلظت روی در گیاه شبدر، جعفری و پیاز با میانگین ۲٤٦، ۲۲٦ و ۲٦۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار مایکوریزایی با شوری کم مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین غلظت روی اندام‌هوایی با میانگین ۱۲۰، ۹۷ و ۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار غیرمایکوریزایی با شوری مشاهده گردید (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تیمار قارچ مایکوریزا و شوری بر غلظت روی اندام هوایی (با مایکوریزا (M)، بدون مایکوریزا (NM)، شوری ۱ dS m^{-1} (S1)، ۳ dS m^{-1} (S2)، ٦ dS m^{-1} (S3)، گیاه شبدر (TA)، گیاه جعفری (PC)، گیاه پیاز (AC)). مقایسه میانگین‌ها برای هر گیاه جداگانه انجام شده است. اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪).

Figure 2. Effect of mycorrhiza and salinity treatment on shoot Zn concentration (application of mycorrhiza (M), non-application of mycorrhiza (NM), salinity 1 dS m^{-1} (S1), 3 dS m^{-1} (S2), 6 dS m^{-1} (S3), clover (TA), parsley (PC), onion (AC)). Comparisons of means were performed for each plant separately. Numbers with common letters have no significant difference (Duncan Multi-Range Test at 5% level).

این نتایج در مطابقت با نتایج جهانبازی جونقانی و همکاران (۲۰۱۳) بوده که گزارش کردند افزایش تنش شوری موجب کاهش جذب مس، آهن و منگنز و افزایش جذب منیزیم و سدیم می‌شود (۳۶). هم‌چنین همانند نتایج این پژوهش، اولین و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که شوری موجب کاهش غلظت روی در گیاهان می‌گردد. قارچ های مایکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی، مس افزایش داده و موجب بهبود رشد آن‌ها می‌شوند (۳۷).

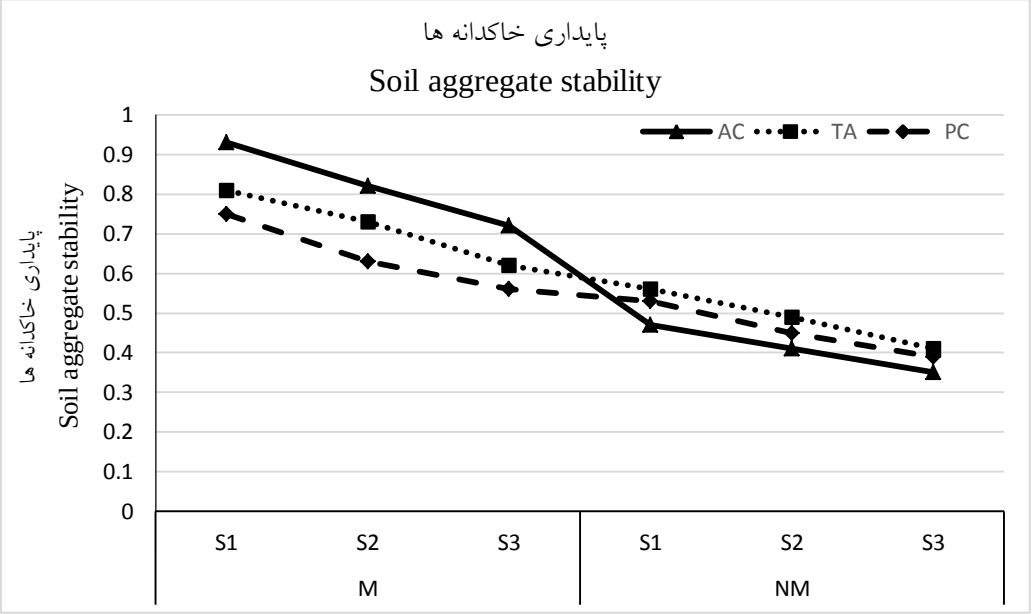
برهمکنش شوری و قارچ مایکوریزا بر پایداری خاکدانه ریشه شبدر، جعفری و پیاز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل قارچ مایکوریزا و شوری بر پایداری خاکدانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه در گیاه شبدر، جعفری و پیاز با میانگین ۰/۸۱، ۰/۷۵ و ۰/۹۳ میلی‌متر مربوط به تیمار مایکوریزایی و تنش شوری کم بود. در حالی‌که کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/٤۱، ۰/۳۹ و ۰/۳۵ میلی‌متر در تیمار غیرمایکوریزایی با شوری زیاد به‌دست آمد (شکل ۳). گیاهان نقش بسیار مهمی در میزان پایداری خاکدانه دارند. نه تنها ساختار و معماری ریشه (میزان انشعاب‌بندی ریشه، تراکم و گسترش ریشه‌های مویی و قطر ریشه) در میزان پایداری خاکدانه مؤثر است بلکه به مقدار قابل‌توجهی این پایداری به میزان و نوع ترشحات ترکیبات آلی ریشه گیاه نیز بستگی دارد. این پایداری زمانی که گیاه با قارچ مایکوریزا همزیست می‌شود به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. در واقع شبکه گسترده ریسه‌های خارجی[1] هم به‌طور فیزیکی و و هم به طریق بیوشیمیایی (مثلاً ترشح گلومالین) قادر به اتصال ذرات خاک و تبدیل ریزخاکدانه‌ها[2] به بزرگ‌خاکدانه‌ها[3] و نهایتاً افزایش پایداری آن‌ها می‌شوند (۲۸).

