تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۸۲۳-۸۳۶
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2842.1782

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ گیاه ارزن (*Panicum miliaceum*) به کاربرد اسید هیومیک، سیلیسیم و میکوریزا در شرایط تنش شور سدیمی آب آبیاری

محمد احمدی[۱]، علیرضا آستارایی[۲*]، امیر لکزیان[۲]، حجت امامی[۲]
۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. عضو هیئت‌علمی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اسیدهیومیک، میکوریزا و ذرات سیلیسیم (نانو و معمولی) بر عملکرد و وضعیت برخی از عناصر غذایی ارزن در شرایط آب آبیاری شورسدیمی آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه انجام گرفت. فاکتور اصلی شامل آب آبیاری شورسدیمی در دو سطح (SAR=۱۱/۵، EC =۲/۱ dSm^{-1} و SAR=۲۰/۸، EC = ۵/۰۴ dSm^{-1})، فاکتورهای دوم و فرعی شامل سه تیمار سیلیسیم (صفر، نانو دی‌اکسید سیلیسیم ۱۰ $Kg\ Si\ ha^{-1}$ و سیلیکات سدیم ۱۰ $Kg\ Si\ ha^{-1}$) و فاکتور سوم فرعی میکوریزا، اسید هیومیک (صفر، تلقیح با قارچ میکوریزا و اسید هیومیک ۱۰ $Kg\ ha^{-1}$) بودند. ترکیبات عامل دوم و سوم به‌صورت فاکتوریل در سطوح فاکتور اصلی ایجاد شدند. نتایج نشان داد آب آبیاری شورسدیمی عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش، ارتفاع گیاه ارزن و غلظت نیتروژن، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه را کاهش ولی غلظت سدیم در گیاه را افزایش داد و بر تعداد خوشه در مترمربع و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری نداشت. کاربرد تیمار نانو اکسید سیلیسیم، عملکرد دانه را نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیسیم افزایش داد، درحالی‌که سیلیکات سدیم هیچ تأثیر معنی‌داری را نشان نداد. تلقیح گیاه ارزن با میکوریزا و یا کاربرد اسید هیومیک عملکرد دانه را به ترتیب ۵/۵ و ۱۰/۳ درصد و غلظت فسفر را به ترتیب به میزان ۲۰/۲ و ۱۶/۷ درصد افزایش داد. همچنین میکوریزا و اسید هیومیک در تیمارهای بدون کاربرد سیلیسیم نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه را به ترتیب ۱۹/۵ و ۲۵/۸ درصد افزایش ولی مقدار سدیم گیاه را به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۲/۷ درصد کاهش داد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و میکوریزا با افزایش مقدار فسفر و نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش مقدار سدیم در گیاه، کاهش اثرات سوء شورسدیمی خاک و آب، مقاومت و عملکرد گیاه ارزن را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: **شوری، سدیم، نانوسیلیس، گلوموس موسه‌آ، اسید هیومیک**

مقدمه

یکی از مشکلات عمده کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری منابع آب‌وخاک است (Kafi and Rahimi, 2011). بیش از ۲۰ درصد زمین‌های زیر کشت در دنیا (Gupta and Huang, 2014) و متجاوز از ۵۰ درصد اراضی زیر کشت آبی کشور تحت تأثیر تنش شوری بوده و به‌طور روزافزون در حال گسترش است (Malakouti et al., 2003). اثرات مخرب شوری بر رشد گیاه به دلیل کاهش در پتانسیل اسمزی محلول خاک، عدم تعادل تغذیه‌ای و سمیت ویژه یونی به‌خصوص یون‌های سدیم و کلر است (Daoud et al., 2018). به‌منظور مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک در شرایط شور سدیمی علاوه بر رعایت اصول مدیریتی خاص، کاربرد قارچ‌های میکوریزا یا مواد آلی مانند اسیدهیومیک باعث عدم آلودگی محیط‌زیست و هم‌چنین افزایش پایداری سیستم‌های زراعی از طریق کاهش مصرف کودهای شیمیایی

* نگارنده پاسخگو: علیرضا آستارایی. پست الکترونیک: astaraei@um.ac.ir

می‌شود. ازجمله راه‌حل‌های دیگر غلبه بر اثرات منفی شوری بر رشد و عملکرد گیاه می‌توان به تأثیر و نقش سیلیسیم و نانو ذرات سیلیسیم نیز اشاره نمود.

قارچ‌های میکوریزا که از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک گیاه محسوب می‌شوند به‌عنوان یک کود بیولوژیک مناسب، گزینه‌ای برای بهبود رشد و تحمل گیاهان در برابر تنش شوری است (Yousefi et al., 2009). اگرچه شوری می‌تواند فعالیت قارچ میکوریزا آربسکولار را تحت تأثیر قرار داده و ظرفیت تلقیح، جوانه‌زنی اسپور و رشد هیف قارچ را کاهش دهد (Zhu and Gong, 2014). بااین‌وجود، گزارش‌های زیادی بهبود وظایف و رشد گیاهان میکوریزایی را در شرایط تنش شوری نشان داده است (Giri et al., 2007; Sannazzaro et al., 2007; Zuccarini and Okurowska, 2008). این اثرات مثبت به‌وسیله بهبود یافتن تغذیه گیاه میزبان با جذب انتخابی عناصر، نسبت بیشتر یون پتاسیم به سدیم در بافت گیاه و افزایش کارایی مصرف آب و تنظیم اسمزی بهتر با تجمع مواد محلول سازگار مثل پرولین، گلایسین بتائین یا قندهای محلول توضیح داده می‌شود (Akbari ghogdi et al., 2012).

مواد هیومیکی و اسید هیومیک به‌عنوان اجزای نهایی تجزیه مواد آلی و جزء فعال هوموس، می‌تواند به‌عنوان منبع کود آلی ارزان برای افزایش رشد و عملکرد گیاه و افزایش تحمل به تنش و همچنین بهبود وضعیت فیزیکی خاک استفاده شود (Abdur Rashid et al., 2010; Selim et al., 2009). مواد هیومیکی در خاک اثرات مستقیم و غیرمستقیم مفیدی بر رشد گیاه دارد که از اثرات غیرمستقیم، می‌توان به بهبود وضعیت فیزیکی خاک مثل خاکدانه‌سازی، تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و برخی شرایط شیمیایی مانند افزایش انحلال‌پذیری و فراهمی عناصر کم‌مصرف مثل آهن، روی، منگنز و برخی عناصر پرمصرف مثل پتاسیم، فسفر و کلسیم اشاره نمود و اثرات مستقیم مربوط به بعد از جذب مواد هیومیکی است که منجر به اثرات بیوشیمیایی مختلفی مثل بهبود سنتز پروتئین و سنتز اسیدنوکلئیک، فعالیت‌های شبه‌هورمونی، افزایش فتوسنتز و آنزیم‌ها می‌شود (Celik et al., 2011; Daur and Bakhashwain, 2013).

