اثر سطوح مختلف کلرید سدیم و کلونیزاسیون میکوریزایی بر رشد و جذب فسفر، پتاسیم و سدیم توسط گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.)

حبیب اله نادیان[1]*، مختار حیدری[2]، محمد حسین قرینه[3] و محمد حسین دانشور[4]

۱*- **نویسنده مسؤول:** دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان (Nadian_habib@yahoo.com)

۲- استادیار گروه باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳ و ۴- به ترتیب دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات و گروه باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۳

چکیده

در یک آزمایش گلدانی اثر سطوح مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم (۱/۵، ٤/٥ و ۷/۵ دسی زیمنس بر متر) بر مولفه های رشد، جذب فسفر، پتاسیم و سدیم توسط گیاه زعفران با حضور و بدون حضور میکوریزا به صورت فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر وزن ماده خشک گیاه را به شدت کاهش داد. این کاهش به سمیت ناشی از تجمع فراوان یون سدیم (Na^+) و کاهش غلظت یون پتاسیم (K^+) در گیاه ارتباط داده شد. کلونیزاسیون میکوریزایی گیاه باعث کاهش غلظت یون سدیم و بهبود نسبت پتاسیم به سدیم ($K^+:Na^+$) و در نتیجه سبب افزایش مولفه های رشد گیاه گردید. درصد کلونیزاسیون ریشه تحت تاثیر سطوح شوری قرار نگرفت. علی رغم کاهش وزن ماده خشک گیاه میکوریزایی با افزایش شوری، پاسخ رشد میکوریزایی زعفران در شرایط تنش شوری خاک افزایش پیدا نمود. غلظت فسفر و محتوای فسفر اندام هوایی گیاه میکوریزایی به طور معنی داری بیشتر از میزان آنها در گیاه شاهد بود. اگر چه محتوای فسفر اندام هوایی گیاه میکوریزایی با افزایش شوری کاهش پیدا نمود ولی محتوای فسفر اندام هوایی گیاه میکوریزایی در واحد طول ریشه کلنی شده با افزایش شوری، افزایش پیدا نمود و این می تواند افزایش پاسخ رشد میکوریزایی گیاه زعفران با افزایش شوری خاک را توجیه نماید. این مطالعه نشان داد گیاه زعفران دارای وابستگی زیاد به قارچ میکوریزا می باشد و کلونیزاسیون میکوریزایی سبب گردید تا اثرات سوء تنش شوری بر مولفه های رشد، جذب فسفر، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یابد.

کلید واژه ها: زعفران، پتاسیم، فسفر، سدیم، ، شوری، میکوریزا

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی از خانواده زنبق سانان[1] است که به دلیل خواص دارویی و خوراکی ارزش اقتصادی بالایی دارد. زعفران حاوی بیش از ۱۵۰ نوع مواد فرار، آروماتیک و ترکیبات غیر فرار فعال مانند کاروتنوئیدها است. رنگ طلایی-نارنجی زعفران به سبب وجود ماده آلفا-کروسین[2] است. مصرف زعفران در درمان بیماری هایی مانند سرطان سینه، آلزایمر، آلرژی و بیماری های قلبی مفید است (عبدالاهو[3]، ۲۰۰۷).

شوری از مهمترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. حدود ۷ درصد کره زمین با مشکلات شوری مواجه می باشد و حدود ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی تحت آبیاری در معرض شوری ثانویه می باشند (فلاورز و همکاران[4]، ۱۹۹۵).

شوری می تواند مولفه های رشد گیاه، عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (گیری و