در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا، بیشترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/۸۱ میلی‌متر در گیاه پیاز و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/٦۳ میلی‌متر مربوط به گیاه جعفری بود. در واقع پیاز به‌علت ساختار ریشه‌ای ضعیف خود، وابستگی آن به قارچ مایکوریزا از دو گیاه دیگر بیش‌تر است (جدول ٦). بنابراین حضور فراوان ریسه‌های قارچ در خاک اطراف ریشه‌های پیاز پایداری بیش‌تری به خاک آن می‌دهد. در شرایط عدم تلقیح قارچ، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/٤۸ میلی‌متر مربوط به گیاه شبدر و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه با میانگین ۰/۳۷ میلی‌متر در گیاه پیاز به‌دست آمد (شکل ۳). گزارش شده است قارچ مایکوریزا علاوه بر افزایش رشد گیاه از طریق جذب عناصر غذایی، با ترشحات خود از جمله گلومالین باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌گردد (۱۰ و ۳۸). هیف‌های مایکوریزایی مشابه ریشه، خاک را به‌طور فیزیکی تثبیت می‌کنند و خاکدانه‌های کوچک را به دام انداخته و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ را تسهیل می‌کنند. هم‌چنین قارچ مایکوریزا با جلوگیری از جذب سدیم و کلر یا انتقال کم‌تر آن‌ها به اندام هوایی مانند یک بهبودکننده زیستی در خاک‌های شور عمل می‌کند (۳). کاهش میزان پایداری خاکدانه در شرایط شوری می‌تواند به دلیل افزایش سدیم تبادلی باشد که باعث افزایش پراکنش رس‌ها و فروپاشی خاکدانه‌ها و به دنبال آن ناپایداری ساختمان خاک می‌گردد.

1- Extraradical hyphae

2- Microaggregates

3- Macroaggregates



شکل ۳- اثر تیمار قارچ مایکوریزا و شوری بر پایداری خاکدانه اطراف ریشه گیاهان مختلف (با مایکوریزا (M)، بدون مایکوریزا (NM)، شوری ۱ $dS\ m^{-1}$ (S1)، شوری ۳ $dS\ m^{-1}$ (S2)، شوری ٦ $dS\ m^{-1}$ (S3)، گیاه شبدر (TA)، گیاه جعفری (PC)، گیاه پیاز (AC)).