یکی دیگر از راه‌حل‌ها و راهبردهای غلبه بر اثرات منفی شوری می‌توان به نقش و تأثیر سیلیسیم اشاره نمود (Levent et al., 2008). مطالعات نشان داده که سیلیسیم می‌تواند تنش‌های غیرزیستی زیادی را مثل تنش‌های فیزیکی، ورس، خشکی، تشعشعات، درجه حرارت زیاد، یخ‌زدگی، اشعه ماوراءبنفش و تنش‌های شیمیایی حاصل از نمک‌ها، عناصر سنگین و عدم تعادل تغذیه‌ای را کاهش دهد. فرضیه‌های متعددی برای این اثر مثبت وجود دارد که می‌توان به بهبود فعالیت فتوسنتزی و افزایش انتخاب‌پذیری جذب پتاسیم نسبت به سدیم، کاهش جذب سدیم توسط گیاه و رسوب سیلیسیم در دیواره سلولی ریشه و اندام هوایی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جهت حذف فعالیت رادیکال‌های آزاد اشاره نمود (Meena et al., 2014; Zhu et al., 2004) و در مطالعات اخیر استفاده از نانو ذرات سیلیسم به‌عنوان جایگزین نمک سیلیسم موردتوجه قرار گرفته است (Karunakaran et al. 2013; Haghighi and Pessarakli. 2013).

با توجه به‌ضرورت توسعه کشت گیاهان کم آب‌خواه مانند ارزن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، وجود تنش شوری و سدیمی در بخش عمده‌ای از این مناطق و اهمیت بررسی اثرات کودهای آلی، بیولوژیک و نانو در کاهش تنش و بهبود رشد گیاه موجب شد تا این تحقیق با هدف مطالعه اثر میکوریزا، اسید هیومیک، نانو ذرات سیلیسیم، سیلیکات سدیم و اثرات متقابل احتمالی بر عملکرد و عناصر غذایی گیاه ارزن در دو سطح آب آبیاری شور سدیمی اجرا گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. مطالعه در مزرعه‌ای در ۳ کیلومتری شرق شهرستان طبس (۵۶ درجه، ۵۳ دقیقه و ۲۷ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه، ۳۴ دقیقه و ۴۱ ثانیه عرض شمالی و ۶۹۰ متر ارتفاع از سطح دریا) واقع در استان خراسان جنوبی انجام گرفت. میانگین بیشینه و کمینه دما در این منطقه به ترتیب ۱۶/۳ و ۲۸/۹ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالانه ۸۴ میلی‌متر است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت در جدول ۱ نشان داده شده است.

فاکتورهای بررسی‌شده شامل فاکتور اول و اصلی (S)، آب آبیاری شور سدیمی در ۲ سطح S1 (SAR=۱۱/۵، $dS.m^{-1}$ EC= ۲/۱) و S2 (SAR=۲۰/۸، $dS.m^{-1}$ EC= ۵/۰۴)، فاکتور دوم و فرعی سیلیسیم (SI) شامل ۳ تیمار: صفر (Si0)، نانو دی‌اکسید سیلیسیم، NSi (SiO_2) با خلوص بیش از ۹۹

درصد و اندازه ذرات بین ۲۰ تا ۳۰ نانومتر؛ ۱۰ Kg Si ha^{-1}) و سیلیکات سدیم، Si (۱۰ Kg Si ha^{-1}) و فاکتور سوم و فرعی میکوریزا، اسید هیومیک (MH) شامل سه تیمار: بدون اسیدهیومیک و میکوریزا (MH0)، تلقیح با قارچ میکوریزا گلوموس موسهآ (M) و اسید هیومیک (H) (۱۰ Kg ha^{-1}) بود. ترکیبات عامل دوم و سوم به‌صورت فاکتوریل در سطوح فاکتور اصلی ایجاد شدند. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر محل آزمایش

Table 1. Chemical and physical properties of the soil studied (0-30 Cm)

بافت‌خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	نیتروژن‌کل Total N	مواد آلی Organic Matter	فسفر قابل‌جذب Labile P	پتاسیم قابل‌دسترس Available K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
	(dS m^{-1})		----------(%)----------		---------- (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg^{-1}) ----------					
Sandy Loam	3.18	8.23	0.024	0.2	8.4	135	3.4	4.1	0.8	1.9

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلر Cl^-	بی‌کربنات HCO_3^-	نسبت‌جذب‌سدیم SAR
---------- (میلی اکی والان بر لیتر) ($meq.L^{-1}$) ----------						
3.4	4.2	21.2	0.43	20.6	6.9	10.9

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Table 2. Chemical properties of irrigation water

نمونه‌های آب آبیاری Irrigation water samples	قابلیت هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلر Cl^-	سولفات SO_4^{2-}	بی‌کربنات HCO_3^-	نسبت‌جذب‌سدیم SAR
	(dS m^{-1})		---------- (میلی اکی والان بر لیتر) ($meqL^{-1}$) ----------							
1	2.1	8.06	2.4	1.8	16.6	0.08	14.5	2.6	3.4	11.5
2	5.04	7.92	4.5	3.4	41.3	0.09	41.3	4.1	3.7	20.8

پس از آماده‌سازی زمین زراعی و پیاده کردن کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۲ در ۱/۵ متر مقادیر تیمارهای آزمایشی اسید هیومیک، سیلیسیم و زادمایه قارچی میکوریزای گلوموس موسه آ به خاک کرت‌های موردنظر در ۳ سانتی‌متری زیر ردیف کاشت اضافه و بذور ارزن با فاصله بین ردیف ۱۸ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر در تاریخ ۲۱ مردادماه سال ۱۳۹۴ کشت گردید. زادمایه قارچی، شامل اسپور (۵۰ اسپور فعال در هر گرم) و ریسه قارچ و قطعات ریشه کلونیزه در بستر شنی (۲۰ متر در هر گرم) به میزان ۱۰۰ گرم در هر مترمربع مورداستفاده قرار گرفت. در طول دوره رشد گیاه، آبیاری با استفاده از دو منبع آبی؛ چاه کشاورزی (جدول ۲) و با توجه به تیمار شور سدیمی انجام شد. میزان آب موردنیاز در هر نوبت آبیاری با فرض عبور ۳۵ درصد از حجم آب آبیاری از عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متری) و با توجه به ظرفیت زراعی خاک (۲۱/۲ درصد رطوبت حجمی) و میانگین رطوبت خاک در زمان آبیاری (۱۲/۶ درصد رطوبت حجمی)، معادل ۷۹/۴ میلی‌متر عمق آب آبیاری موردنیاز محاسبه گردید و هر کرت آزمایشی با مصرف ۲۴۰ لیتر آب در هر نوبت، با فاصله هر ۱۲ روز و در پنج نوبت تا پایان آزمایش مورد آبیاری قرار گرفت. خصوصیات شیمیایی خاک در پایان دوره آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی خاک در پایان آزمایش