1- Iridaceae
2- α- Crocin
3- Abdullaev
4- Flowers *et al.*

همکاران[1]، ۲۰۰۳). تنش شوری به علت اثرات همزمان اسمزی و یونی ناشی از غلظت زیاد یون سدیم فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه را مختل می سازد (هاسه گاوا و همکاران[2]، ۲۰۰۰). غلظت زیاد یون سدیم در خاک های شور، توازن جذب کاتیونی گیاه را بر هم زده و باعث کاهش جذب پتاسیم و تا حدی کلسیم توسط گیاه می شود (هالپرین و لینچ[3]، ۲۰۰۳). مقاومت گیاهان به تنش شوری به توانایی گیاه در دفع سمیت یون سدیم از بافت های خود بستگی دارد. بر این اساس، نسبت غلظت پتاسیم به سدیم در اندام های گیاه می تواند به عنوان شاخص تحمل گیاه به تنش شوری تلقی شود (کرامر و همکاران[4]، ۱۸۹۷). اکنون به خوبی مشخص شده قارچ های آربسکولار-میکوریزا[5] قادرند جذب عناصر معدنی به خصوص جذب فسفر توسط گیاه میزبان را بهبود بخشند و به این ترتیب بر مولفه های رشد و عملکرد گیاه تاثیر قابل توجهی داشته باشند (اصغری و همکاران، ۲۰۰۵). شبکه گسترده ریسه های خارجی (برون ریشه ای) این قارچ ها به درون خاک منتشر شده و قادرند عناصر غذایی نظیر فسفر (میکیوتیا و همکاران[6]، ۲۰۰۹) و و روی (بورکرت و رابسون[7]، ۱۹۹۴) را با سرعت بیشتری، مستقل از پخشیدگی کند آنها در خاک، به گیاه میزبان انتقال دهند. میکوریزا با افزایش سرعت جذب عناصر کم تحرک (مقدار عنصر جذب شده در واحد طول ریشه و در واحد زمان) قادر است تغذیه گیاه میزبان را در شرایط کمبود عناصر غذایی خاک بهبود بخشد. علاوه بر این، نتایج مطالعات انجام شده نشان داده قارچ های آربسکولار-میکوریزا قادرند اثرهای نامطلوب تنش های محیطی را در گیاه میزبان کاهش دهند. کاهش اثرهای تنش خشکی (عامریان و همکاران[8]، ۲۰۰۱)، بهبود تغذیه گیاه در خاک های فشرده (کوتاری و سینگ[9]، ۱۹۹۶) و خاک های با خاکدانه های درشت (نادیان و همکاران، ۲۰۰۹)، کاهش اثرهای نامطلوب عوامل بیماری زا (جیانینازی- پیرسون و جیانینازی[10]، ۱۹۸۳) و نیز کاهش خسارت های شوری (الکاراکی[11]، ۲۰۰۶؛ اصغری و همکاران[12]، ۲۰۰۵) از اثرهای مفید این قارچها در گیاهان میزبان می باشند.

تاکنون مطالعه ای در زمینه بررسی اثر قارچ های آربسکولار-میکوریزا بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه زعفران تحت تاثیر تنش شوری خاک انجام نشده است. لذا یک آزمایش به منظور مطالعه وابستگی گیاه زعفران به قارچ آربسکولار- میکوریزا (*Glomus intraradices*) در سطوح مختلف شوری ناشی از افزایش کلرید سدیم و تاثیر همزیستی میکوریزایی بر مولفه های رشد و جذب فسفر، پتاسیم و سدیم توسط زعفران در سطوح مختلف کلرید سدیم به اجرا در آمد.

مواد و روش ها

برای اجرای این آزمایش از خاک دارای میزان فسفر کم (۳/۵ پی پی ام) و بافت لوم شنی با پ هاش ۷/۶ استفاده شد. نمونه برداری از خاک و انجام این مطالعه در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان صورت گرفت. به منظور حذف قارچ های بومی خاک و عوامل پاتوژن، خاک توسط اتوکلاو در ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار ۱ اتمسفر به مدت ۱ ساعت برای دو روز متوالی استریل شد.

کشت گیاه و تلقیح با قارچ آربسکولار-میکوریزا: پداژه های زعفران (*Crocus sativus*) پس از ضد عفونی با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه و شستشو با آب مقطر استریل در جعبه کشت درون پرلیت قرار داده شد و تا زمان شروع رشد جوانه

1- Giri *et al.*
2- Hasegawa *et al.*
3- Halperin & Lynch
4- Cramer *et al.*
5- Arbuscular mycorrhiza
6- Maiquetía *et al.*
7- Burkert & Robson
8 - Amerian *et al.*
9- Kothari & Sing
10- Gianinazzi-Pearson. and Gianinazzi
11- Al-Karaki *et al.*
12- Asghari *et al.*

انتهایی با آب مقطر آبیاری گردیدند. به هر گلدان ۳ کیلوگرم خاک استریل هوا خشک اضافه شده و ۵ پداژه زعفران با اندازه تقریبا یکسان با ریشه ی حدود ۱ سانتیمتری منتقل گردید. برای تهیه مایه تلقیح از کشت گلدانی استفاده گردید (نادیان و همکاران، ۲۰۰۹). برای این کار بذر شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) در گلدان های حاوی مخلوط ماسه و شن (نسبت ۹:۱) کشت شده و ریشه های آن با قارچ میکوریزا (*G.intraradices*) مایه کوبی گردیدند. دو ماه پس از کشت شبدر، قسمت هوایی گیاه قطع شده و از خاک گلدان ها که حاوی اسپور، ریسه های خارجی قارچ و ریشه شبدر کلنی شده با میکوریزا بود، به عنوان مایه تلقیح استفاده شد.