Figure 3. Effect of mycorrhiza and salinity treatment on soil aggregate stability (application of mycorrhiza (M), non-application of mycorrhiza (NM), salinity 1 $dS\ m^{-1}$ (S1), 3 $dS\ m^{-1}$ (S2), 6 $dS\ m^{-1}$ (S3), clover (TA), parsley (PC), onion (AC)).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی و جذب عناصر غذایی سه گیاه شبدر، جعفری و پیاز اثر منفی می‌گذارد اما تلقیح گیاهان فوق با قارچ مایکوریزا تا حد زیادی از این اثرات منفی تنش شوری می‌کاهد. هم‌چنین تنش شوری باعث کاهش میزان پایداری خاکدانه‌ها گردید. این اثرات منفی شوری بر پایداری خاکدانه در تیمارهای مایکوریزایی کم‌تر از تیمارهای غیرمایکوریزایی دیده شد. در بین گیاهان مورد مطالعه، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه در شرایط تلقیح قارچ مایکوریزا، مربوط به گیاه پیاز بود و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه در گیاه جعفری دیده شد. در شرایط عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا، بیش‌ترین میزان پایداری خاکدانه مربوط به گیاه شبدر و کم‌ترین میزان پایداری خاکدانه به گیاه پیاز اختصاص یافت.

منابع

1.Parvaiz, A., and Satyawati, S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant Soil Environment, 54: 89-99.
2.Young. 1994. Land degradation in south Asia: Its severity, causes and effects upon the people. W.S.R.R. No. 78. Rome.
3.Al-Karaki, G. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza. 10: 51-54.
4.Nadian, H., Heidari, M., Qaryneh, M., and Daneshvar, M. 2013. The effect of different levels of sodium chloride and mycorrhizal colonization on the growth and uptake of phosphorus, potassium and sodium by saffron. Plant production (Scientific Journal of Agriculture). 36: 2. 58-49. (In Persian)
5.Abdollahi Arpanahi, A., Feizian, M., Mehdipourian, Gh., and Namdar Khojasteh,

D. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. European Journal of Soil Biology. 100: 103-217.

6. Marquez, C.O., Garcia, F.J., Cambardella, C.A., Schultz, R.C., and Isenhart, T.M. 2004. Aggregte-size stability Distribution and soil stability. Soil Science Society of America Journal. 68: 725-735.
7. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tufenkci, S., Oguz, F., and Akkopru, A. 2011. Effects of Rhizobiom, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1- Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Field Crops Research. 122: 1. 14-24.
8. Tavasolee, A., and Aliasgharzad, N. 2009. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Nutrient Uptake and Onion Yield in a Saline Soil at Field Conditions. Water and Soil Sciences. 19: 1. 158-145. (In Persian)
9. Poornazari, N., Khalilimoghadam, B., Hazbavi, Z., and Bagheri Bodaghabadi, M. 2021. Land degradation assessment in the dust hotspot of southeastern Ahvaz, Iran. Land Degradation and Development. 32: 896-913. Doi.org/10.1002/ldr.3748.
10. Rillig, M.C., and Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizae and soil structure. New Phytologist. 171: 41-53.
11. Aumtong, S., Sirinikorn, P., Susingsa, P., and Maungjai, N. 2010. Glomalin-related soil protein influence on soil aggregate stability in soils of cultivated areas and secondary forests from 29-Northern Thailand. P 21-24, In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.
12. Martin, S.L., Mooney, S.J., Dickinson, M.J., and West, H.M. 2012. The effects of simultaneous root colonization by three Glomus species on soil pore characteristics. Soil Biology and Biochemistry. 49: 167-173.
13. Baylis, G.T.S. 1975. The *magnolioid* mycorrhiza and *mycotrophy* in root systems derived from it. P 373-389. In: Endomycorrhizas. F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinker, (eds.). Academic Press, London.
14. Baon, J.B., Smith, S.E., and Alston, A.M. 1994. Growth and phosphorus uptake of rye with long and short root hairs: interaction with mycorrhizal infection. Plant Soil. 167: 247-254.
15. Qasem Jokar, N., Nadian Ghomsheh, H., Khalili Moghadam, B., and Heidari, M. 2013. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on root growth, proline accumulation and uptake of some nutrients by three leek genotypes. Journal of Soil Biology. 1: 2. 93-105. (In Persian)
16. Green, H., Larsen, J., Olsson, P.A., Jensen, D.F., and Jacobsen, I. 1999. Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular ycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil. Applied and Environmental Microbiology. 65: 1428-1434.
17. Smith, F.A., and Smith, S.E. 1981. Mycorrhizal infection and growth of *Trifolium Subterraneum*: use of sterilized soil as a control treatment. New Phytologist. 88: 2. 299-309.
18. Rhoades, J.D. 1974. Drainage for salinity control. P 433-461. In: J. van Shilfgaarde, (ed.) Drainage for agriculture. Agronomy. ASA. Madison, WI.
19. Plenchette, C., Fortin, J.A., and Furlan, V. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizael in a soil of moderate P fertility. 1- Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil. 70: 199-206.
20. Philips, D.A., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing root and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55: 158-161.
21. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. The Journal of Ecology. 63: 3. 995-1001.