Table 2. Chemical properties of the soil at the end of the experiment

نمونه‌های آب آبیاری Irrigation water samples	قابلیت هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^{+}	پتاسیم K^{+}	کلر Cl^{-}	بی‌کربنات HCO_3^{-}	نسبت‌جذب‌سدیم SAR
	($dS\ m^{-1}$)		---------- ($meqL^{-1}$) (میلی اکی والان بر لیتر) ----------						
1	2.6	8.21	3.3	4.0	18.5	0.43	14.4	5.6	9.7
2	6.2	8.26	8.6	9.7	47.1	0.45	39.4	12.3	15.6

به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد و تعیین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم، نمونه‌های گیاه در مرحله رسیدگی کامل بعد از ۶۵ روز از زمان کاشت برداشت شد. نیتروژن اندام هوایی به روش کجلدال، فسفر به روش رنگ سنجی حاصل از وانادومولیبدات، سدیم و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Rayan et al., 2001) محاسبات آماری به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

اثر آب آبیاری شور سدیمی، سیلیسیم، اسید هیومیک و میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن

نتایج آزمایش نشان داد افزایش مقدار شور سدیمی آب آبیاری کاهش معنی‌داری را در سطح ۵٪ بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و ارتفاع گیاه ارزن به ترتیب به میزان ۹/۲، ۱۴/۲ و ۱۰/۹ درصد داشت و بر وزن هزار دانه و تعداد خوشه در مترمربع تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۴ و ۵). مشابه نتایج این پژوهش کاهش رشد و عملکرد دانه و ارتفاع تعدادی از ارقام ارزن در اثر شوری گزارش شده است (Hussain et al., 2008; Kazemeini et al., 2016; Norouzi et al., 2015).

اثرات اصلی تیمارهای سیلیسیم بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ و بر عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه در مترمربع در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید. کاربرد تیمار نانو ذرات سیلیسیم، میانگین عملکرد دانه را به میزان ۵ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیسیم افزایش داد که این اثر با مصرف سیلیکات سدیم مشاهده نشد. تعداد خوشه در مترمربع با کاربرد نانو ذرات سیلیسیم و سیلیکات سدیم نسبت به شاهد به ترتیب افزایش و کاهش یافت که تفاوت در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود لیکن تفاوت بین نوع تیمار سیلیسیم نسبت به هم در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۴ و ۵). نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک و سطح ویژه بیشتر، حلالیت و واکنش‌پذیری بیشتری نسبت به ذرات معمولی دارند (Ruffini and Cremonini, 2009). نانو ذرات سیلیسیم می‌توانند تأثیر خود را بر روی آوند چوبی و جابجایی آب داشته و درنتیجه کارایی مصرف آب را افزایش دهد. نانو ذرات سیلیسیم جذب‌شده توسط ریشه، لایه‌ای را در دیواره سلولی ایجاد می‌کنند که به تحمل تنش‌ها و بهبود عملکرد گیاهان کمک می‌کند (Kalteh et al. 2014). برخی محققین اثر مثبت افزودن نانو ذرات سیلیسیم به خاک در افزایش رشد، درصد جوانه‌زنی، کارایی مصرف آب و مقدار کلروفیل ذرت را گزارش نمودند (Karunakaran et al. 2013; Yuvakkumar et al., 2011). همچنین کلته و همکاران (Kalteh et al. 2014) در یک آزمایش گلخانه‌ای بیان کردند نانو ذرات سیلیسیم در مقایسه با سیلیسیم وزن تازه و خشک ریحان را تحت شوری ۶ دسی زیمنس بر متر افزایش داد. خدابنده‌لو و همکاران (Khodabandehloo et al., 2014) گزارش دادند که تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله گیاه ارزن تحت تأثیر کاربرد سیلیسیم قرار نگرفت ولی وزن هزار دانه و عملکرد دانه ارزن افزایش یافت و همچنین در مطالعه‌ای دیگر افزایش پارامترهای رشدی گیاه باقلا در کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم هم در شرایط نرمال و هم تنش شوری مشاهده گردید هرچند تأثیر تیمارهای سیلیسیم در شوری کمتر، بیشتر بود. اثر تیمار نانو سیلیسیم در افزایش وزن خشک و وزن تازه گیاه باقلا بیشتر از تیمار سیلیسیم بود و اثرات مخرب سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مول بر پارامترهای رشدی با تیمارهای سیلیسیم و نانوسیلیسیم بهبود یافت (Qados and Moftah, 2015).

تلقیح گیاه ارزن با میکوریزا عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و تعداد خوشه در مترمربع را نسبت به شاهد به ترتیب ۵/۵، ۹/۷ و ۴/۵ درصد افزایش داد و مصرف اسید هیومیک نیز موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد خوشه در مترمربع به ترتیب به میزان ۱۰/۳ و ۶/۸ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۵).

با بررسی نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) مشاهده شد اثر تیمار فرعی قارچ میکوریزا، اسید هیومیک (MH) بر وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه معنی‌داری نشد و برهمکنش S×SI، S×MH و S×SI×MH بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معنی‌دار نشد.

جدول ۴. تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد دانه و کاه و کلش و اجزای عملکرد ارزن تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 4. Analysis of variance for millet yield and yield components under the influence of experimental treatments

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه‌وکلش Straw yield	وزن هزار دانه 1000 seed weight	تعداد خوشه در مترمربع Number of spikes per m^{-2}	ارتفاع گیاه Plant height
Block	بلوک	2	125053	833020	0.014	1044	7.6
S	شورسدیمی	1	1028928**	7916611**	0.026 ns	2817 ns	690 **
Error a	خطای اصلی	2	19062	31151	0.05	293	0.3
SI	سیلیسیم	2	258864 **	1235644*	0.03 ns	725 *	0.03 ns
HM	میکوریزا، هیومیک	2	352997**	981883**	0.005 ns	1050**	0.84 ns
S×SI	شورسدیمی×سیلیسیم	2	2477 ns	44011 ns	0.005 ns	30 ns	2.2 ns
S×MH	شورسدیمی×میکوریزا، هیومیک	2	26161 ns	112026 ns	0.019 ns	281 ns	4.1 ns
SI×HM	سیلیسیم×میکوریزا، هیومیک	4	57801 ns	436939 ns	0.01 ns	115 ns	8.8 ns
S×SI×HM	شورسدیمی×سیلیسیم× میکوریزا، هیومیک	4	50403 ns	54292 ns	0.002 ns	34 ns	5.5 ns
Error b	خطای فرعی	32	41202	166252	0.0183	182	5.1

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

**Significant at the 0.01 probability level, * Significant at the 0.05 probability level and ns Not significant.

S: Salinity-sodicity, Si: Silicon, NSi: Nano Silicon, M: Mycorrhiza, H: Humic Acid

قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب بهبود جذب آب و مواد غذایی افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت CO_2 به‌وسیلهٔ گیاهان و درنتیجه افزایش ماده خشک گیاه می‌شوند (Rezvani et al., 2011). شوری می‌تواند فعالیت قارچ میکوریزا آربسکولار را تحت تأثیر قرار داده و ظرفیت کلونیزاسیون، جوانه‌زنی اسپور و رشد هیف‌های قارچی را مختل نماید که می‌تواند دلیلی بر کاهش اثرات مثبت میکوریزا در شرایط شوری باشد (Porcel et al., 2012). عرب و همکاران (Arab et al., 2013) گزارش نمودند قارچ میکوریزا گلوموس موسهآ هم در شرایط مطلوب و هم تنش رطوبتی، عملکرد دانه ارزن، تعداد خوشه در مترمربع و تعداد بوته در مترمربع را افزایش داد ولی بر وزن هزار دانه اثر معنی‌داری نداشت. حاجی بلند و همکاران (Hajiboland et al., 2010) نیز عنوان نمودند اگرچه شوری زیاد وزن خشک دو رقم گوجه‌فرنگی را کاهش داد ولی در هر دو رقم، رشد گیاهان میکوریزایی بیشتر از غیر میکوریزایی

بود. مشابه نتایج این تحقیق برخی مطالعات نیز اثر مثبت اسید هیومیک در گیاهان دارویی اسفرزه، بارهنگ و پونه را در شرایط شور نشان دادند (Gholami et al., 2013; Said-Al Ahl, and Hussein, 2010). در مطالعه‌ای کاربرد هومات پتاسیم به همراه آب آبیاری اثرات منفی شوری و تولید گیاه باقلا را بهبود بخشید و این اثر در تیمار بدون شوری مشاهده نشد (Abdel-Mawgoud et al. 2010). در پژوهشی دیگر اسیدهیومیک تحمل به شوری نوعی چمن را افزایش نداد (Liu and Cooper, 2002).

جدول ۵. مقایسه اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه و کاه و کلش و اجزای عملکرد گیاه ارزن

Table 5. Comparison of the main effects of experimental treatments on grain and straw yield and yield components of millet

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield	تعداد خوشه در مترمربع Number of spikes per m^{-2}	ارتفاع گیاه Plant height
	----------kg.ha^{-1} ----------			cm
S_1 شورسدیمی ۱ Salinity-Sodicity1	2994 a	5409 a	238 a	64 a
S2 شور سدیمی ۲ Salinity-Sodicity2	2718 b	4643 b	223 a	57 b
Si_0 بدون سیلیسیم	2840 b	5142 a	229 ab	60.5 a
NSi نانوذرات‌سیلیسیم	2983 a	5210 a	238 a	60.5 a
Si سیلیکات سدیم	2744 b	4726 b	225 b	60.4 a
MH_0 بدون‌میکوریزا، اسیدهیومیک	2712 b	4779 b	222 b	60.7 a
Mycorrhiza مایکوریزا	2862 a	5244 a	232 a	60.6 a
Humic هیومیک	2992 a	5055 ab	237 a	60.2 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند. سطوح شورسدیمی آب آبیاری عبارت بودند از S1 (SAR=۱۱/۵، EC= ۲/۱ ds/m) و S2 (SAR=۲۰/۸، EC= ۵/۰۴ ds/m)

Numbers followed by the same letter are not significantly different using Duncan test (P<0.05).
Si: Silicon, NSi: Nano Silicon, M: Mycorrhiza, H: Humic Acid. S1: (SAR = 11.5, EC= 2.1 ds/m), S2: (SAR = 20.8, EC = 5.04 ds/m)

اثر شوری آب آبیاری، سیلیسیم، اسید هیومیک و میکوریزا بر عناصر غذایی گیاه ارزن

با بررسی نتایج (جدول ۶) مشخص گردید تیمار شورسدیمی آب آبیاری تفاوت معنی‌داری را در غلظت نیتروژن، پتاسیم در گیاه ارزن در سطح ۵٪ و سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در سطح ۱٪ گردید. غلظت نیتروژن در گیاه با افزایش سطح شور سدیمی آب آبیاری ۸/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۷). شوری به دلایل متعدد ازجمله پایین‌تر بودن جذب ناشی از کاهش تراوایی ریشه گیاه، کاهش فعالیت میکروبی و به دنبال آن کاهش معدنی شدن ترکیبات آلی و فرآیند نتیریفیکاسیون و رقابت یون‌های Na+ و Cl- با آمونیوم و نیترات به هنگام جذب، مقدار نیتروژن گیاه را کاهش می‌دهد (Malakouti et al., 2003). مشابه این نتایج در ارزن علوفه‌ای نیز گزارش شده است (Norouzi et al., 2015; Shaviv and Hagin, 1993). غلظت نیتروژن گیاه ارزن با کاربرد سیلیسیم و تیمارهای میکوریزا و اسید هیومیک (MH) تغییرات معنی‌داری را در نداشت (جدول ۶). مطابق با نتایج این مطالعه سارتو و همکاران (Sarto et al., 2014) نیز عنوان کردند غلظت نیتروژن در برگ گندم تحت تأثیر کاربرد سیلیکات کلسیم قرار نگرفت. در مطالعه‌ای دیگر غلظت نیتروژن اندام هوایی در کلزای میکوریزایی و غیرمیکوریزایی یکسان بود (Rezvani et al., 2011). لیکن کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم اسید هیومیک توانست غلظت نیتروژن گیاه ذرت را به ترتیب ۲۷، ۴۲ و ۴۱ درصد افزایش دهد (Daur and Bakhashwain, 2013).

علی‌رغم کاهش غلظت فسفر گیاه به میزان ۱۰/۴ درصد با افزایش سطح شور سدیمی آب آبیاری این کاهش در سطح

۵٪ معنی‌دار نبود (جدول ۷). برخلاف نتایج این تحقیق کاهش معنی‌دار جذب فسفر ناشی از شوری در گندم گزارش شده است (Ahmadi et al. 2006). در محیط شور به دلیل افزایش قدرت یونی از فعالیت فسفر در محلول خاک کاسته می‌شود (Malakouti et al,. 2003) و جذب سطحی فسفر در خاک افزایش و بنابراین فسفر کمتری در محلول خاک برای ریشه فراهم می‌شود. همچنین ممکن است آنیون‌های سولفات و املاح کلر از جذب فسفر توسط ریشه ممانعت به عمل‌آورند (Gupta and Gupta, 1997). تیمارهای سیلیسیم بر فسفر گیاه تغییرات معنی‌داری را موجب نگردید (جدول ۶). زو و گونگ (Zhu and Gong, 2014) در مطالعه خود گزارش نمودند با کاربرد سیلیسیم در شرایط تنش خشکی جذب فسفر در گیاه ذرت کاهش و در جو افزایش یافت. اثرات اصلی قارچ میکوریزا، اسید هیومیک (MH) بر مقدار فسفر معنی‌دار بود. میکوریزا مقدار فسفر گیاه را ۲۰/۲ درصد و کاربرد اسیدهیومیک ۱۶/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۷).