در تیمار میکوریزایی، قبل از انتقال پداژه های زعفران به گلدان، مایه تلقیح قارچ میکوریزا به میزان ۵ گرم در زیر ریشه گیاهچه ها قرار داده شد. تمام گلدان ها به یک گلخانه منتقل شدند تا گیاهان تحت شرایط کنترل نسبی رشد نمایند. گلدان ها تا سه هفته پس از کاشت به طور یکسان با آب مقطر آبیاری شدند. به تمام گلدان ها هر هفته ۱۰ میلی لیتر محلول غذایی رقیق شده و بدون فسفر (اسمیت[1]، ۱۹۸۲) اضافه گردید. پس از استقرار گیاهان، تعداد بوته ها به ۳ بوته در هر گلدان کاهش یافت. در شروع هفته چهارم تنش شوری در سطوح مورد نظر اعمال گردید. برای اعمال تیمار شوری نمک خالص کلرید سدیم در مقادیر مختلف در آب مقطر حل گردید تا آب شوری با هدایت الکتریکی ۱/۵ (شاهد)، ۴/۵ و ۷/۵ دسی زیمنس بر متر تهیه شود. برای جلوگیری از بروز تنش ناگهانی ناشی از شوری زیاد، سطوح شوری به تدریج و طی هر دور آبیاری تا رسیدن به سطح مورد نظر افزایش یافت. پس از آن، گلدان ها در هر تیمار توسط آب شور با هدایت الکتریکی مورد نظر آبیاری شدند. در هر تیمار شوری، آب شور مورد نظر (در هر نوبت آبیاری) به اندازه کافی به گلدان محتوی خاک سبک بافت اضافه شد تا زیادی آب شور از انتهای گلدان خارج شود و به این ترتیب از تجمع نمک (نسبت به سطح تعریف شده) در گلدان جلوگیری شود.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی با ۳ سطح شوری × ۲ سطح میکوریزا (با حضور و بدون حضور میکوریزا) و در ۴ تکرار بود. تجزیه داده ها توسط نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها توسط روش چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

گیاهان در پایان هفته نهم برداشت گردیدند. ابتدا اندام های هوایی گیاه از سطح خاک قطع گردیده و وزن تر آنها اندازه گیری شد. سپس اندام ها به قطعات کوچکتر خردشده و در پاکت های کاغذی به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد درون آون نگهداری شدند. پس از خشک شدن درون آون، وزن خشک اندام های هوایی مربوط به هر گلدان تعیین گردیده و آسیاب شدند.

مرحله شستشو، آماده سازی ریشه ها و تعیین طول ریشه ها و میزان کلونیزاسیون آنها: تمام ریشه های گیاه در هر گلدان با دقت از خاک جدا شده و در یک الک بسیار ریز شسته شدند تا کاملاً عاری از خاک شوند. پس از آن آب اضافی ریشه ها توسط حوله کاغذی گرفته شد و جهت بدست آوردن وزن تازه آنها توزین شدند. کلیه ریشه ها به قطعات حدود ۱ سانتیمتری تقسیم و به خوبی مخلوط شدند. در هر تیمار یک زیر نمونه از ریشه ها پس از توزین جهت تعیین طول ریشه و درصد طول ریشه کلنی شده برداشت گردید. بقیه ریشه ها و هم چنین پداژه ها به تفکیک درون پاکت های کاغذی قرار داده شدند و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک شدند و وزن خشک آنها تعیین گردید.