22.Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis, 2nd edition, Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis Group. pp. 1264.
23.Abdel Latef, A.A., and Chaoxing, H. 2014. Does the inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? Journal of Plant Growth Regulation. 33: 3. 644-653.
24.Nadian, H. 2011. Effect of drought stress and mycorrhiza coexistence on growth and phosphorus uptake by two different sorghum cultivars in root morphology. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences. 15: 57. 140-127. (In Persian)
25.Pixao, C.M., Oliveira, A.R., and Amoria, R.T.D. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi effect on growth and nutrition of citrus rootstock. Magistra. 19: 47-59.
26.Wang, M., Christie, P., Xiao, Z., Wang, P., Lio, J., and Xia, R. 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and *Citrus reticulata* Blanco grown on sand medium under different pH. Biology and Fertility of Soils. 45: 65-72.
27.Jarstfer, A., Farmer-Koppenol, P., and Sylvia, D. 1998. Tissue magnesium and calcium affect arbuscular mycorrhiza development and fungal reproduction. Mycorrhiza. 7: 237-242.
28.Karami, E., Ghorbani Dashtaki, S., and Khalilimoghadam, B. 2018. Effects of land management on soil erodibility-A case study in part of Zayandeh-Rood watershed. Journal of Agricultural Engineering. 40: 105-119.
29.Ruiz-Lozano, D., Porcel, R., Azcon, C. and Aroca, R. 2012. Regulation by arbuscualr mycorrhizal fungi of the integrated physiological responses to salinity in plants: new challenges in physiological and molecule studies. Journal of Experimental Botany. 63: 11. 4033-4044.
30.Hammer, E.C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P.A., and Wallander, H. 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity, Mycorrhiza. 21: 117-129.
31.Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Scientia Horticulturaea. 109: 1-7.
32.Sheng, M., Tang, M., Chan, H., Yang, B., Zhang, F., and Huang, Y. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza. 18: 287-296.
33.Halperin, S.J., and Lynch, J.P. 2003. Effects of salinity on cytosolic Na and K in root hairs of *Arabidopsis thaliana*: in vivo measurements using the fluorescent dyes SBFI and PBFI. Journal of Experimental Botany. 54: 390. 2035-2043.
34.Alipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Norbakhsh, F., and Rejali, F. 2015. Beneficial Effects of Mycorrhizal Fungi on Growth Characteristics and Nutrients Uptake by Plane Tree (*Platanus orientalis* L.), Subjected to Deficit Irrigation. Journal of Crop Production and Processing. 6: 21. 81-90. (In Persian)
35.Enteshari, S., and Haji Hashemi, F. 2010. The effect of two species of arbuscular mycorrhiza fungi on root nodulation and uptake of some elements in soybean under salinity conditions. Journal of Plant Protection. 24: 3. 315-323. (In Persian)
36.Jahanbazy Goujani, H., Hosseini Nasr, M., Sagheb Talebi, Kh., and Hojjati, M. 2013. Effect of salinity stress on growth factors, proline, pigments and absorption of elements in shoot of four wild almond. The Journal of Plant Research. 5: 37. 787-777. (In Persian)
37.Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., and Kapoor, R. 2019. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. Frontiers in Plant Science. 10:470. doi: 10.3389/fpls.2019.00470.
38.Farahani, S.S., Asoodar, M.A., and Khalilimoghadam, B. 2020. Short-term impacts of biochar, tillage practices, and irrigation systems on nitrate and phosphorus concentrations in subsurface drainage water. Environmental Science and Pollution Research. 27: 761-771.