غلظت پتاسیم گیاه با افزایش سطح شور سدیمی آب آبیاری به میزان ۱۰/۴ درصد کاهش معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داد (جدول ۷). افزایش دیگر کاتیون‌های محلول خاک همراه با افزایش شوری و رقابت سدیم در جذب با پتاسیم می‌تواند دلیلی بر کاهش غلظت این عنصر در گیاه باشد. مطالعات دیگری نیز مشابه نتایج این مطالعه کاهش غلظت پتاسیم گندم را با افزایش شوری گزارش کردند (Ahmadi et al. 2006; Wilson et al., 2002). کاربرد سیلیسیم، میکوریزا و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر پتاسیم گیاه نداشت (جدول ۶).

جدول ۶. تجزیه واریانس میانگین مربعات غلظت عناصر غذایی در گیاه ارزن تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 6. Analysis of variance for millet nutrients concentration under the influence of experimental treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	سدیم Na	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
بلوک Block	2	0.07	0.00044	0.174	0.083	0.0076
شورسدیمی S	1	0.17*	0.0026 ns	0.758*	1.72**	3.81**
خطای اصلی Error a	2	0.0054	0.00019	0.038	0.0037	0.0061
سیلیسیم SI	2	0.00007 ns	0.0003 ns	0.028 ns	0.017 ns	0.0068 ns
میکوریزا، هیومیک HM	2	0.0066 ns	0.0029**	0.041 ns	0.114*	0.127**
شورسدیمی×سیلیسیم S×SI	2	0.0023 ns	0.00003 ns	0.028 ns	0.0318 ns	0.042**
شورسدیمی×میکوریزا، هیومیک S×MH	2	0.0008 ns	0.00005 ns	0.037 ns	0.029 ns	0.0133 ns
سیلیسیم×میکوریزا، هیومیک SI×HM	4	0.0016 ns	0.00006 ns	0.02 ns	0.132*	0.048**
شورسدیمی×سیلیسیم× میکوریزا، هیومیک S×SI×HM	4	0.0024 ns	0.00002 ns	0.046 ns	0.029 ns	0.048**
خطای فرعی Error	32	0.02	0.00014	0.027	0.012	0.0065

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

** Significant at the 0.01 probability level, * Significant at the 0.05 probability level and ns Not significant

S: Salinity-sodicity, Si: Silicon, NSi: Nano Silicon, M: Mycorrhiza, H: Humic Acid

جدول ۷. مقایسه اثرات اصلی تیمارهای شور سدیمی، سیلیسیم، اسید هیومیک و قارچ میکوریزا بر غلظت عناصر غذایی گیاه ارزن

Table 7. Comparison of the main effects of experimental treatments on nutrients concentration of millet

تیمار Treatment	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	سدیم Na (%)	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
S_1 شورسدیمی ۱ Salinity-Sodicity1	1.25 a	0.135 a	2.2 a	1.27 b	1.75 a
S2 شور سدیمی ۲ Salinity-Sodicity2	1.14 b	0.121 a	1.97 b	1.62 a	1.22 b
MH_0 بدون میکوریزا و اسیدهیومیک	1.19 a	0.114 b	2.03 a	1.51 a	1.39 b
مایکوریزا Mycorrhiza	1.18 a	0.137 a	2.09 a	1.42 b	1.51 a
هیومیک Humic	1.22 a	0.133 a	2.13 a	1.40 b	1.55 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند. سطوح شورسدیمی آب آبیاری عبارت بودند از S1 (SAR=۱۱/۵، EC= ۲/۱ ds/m) و S2 (SAR=۲۰/۸، EC= ۵/۰۴ ds/m)

Numbers followed by the same letter are not significantly different using Duncan test (P<0.05).
S: Salinity-sodicity, Si: Silicon, NSi: Nano Silicon, M: Mycorrhiza, H: Humic Acid, S1: (SAR = 11.5, EC= 2.1 ds/m), S2: (SAR = 20.8, EC = 5.04 ds/m)

جدول ۸. تجزیه واریانس میانگین مربعات غلظت سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه ارزن تحت تأثیر سطوح میکوریزا- اسید هیومیک (HM) در هر سطح سیلیسیم (SI)

Table 8. Analysis of variance for Na concentration and K/Na in millet under HM treatments in SI levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سدیم Na	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
Si_0 بدون سیلیسیم	2	0.070572 **	0.1753**
NSi نانوذرات‌سیلیسیم	2	0.046817 *	0.0482**
Si سیلیکات سدیم	2	0.005617 ns	0.0054ns

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different using Duncan test (P<0.05).
Si: Silicon, NSi: Nano Silicon

جدول ۹. میانگین مربعات نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه ارزن تحت تأثیر سطوح سیلیسیم در هر سطح شورسدیمی آب آبیاری

Table 9. Analysis of variance for K/Na in millet under SI treatments in Salinity-Sodicity levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
S_1 شورسدیمی ۱ Salinity-Sodicity1	2	0.0402**
S2 شور سدیمی ۲ Salinity-Sodicity2	2	0.0086ns

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون Duncan در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

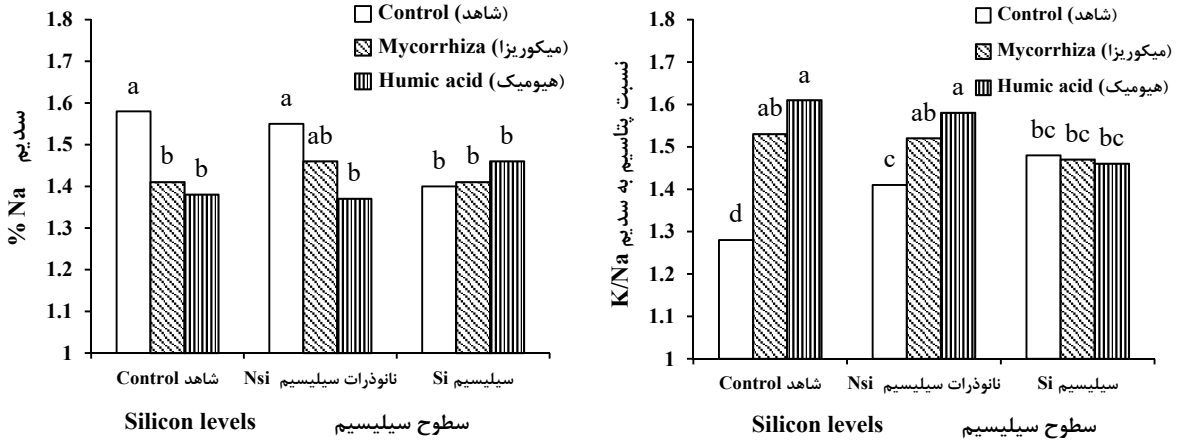
Numbers followed by the same letter are not significantly different using Duncan test (P<0.05).