برای رنگ آمیزی ریشه ها ابتدا ریشه ها یک هفته در محلول ۱۰ درصد هیدرواکسید پتاسیم در درجه حرارت ۴۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از تمیز (سفید

1 - Esmit

شدن) ریشه ها، از محلول هیدرواکسید پتاسیم خارج شده و هر نمونه ریشه با آب مقطر به خوبی شسته شد و سپس توسط اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال آبکشی شد. سپس ریشه ها به مدت ۴۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در محلول تریپن بلو[1] قرار گرفتند و پس از آن به دقت با آب مقطر شسته شده و در مخلوط گلسیرین و آب نگهداری شدند. جهت تعیین طول ریشه و درصد کلونیزاسیون آن از روش تقاطع شبکه استفاده شد (تنانت[2]، ۱۹۷۵).

تعیین سدیم، پتاسیم و فسفر: یون های سدیم و پتاسیم در عصاره استخراجی از بافت های گیاه با استفاده از دستگاه شعله سنجی (فلم فتومتر) اندازه گیری شده و میزان فسفر در گیاه به روش رنگ سنجی و با استفاده از مولیبدات آمونیوم تعیین شد. درصد پاسخ رشد میکوریزایی که نشان دهنده درصد وابستگی میکوریزایی گیاه می باشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (بایون و همکاران[3]، ۱۹۹۴):

پاسخ رشد میکوریزایی= {(وزن ماده‌ی خشک گیاه میکوریزایی - وزن ماده‌ی خشک گیاه غیر میکوریزایی(شاهد)/ وزن ماده‌ی خشک گیاه غیر میکوریزایی (شاهد)}×۱۰۰

نتایج و بحث

اثرات شوری و تلقیح میکوریزایی بر مولفه های رشد گیاه زعفران: نتایج تجزیه داده ها (جدول ۱) نشان داد تنش شوری بر مولفه های رشد گیاه شامل وزن ماده خشک اندام هوایی، مجموع طول ریشه و وزن پداژه گیاه تاثیر معنی دار داشت. در تیمار غیرمیکوریزایی، با افزایش تنش شوری از ۱/۵ (تیمار شاهد) به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر، وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه بطور معنی داری کاهش یافت (جدول ۲). روند مشابهی نیز در مورد کاهش وزن ماده خشک ریشه و وزن پداژه با افزایش تنش شوری ملاحظه گردید. کاهش وزن ماده خشک ریشه گیاه تحت افزایش شوری نسبت به وزن ماده خشک اندام هوایی بیشتر بود (جدول ۲). تاثیر مخرب شوری بر مولفه های رشد گیاه از یک طرف به واسطه کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک (فنگ و همکاران[4]، ۲۰۰۲) است و از طرف دیگر به واسطه اثرات سمی ناشی از افزایش یون های سدیم و کلر (Cl^-) در بافت های گیاه (هاسه گاوا و همکاران، ۲۰۰۰) می باشد. این اثرات در بسیاری از فرآیندهای حیاتی گیاه نظیر آسیمیلاسیون و تنفس (جونیپر و ابوت[5]، ۱۹۹۳)، هدایت آبی گیاه (شنگ و همکاران[6]، ۲۰۰۸) و فعالیت های آنزیمی گیاه (گیری و همکاران، ۲۰۰۳) اختلال ایجاد می کند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد قارچ (*G. intraradices*) قادر است به خوبی با گیاه زعفران ارتباط همزیستی برقرار کند. برقراری ارتباط همزیستی بین قارچ و گیاه علاوه بر پیام های شیمیایی بین دو همزیست ارتباط دارد به مشخصات مرفولوژیکی ریشه گیاه میزبان نیز بستگی دارد (بیلیس[7]، ۱۹۷۵). در مطالعه حاضر مشاهده شد گیاه زعفران دارای ریشه های نسبتاً ضخیم و کم انشعاب می باشد. بنابراین، پاسخ رشد میکوریزایی یا به عبارتی وابستگی میکوریزایی زعفران که برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفته است تا حدودی می تواند به مشخصات مرفولوژیکی ریشه آن مربوط باشد. اولین بار نیز بیلیس (۱۹۷۵) عنوان نمود گیاهان با سیستم ریشه ای ضخیم و کم انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه ای انبوه و پر انشعاب دارند.