تلقیح میکوریزایی می‌تواند غلظت فسفر را در گیاهان به‌واسطه توسعه هیف‌های قارچی و دسترسی به حجم خاک بیشتر افزایش دهد. بهبود رشد گیاهان میکوریزی تحت شرایط شوری به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن و فسفر گزارش گردیده است (Evelin et al. 2009). در مطالعه‌ای کاربرد قارچ FM (قارچ فونلیفورمیس موسه) تأثیر معنی‌داری را در جذب نیتروژن اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد نداشت، درحالی‌که کاربرد قارچ GV (گلوموس ورسیفرم) سبب افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن و به میزان ۲۲/۶ درصد نسبت به تیمار شد و هر دو نوع میکوریزا جذب فسفر و پتاسیم اندام هوایی ذرت را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Boostani et al., 2017). در مطالعه‌ای تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا در افزایش غلظت پتاسیم و فسفر در

گیاه لوبیا با افزایش شوری آب آبیاری کمتر گردید (Parsa et al., 2012).

اسیدهای هیومیک نیز در آزاد کردن عناصر غذایی در خاک و فراهمی آن موثراند (Khaled et al., 2011). اسید هیومیک می‌تواند با کاهش تثبیت فسفر و افزایش حلالیت فسفر غیرقابل محلول منجر به فراهمی آن برای گیاه گردد (El-Etr, Wafaa et al., 2011) اسید هیومیک با عمل کردن به‌عنوان مواد شبه هورمونی موجب افزایش رشد ریشه، بهبود کارکرد غشاء سلولی و بهبود جذب مواد غذایی و رشد گیاه می‌گردد (Hayes, 1997). مشابه نتایج این مطالعه مصرفی خاکی اسید هیومیک منجر به افزایش غلظت فسفر در نهال پسته گردید (Razavi Nasab et al., 2017). کاربرد خاکی اسید هیومیک غلظت فسفر و پتاسیم را در گیاه ذرت افزایش داد (Daur and Bakhashwain, 2013) و کاربرد اسید هیومیک مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی لوبیا چشم‌بلبلی را افزایش و مقدار سدیم را کاهش داد و درصد افزایش نیتروژن در گیاه در اثر کاربرد اسید هیومیک در تیمارهای شوری بیشتر بود (El-Hefny Eslah, 2010).

اثرات برهمکنش دوگانه و سه‌گانه S×SI، S×MH، MH×SI و S×SI×MH بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۶). غلظت سدیم گیاه با افزایش سطح شور سدیمی آب آبیاری ۲۷/۶ درصد افزایش یافت که در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. (جدول ۷). برهمکنش SI×HM بر سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه به ترتیب در سطح ۵ و ۱۰ درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد تیمارهای میکوریزا - اسید هیومیک (HM) در سطوح تیمار بدون سیلیسیم و مصرف نانو ذرات سیلیسیم تفاوت معنی‌داری را در غلظت سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه ارزن موجب شد که در سطح مصرفی تیمار سیلیکات سدیم مشاهده نشد. میکوریزا و اسید هیومیک در تیمارهای بدون کاربرد سیلیسیم، غلظت سدیم را از ۱/۵۸ درصد به ترتیب به ۱/۴۱ و ۱/۳۸ درصد در گیاه ارزن کاهش داد و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه از ۱/۲۸ به ترتیب به ۱/۵۳ و ۱/۶۱ افزایش یافت که در سطح ۵٪ معنی‌دار شد و کاربرد اسید هیومیک در سطوح مصرفی نانو ذرات سیلیسیم، سدیم گیاه را از ۱/۵۵ به ۱/۳۷ درصد کاهش داد که در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک نسبت پتاسیم به سدیم گیاه ارزن را در سطوح تیمارهای نانو ذرات سیلیسیم، از ۱/۴۱ به ترتیب به ۱/۵۲ و ۱/۵۸ افزایش داد که در سطح ۵٪ معنی‌دار شد درحالی‌که در تیمارهای کاربرد سیلیکات‌سدیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱).



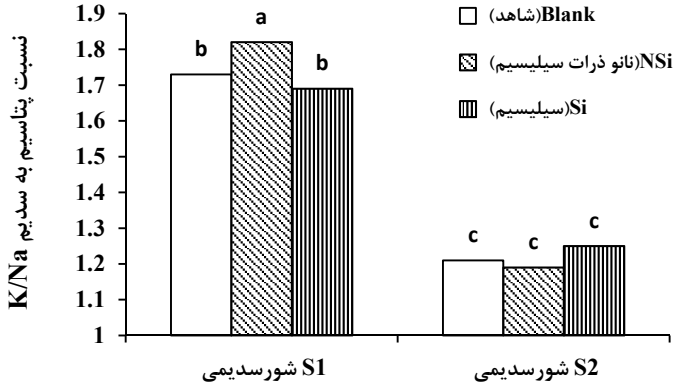
شکل ۱. برهمکنش دوگانه میکوریزا، اسید هیومیک با سیلیسیم بر سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم گیاه ارزن

Fig. 1. Interaction effects of mycorrhiza, humic acid with silicon on sodium and K/Na ratio of millet

برهمکنش دوگانه تیمارهای S×SI بر نسبت پتاسیم به سدیم در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان داد تیمارهای سیلیسیم فقط در سطح شورسدیمی S1 تفاوت معنی‌داری را در نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه ارزن موجب گردید به‌طوری‌که کاربرد نانو ذرات سیلیسیم این نسبت را از ۱/۷۳ به ۱/۸۲ افزایش داد که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. (شکل ۲).

در مطالعه سه اکوتیپ گیاه دارویی شاهدانه مشاهده شد که مقدار سدیم اندام هوایی گیاه در تیمارهای تلقیح یافته کاهش و پتاسیم افزایش یافت که علت آن را حبس یون سدیم در ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی و ذخیره یون پتاسیم در گیاه به‌جای یون سدیم دانستند (Tadayon, 2014). ازجمله دلایل دیگر افزایش تحمل گیاه به تنش شوری در گیاهان میکوریزایی را می‌توان به توانایی قارچ در تنظیم اسمزی گیاه و مکانیسم‌های انتخابی قارچ میکوریزا برای جذب یون‌ها از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، جلوگیری از جذب سدیم و کلر از خاک یا ذخیره سدیم در هیف‌های درون‌سلولی قارچ در ریشه و درنتیجه کاهش ورود سدیم به اندام هوایی، ایجاد تعادل یونی و بهبود جذب آب و فتوسنتز گیاه در برابر شوری اشاره نمود (Al-Khaliel, 2010; Giri et al., 2007; Hammer, 2011). در پژوهشی تلقیح گیاه گندم با قارچ میکوریزا در چهار سطح شوری آب آبیاری علاوه بر افزایش وزن خشک اندام هوایی جذب سدیم در گندم را کاهش و موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم نسبت به شاهد گردید (Habibi, 2013). در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که گیاه زعفران وابستگی زیادی به قارچ میکوریزا داشته و کلونیزاسیون میکوریزایی سبب گردید تا اثرات سوء تنش شوری بر مؤلفه‌های رشد، جذب فسفر، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یابد (Nadian et al., 2013). جذب انتخابی پتاسیم در مقابل سدیم در حقیقت یک مکانیسم فیزیولوژیک مهم دخیل در تحمل به شوری است (Akbari ghogdi, et al., 2012). استفاده از آب‌شور غلظت سدیم را در بادام‌زمینی افزایش و نسبت پتاسیم به سدیم را کاهش داد و کاربرد 1500 ppm اسید هیومیک نسبت پتاسیم به سدیم را به میزان بیشتری در شوری ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر آب آبیاری نسبت به شاهد افزایش داد (Nigania et al., 2017) و کاربرد هوموس، جذب نیتروژن، فسفر، منیزیم و مس در گیاه ذرت تحت تنش شوری افزایش و مقدار سدیم کاهش یافت (Celik, 2010).

برخلاف نتایج این مطالعه سیلیسیم تجمع سدیم را در گیاه خرفه کاهش دهد (Kafi and Rahimi, 2011). افزودن سیلیسیم در محلول کشت هیدروپونیک باعث کاهش غلظت سدیم ریشه در گیاهان یونجه و جو و در کشت گلدانی کاهش سدیم در اندام هوایی جو، گوجه‌فرنگی، چغندرقند، گندم، لوبیا و سورگوم گردید (Zhu and Gong, 2014).



شکل ۲. برهمکنش دوگانه تیمار شورسدیمی آب آبیاری با سیلیسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم گیاه ارزن. سطوح شورسدیمی آب آبیاری عبارت بودند از S1 (SAR=۱۱/۵، EC= ۲/۱ ds/m) و S2 (SAR=۲۰/۸، EC= ۵/۰۴ ds/m)

Fig. 2. Interaction effects of salinity-sodicity of irrigation water with silicon on K/Na ratio of millet. The salinity-sodicity levels of irrigation water were S1 (SAR = 11.5, EC= 2.1 ds/m) and S2 (SAR = 20.8, EC = 5.04 ds/m)

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد مصرف نانو ذرات سیلیسیم نسبت به سیلیکات سدیم توانست تا حدودی عملکرد ارزن را افزایش دهد و کاربرد اسید هیومیک و میکوریزا با افزایش مقدار فسفر و نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش مقدار سدیم در گیاه، کاهش اثرات سوء شورسدیمی خاک و آب، مقاومت و عملکرد گیاه ارزن را بهبود بخشید و در این خصوص اثر اسید هیومیک بیشتر از میکوریزا بود.

منابع

Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Nemr, M.A., Tantawy A.S., Hoda Habib, A., 2010. Alleviation of Salinity Effects on Green Bean Plants Using Some Environmental Friendly Materials. Journal of Applied Sciences Research. 6, 871-878.

Abdur Rashid, R., Sohail Khan, M., Ozturk, E., 2010. Impact of humic acid and chemical fertilizer application on growth and grain yield of rainfed wheat (*Triticum Aestivum* L.) Pakistan Journal of Agricultural Research. 23, 113-121.

Ahmadi, M., Astaraei, A.R., Keshavarz, P., Nasiri Mahalati, M., 2006. Effect of irrigation water salinity and zinc application on soil properties, yield and chemical compositions of wheat. Biyaban. 11, 129-141. [In Persian with English summary].

Akbari Ghogdi, E., Izadi-Darbandi, A., Borzouei, A., 2012. Effects of salinity on some physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Indian Journal of Science and Technology. 5, 1901-1906.

Al-Khaliel, A.S., 2010. Effect of salinity stress on mycorrhizal association and growth response of peanut infected by Glomus mosseae. Plant, Soil and Environment. 56, 318–324.

Arab, A., Bradaran, R., Vahidipour, T.H., 2013. Effect of irrigation and mycorrhizal bio-fertilizers on yield and agronomic traits of millet (*Panicum miliaceum* L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 6, 103-109.

Boostani, H.R., Zarei, M., Barati, V., 2017. Effects of application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and chemical composition of corn (*Zea mays* L. 704) in a calcareous soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 7, 1-23. [In Persian with English summary].

Celik, H., Katkat, A.V., Asik B.B., Turan, M.A., 2011. Effect of foliar-applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 42, 29–38.

Celik, H., Katkat, A.V., Asik B.B., Turan. M.A,. 2010. Effect of humus on growth and nutrient uptake of maize under saline and calcareous soil conditions. Zemdirbyste Agriculture. 97, 15-22.

Daoud, A.M., Hemada, M.M., Saber, N., El-Araby, A.A., Moussa L., 2018. Effect of Silicon on the tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salt stress at different growth stages: Case study for the management of irrigation water. Plants. 7, 1-14.

Daur, I., Bakhashwain, A., 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. Pakistan Journal of Botany. 45, 21-25.

El-Etr, Wafaa, T., Osman, M.A., Mahmoud, A.A., 2011. Improving phosphorus use effeciency and its effect on the productivity of some crops. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2, 1019-1034.

El-Hefny Eslah, M., 2010. Effect of Saline Irrigation Water and Humic Acid Application on Growth and Productivity of Two Cultivars of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4, 6154-6168.

Evelin, H., Kapoor, R. Giri, B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Annals of Botany. 104, 1263-1280.

Gholami, H., Samavat, S., Oraghi Ardebili, Z., 2013. The alleviating effects of humic substances on photosynthesis and yield of Plantago ovate in salinity conditions. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 4, 1683-1686.

Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K.G., 2007. Improved tolerance of Acacia nilotica to salt stress by arbuscular mycorrhiza, Glomus fasciculatum may be partly related to elevated

K/Na ratios in root and shoot tissues. Microbial Ecology. 54, 753-760.

Gupta, B., Huang, B., 2014. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. International Journal of Genomics. Volume 2014, Article ID 701596, 18 pages.

Gupta, S. K., Gupta, I.C., 1997. Crop Production Waterlogged Saline Soils. Scientific Publishers. India.

Habibi, S., Farzaneh, M., Meskarbashee, M. 2013. The effect of inoculation of mycorrhizal fungi on growth and absorption of wheat nutrients in saline conditions. Iranian Journal of Soil and Water Research, 44, 311-320. [In Persian with English summary].