1- Tripan Blue
2- Tennant
3- Baon *et al*.
4- Feng *et al*.
5- Juniper & Abbott
6- Sheng *et al*.
7- Baylis

جدول ۱- میانگین مربعات تعدادی از صفات مورد اندازه گیری در تجزیه واریانس داده های این مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	ماده خشک اندام هوایی	مجموع طول ریشه	وزن تر پیاز	غلظت فسفر در اندام هوایی	تجمع فسفر در اندام هوایی بازاء هر متر طول ریشه کلنی	پاسخ رشد میکوریزایی	کلنیزاسیون ریشه	غلظت پتاسیم در ریشه	غلظت سدیم در ریشه	نسبت K:Na در ریشه
تکرار	۳	۰/۰۲۷	۲/۹۰	۰/۸۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۲	۱۶۳/۶	۱۳/۰	۱۳/۸	۰/۰۶	۱۹/۵
		*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
شوری (S)	۲	۰/۴۶	۳۴/۳۱	۲۵۶/۷	۰/۱۴	۰/۰۴	۱۹۰۵/۶	۱۱/۵	۵۹/۵	۳۲۳/۳	۹۶۸۵/۶
		***	***	***	***	**	***	ns	*	***	***
(M) میکوریزا	۱	۱/۴۷	۱۵/۵۶	۲۴۷/۰	۱/۹۵	۴/۴	۳۳۸۴۰	۱۱۲۶۶	۵۵۵۷/۱	۱۵۷/۰	۱۹۴۰/۴
		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
S×M	۲	۰/۰۰۳	۰/۱۸	۶/۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴	۱۹۰۵/۶	۱۱/۵	۱۴۵۲/۵	۳۱/۳	۳۵۶/۸
		ns	ns	**	ns	**	***	ns	***	***	***
خطا		۰/۰۰۶	۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۱۳۰/۰	۱۶/۶	۱۶/۳۹	۰/۱۲	۲۵/۵

جدول ۲- اثر سطوح مختلف شوری بر مولفه های رشد زعفران با میکوریزا (M) و بدون میکوریزا (NM)

سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)	میکوریزا	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	مجموع طول ریشه (متر در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن تازه پداژه گرم بر گلدان
۱/۵	M	۱/۵۱ ^{a*}	۷/۴۱ ^{a}	۰/۴۱ ^{a*}	۲۲/۷۱ ^{a}
	NM	۰/۹۸ ^{c}	۵/۵۳ ^{b}	۰/۳۰ ^{b}	۱۴/۵۳ ^{b}
۴/۵	M	۱/۲۱ ^{b}	۵/۳۶ ^{b}	۰/۳۱ ^{b}	۱۴/۲۰ ^{b}
	NM	۰/۷۶ ^{d}	۳/۶۷ ^{c}	۰/۲۱ ^{c}	۷/۹۲ ^{d}
۷/۵	M	۱/۰۲ ^{c}	۲/۹۷ ^{c}	۰/۲۲ ^{c}	۹/۸۲ ^{c}
	NM	۰/۵۰ ^{e}	۱/۶۹ ^{d}	۰/۱۱ ^{d}	۵/۱۹ ^{e}

* در هر ستون، میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح ۵ ٪ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

نتایج مطالعه حاضر با گزارش های سنت جون[1] (۱۹۸۰)، بایون و همکاران (۱۹۹۴) و هانی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد. مطالعه ای در مورد فلور گیاهان در انگلیس نشان داد گیاهان با ریشه های موئین کم و ریشه های ضعیف و کم انشعاب وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه ای نازک، پر انشعاب و متراکم دارند (فیتر[2]، ۱۹۸۹). تلقیح گیاه زعفران با قارچ میکوریزا وزن خشک گیاه را نسبت به شاهد (گیاه تلقیح نشده) در تمام سطوح شوری افزایش داد (جدول ۲).

1- St Jhon

2- Fitter

نتایج مشابهی مبنی بر کاهش اثرات سوء شوری بر مولفه رشد گیاه گوجه فرنگی با حضور قارچ های آربسکولار-میکوریزا گزارش شده است (الکراکی، ۲۰۰۶). با وجود این، وزن خشک گیاه (ریشه، پداژه و اندام هوایی) و نیز طول ریشه گیاه میکوریزایی با افزایش شوری کاهش معنی دار پیدا نمود (جدول ۲). کاهش مولفه های رشد زعفران میکوریزایی با افزایش شوری خاک مربوط به کاهش طول ریشه گیاه و در نتیجه کاهش سطح غشاء سلولی جهت کلونیزاسیون است (کاهش طول ریشه کلنی شده، شکل ۱- C). اگر چه افزایش شوری باعث کاهش مولفه های رشد زعفران میکوریزایی شد، ولی پاسخ رشد میکوریزایی را از ۵۳/۸ درصد به ۱۱۰/۵ درصد افزایش داد (شکل۱-A). این نشان می دهد وابستگی گیاه زعفران به قارچ *G. intraradices* با افزایش شوری خاک، افزایش می یابد.

اثر سطوح مختلف شوری بر کلونیزاسیون ریشه: سطوح مختلف شوری خاک بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه زعفران تاثیر معنی داری نداشت (شکل۱، B). نتایج متفاوتی از تاثیر شوری بر کلونیزاسیون میکوریزایی گزارش شده است. نتایج برخی مطالعات نشان می دهد با افزایش شوری، کلونیزاسیون میکوریزایی کاهش می یابد (گیری و همکاران، ۲۰۰۷؛ شنگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ جونیپر و ابوت، ۱۹۹۳)، ولی برخی محققین افزایش کلونیزاسیون میکوریزایی را با افزایش شوری گزارش نموده اند (هارتموند و همکاران[1]، ۱۹۸۷؛ یاماتو و همکاران[2]، ۲۰۰۸). هم چنین عدم تاثیر شوری بر کلونیزاسیون میکوریزایی نیزگزارش شده است (اصغری و همکاران، ۲۰۰۵). وجود این نتایج ضد و نقیض می تواند به دلیل وجود شرایط آزمایشی متفاوت، نوع گیاه و قارچ میکوریزا باشد. میزان کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزا می تواند بر حسب درصد طول ریشه و یا کل طول ریشه کلنی شده گیاه میزبان تعیین گردد. در این مطالعه با افزایش شوری طول ریشه کلنی شده، به دلیل کاهش طول ریشه، به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۱- C).

اثرات شوری و تلقیح میکوریزایی بر جذب فسفر، سدیم و پتاسیم: تلقیح میکوریزایی غلظت فسفر در اندام های هوایی گیاه را نسبت به تیمار شاهد (غیر میکوریزایی) به طور معنی داری افزایش داد (شکل ۲- A). در روابط همزیستی بین میکوریزا و گیاه، بارزترین اثر سودمند همزیستی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه است که توسط محققین گزارش شده است (بایون و همکاران، ۱۹۹۴). حضور یک شبکه گسترده از ریسه های برون ریشه ای در خاک و اطراف ریشه، فسفر را از نقاط دور از دسترس ریشه و با سرعتی بسیار بیشتر از سرعت انتشار فسفر در خاک به ریشه های گیاه میزبان انتقال می دهد و ریسه ها قادرند حجم بیشتری از خاک را در مقایسه با ریشه های گیاه از فسفر تخلیه کنند. تخمین زده شده بیش از ۸۰ درصد فسفر مورد نیاز گیاه میکوریزایی توسط ریسه های برون ریشه ای قارچ های میکوریزا تامین می شود (اسمیت، ۱۹۸۲). تجمع یا محتوای فسفر (حاصل ضرب غلظت فسفر و وزن خشک) اندام هوایی گیاه میکوریزایی به طور معنی داری از تجمع فسفر اندام هوایی گیاه غیر میکوریزایی بیشتر بود (شکل ۲-B).

افزایش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش معنی دار غلظت فسفر و در نتیجه تجمع فسفر در اندام های هوایی هر دو گیاه میکوریزایی و شاهد شد (شکل ۲-B). نتایج مشابهی در مورد اثر مثبت تیمار میکوریزا بر افزایش تجمع فسفر در بافت های گیاهی گزارش شده است (الکاراکی، ۲۰۰۶؛ عامریان و همکاران، ۲۰۰۱). علی رغم کاهش تجمع فسفر با افزایش شوری (به دلیل کاهش بیوماس گیاه)، تجمع فسفر در گیاه در واحد طول ریشه کلنی شده با افزایش شوری خاک افزایش یافت (شکل ۲-C). این افزایش