Haghighi, M., Pessarakli, M., 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae. 161,111–117.

Hajiboland R., Aliasgharzadeh N., Laiegh S.F., Poschenrieder, C. 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Plant Soil. 331, 313-327.

Hammer, E.C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P.A., Wallander, H., 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. Mycorrhiza. 21, 117-129.

Hayes, M.H.B. 1997. Emerging concepts of the compositions and structure of humic acids. In: Hayes, M.H.B., Wilson, W.S. (Eds.), Humic Acids in Soils, Peats and Waters-Health and Environmental Aspects. The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp: 3-30.

Hussain, K., Ashraf, M., Ashraf, M.Y., 2008. Relationship between growth and ion relation in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) at different growth stages under salt stress. African Journal of Plant Science. 2(3), 23-27.

Kafi, M., Rahimi, Z., 2011. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Soil Science and Plant Nutrition. 57, 341-347.

Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashra, S., Marashi Aliabadi, M., Falah Nosratabadi, A., 2014. Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks. 4(3), 49-55

Karunakaran, G., Suriyaprabha, R., Manivasakan, P., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., Prabu P., Kannan, N., 2013. Effect of nanosilica and silicon sources on plant growth promoting rhizobacteria, soil nutrients and maize seed germination. IET Nanobiotechnol. 7, 70-77.

Kazemeini, S.A., Alinia, M., Shakeri, E., 2016. Interaction effect of salinity stress and nitrogen on growth and activity of antioxidant enzymes of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.), Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 279-289. [In Persian with English summary].

Khaled, H., Fawy, H.A., 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and Water Research. 6, 21-29.

Khodabandehloo, SH., Sepehr, A., Ahmadvand, G.H., Keshtkar, A., 2014. The effect of silicon application on grain yield of millet and water use efficiency under drought stress. Agricultural Crop Management. 16, 399-416. [In Persian with English summary].

Levent Tuna, A., Kayab, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir S., Girgin, A.R., 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany. 62, 10-16.

Liu, Ch., Cooper, R.J., 2002. Humic acid application does not improve salt tolerance of hydroponically grown creeping bentgrass. Journal of American Society of Horticultural Science. 127, 219-223

Malakouti, M.J., Keshavarz, P., Saadat S., kholdebarin, B. 2003. Plant Nutrition under Saline Conditions. Sana Press, 233p. [In Persian].

Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S., Subba Rao, A., 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 84, 505-518.

Nadian H., Heidari M., Gharineh, M. H., Daneshvar, M.H., 2013.The effects of different levels of sodium chloride and mycorrhizal colonization on growth, P, K and Na uptake by saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Plant Productions. 36(2), 49-59. [In Persian with English summary].

Nigania S., Sharma, Y., Kumar, B., 2017. Role of humic acid and salicylic acid on quality parameters and K/Na ratio of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt and water stress. International Journal of Chemical Studies. 5, 278-283.

Norouzi, H., Roshanfekr, H.A., Hasibi, P., Mesgarbashi, M., 2015. Effect of Irrigation Water Salinity on Yield and Quality of Two Forage Millet Cultivars, Journal of Water Research in Agriculture. 28, 551-560. [In Persian with English summary].

Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghaddam, P., Mashayekhi Sardooy, A., 2012. Interaction effect of irrigation water salinity, Mycorrhiza fungi and phosphorus fertilizer on Prolin, nutrient uptake and yield of bean (*Phaseseolus vulgaris*). The First National Conference on Plant Abiotic Stress, Isfahan University. [In Persian].

Porcel, R., Aroca R., Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag. 32, 181-200.

Qados A.M.S., Moftah. A.A.E., 2015. Influence of silicon and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. American Journal of Experimental Agriculture. 5, 509-524.

Rayan, J.R., Estefan, G., Rashid, A., 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd Ed., ICARDA. Syria

Razavi Nasab A., Fotovat, A., Astaraie, A.R., Tajabadipour, A., 2017. Effects of gypsum, sulfur and HUMAX on some properties of pistachio seedlings and soil in field conditions. Journal of Soil Management and Sustainable. 7, 123-138. [In Persian with English Summary].

Rezvani, M., Afshang, B., Gholizadeh, A., Zaefarian, F., 2011. Evaluation of mycorrhizal fungus and phosphate rock effectiveness on growth and uptake of phosphorous in soybean (*Glycine max* L. Merr.). Journal of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 1, 97-117. [In Persian with English summary].

Ruffini, C.M., Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62, 161–165.

Said-Al Ahl, H.A.H., Hussein, M.S., 2010. Effect of water stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. Ozean Journal of Applied Sciences. 3, 125-141.

Sannazzaro, A.I., Echeverria, M., Alberto, E.O., Ruiz, O.A., Menéndez A.B., 2007. Modulation of polyamine balance in *Lotus glaber* by salinity and arbuscular mycorrhiza. Plant Physiology and Biochemistry. 45, 39-46.

Sarto, M.V.M., Lana, M.C., Rampim, L., Rosset, J.S., Wobeto, J.R., Ecco, M., Bassegio, D. Costa, P.F., 2014. Effect of silicate on nutrition and yield of wheat. African Journal of Agricultural Research. 9, 956-962.

Selim, E.M., Mosa, A.A., El-Ghamry, A.M., 2009. Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. Agricultural Water Management. 96, 1218-1222.

Shaviv, A., Hagin, J., 1993. Interaction of salinity and enhanced ammonium and potassium nutrition in wheat. Plant and Soil. 154, 133-137.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., Huang. Y., 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza. 18, 287-96.

Tadayon, M.R. 2014. The effect of the Arbuscular mycorrhizal (AM) fungus *Glomus mosseae* on the growth and yield of of three ecotype of hemp (*cannabis sativa* L.) under saline soil and saline water. Journal of Plant Process and Function. 3, 105-114. [In Persian with English Summary].

Wilson, C., Read J.J., Abokassem, E., 2002. Effect of mixed- salt salinity on growth and ion relations of quinoa and a wheat variety. Journal of Plant Nutrition. 25, 2689-2704.

Yousefi Rad, M., Noormohammadi, G., Ardakani, M.R., Majidi Hervan, E., Mirhadi, S.J., 2009. Effect of mycorrhiza on morphological characteristics and nutrients content of barley under different salinity levels. Agroecology Journal. 5, 105-114. [In Persian with English Summary].

Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., Samy Kannan, N., Prabu, P., 2011. Influence of nanosilica powder on the growth of maize crop (*Zea mays* L.). International Journal of Green Nanotechnology. 3, 180-190.

Zhu Y., Gong, H., 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants.

Agronomy for Sustainable Development. 34, 455-472.

Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., Yu, J., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science. 167, 527-533.

Zuccarini, P., Okurowska, P., 2008. Effects of mycorrhizal colonization and fertilization on growth and photosynthesis of sweet basil under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 31, 497-513.