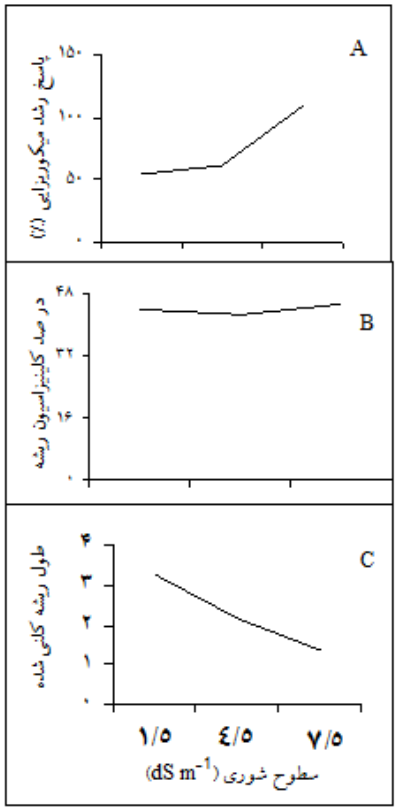
1- Hartmond *et al.*
2- Yamato *et al.*

می تواند پاسخی برای افزایش پاسخ رشد میکوریزایی گیاه زعفران با افزایش شوری خاک باشد. نتایج یک مطالعه نشان داد با افزایش تنش خشکی، طول ریشه گیاه سورگوم کلنی شده با قارچ میکوریزا کاهش یافت ولی مجموع طول ریسه های برون ریشه ای کاهش نیافت و این منجر به افزایش طول ریسه های برون ریشه ای در واحد طول ریشه کلنی شده و در نتیجه افزایش پاسخ رشد میکوریزایی گیاه سورگوم با افزایش تنش خشکی گردید (نادیان، ۱۳۹۰).

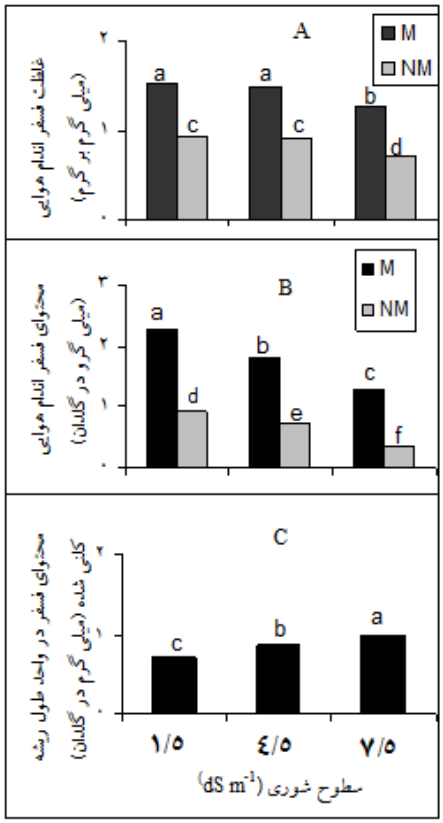
در مطالعه حاضر مجموع طول ریسه های برون ریشه ای در خاک اندازه گیری نشد. با وجود این، مشاهده افزایش جذب فسفر در واحد طول ریشه کلنی شده (شکل۲) و پاسخ رشد میکوریزایی گیاه زعفران (شکل ۱) با افزایش تنش شوری خاک احتمالا مربوط به افزایش طول ریسه های برون ریشه ای در واحد طول ریشه کلنی شده گیاه زعفران می تواند باشد. نتایج مطالعات قبلی نشان می دهد که وقتی گیاه میزبان همزیست با قارچ میکوریزا تحت تاثیر تنش افزایش مقاومت مکانیکی خاک ناشی از فشردگی خاک (کوتاری و سینگ، ۱۹۹۶) و یا ناشی از افزایش اندازه خاکدانه ها (نادیان و همکاران، ۲۰۰۹) قرار گیرد، با افزایش میزان ریسه های برون ریشه ای در واحد طول ریشه کلنی شده، اثر سوء تنش بر گیاه میزبان کاهش می یابد. نتایج جدول های ۱ و ۳ نشان می دهد برهمکنش شوری و میکوریزا بر غلظت یون های سدیم و پتاسیم در اندام های هوایی زعفران تاثیر معنی داری داشت. افزایش شوری (ناشی از کلرید سدیم) باعث افزایش معنی دار غلظت یون سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در اندام های هوایی و ریشه زعفران گردید، در حالی که کلونیزاسیون میکوریزایی موجب افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم در گیاه شد. بررسی برهمکنش شوری و میکوریزا نشان داد افزایش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر غلظت یون های سدیم و پتاسیم در اندام های هوایی زعفران در تیمار بدون میکوریزا را به ترتیب از ۱/۰ به ۱۴/۹ و از ۸۸/۷ به ۶۳/۶ میلی گرم بر گرم وزن ماده خشک گیاه افزایش و کاهش داد (جدول ۳). شباهت فیزیکی-شیمیایی بین یون های سدیم و پتاسیم باعث می گردد تا تغذیه پتاسیمی گیاه در یک خاک شور تحت تاثیر یون های سدیم قرار گیرد (کرامر و همکاران، ۱۹۸۷). در شرایط تنش شوری، کنترل فشار آماس پتاسیم واکوئلی به مقدار زیادی توسط یون های سدیم جایگزین می شود (کرامر و همکاران، ۱۹۸۷). در مطالعه حاضر، کاهش جذب یون های پتاسیم توسط فراوانی یون های سدیم در یک خاک شور منجر به کاهش قابل توجه نسبت پتاسیم به سدیم در اندام های هوایی و ریشه گیاه زعفران گردید (جدول ۳). کاهش جذب پتاسیم در خاک شور می تواند موجب اختلال در وظایف اختصاصی پتاسیم نظیر فرآیندهای متابولیکی و آنزیمی گیاه شود (گیری و همکاران، ۲۰۰۷). مسمومیت و اختلالات تغذیه ای ناشی از تجمع فراوان یون های سدیم در اندام های زعفران در بالاترین سطح شوری اعمال شده، کاهش شدید وزن خشک اندام هوایی زعفران از ۱/۵ به ۰/۵ گرم در گلدان را توجیه می کند.

در تیمار میکوریزا، غلظت یون های سدیم و پتاسیم در اندام های هوایی زعفران با افزایش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب از ۱/۰۰ به ۶/۷ و از ۸۷/۹ به ۱۱۸/۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک گیاه افزایش یافت (جدول ۳). در مورد تاثیر تیمار میکوریزا بر غلظت یون های سدیم و پتاسیم در ریشه، روند مشابه اندام هوایی مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد تیمار میکوریزا باعث کاهش غلظت یون های سدیم و افزایش غلظت پتاسیم در ریشه زعفران نسبت به تیمار شاهد (غیر میکوریزایی) گردید (جدول۳). بهبود تغذیه پتاسیمی گیاه با حضور قارچ میکوریزا باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در بافت های زعفران (ریشه و اندام های هوایی) گردید (جدول ۳). نسبت پتاسیم به سدیم در اندام های گیاهی به عنوان شاخص تحمل گیاه به شوری معرفی شده است (کرامر و همکاران، ۱۹۸۷).

هر چه این نسبت در گیاه مواجه با تنش شوری بیشتر باشد میزان مقاومت گیاه به تنش شوری بیشتر است. لذا می توان گفت حضور قارچ میکوریزا مقاومت زعفران را به تنش شوری افزایش داده است.



شکل ۱- پاسخ رشد میکوریزایی (A)، درصد (B) و طول (C) ریشه کلنی شده زعفران تحت تاثیر سطوح شوری



شکل ۲- غلظت فسفر(A)، محتوای فسفر دراندام هوایی (B) و در واحد طول ریشه کلنی شده (C)، با حضور (M) و بدون حضور(NM) میکوریزا تحت سطوح شوری

جدول ۳- اثر سطوح مختلف شوری بر غلظت پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی و ریشه گیاه زعفران با حضور میکوریزا (M) و بدون حضور میکوریزا (NM)

سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)	میکوریزا	غلظت پتاسیم میلی گرم بر گرم ماده خشک		غلظت سدیم میلی گرم بر گرم ماده خشک		نسبت $K^+:Na^+$	
		ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ
۱/۵	M	۹۰/۰^{c}	۸۷/۹^{c*}	۱/۰^{f}	۱/۰^{e}	۸۶/۷^{a}	۸۸/۴^{a}
	NM	۸۹/۰^{c}	۸۸/۷^{c}	۱/۷^{e}	۱/۰^{e}	۵۳/۴^{b}	۸۷/۱^{a}
۴/۵	M	۱۰۹/۷^{b}	۱۰۸/۴^{b}	۶/۲^{d}	۴/۱^{d}	۱۷/۸^{c}	۲۶/۵^{b}
	NM	۷۳/۴^{d}	۷۳/۷^{d}	۱۲/۸^{b}	۹/۵^{b}	۵/۷^{de}	۷/۵^{d}
۷/۵	M	۱۲۱/۹^{a}	۱۱۸/۳^{a}	۹/۸^{c}	۶/۷^{c}	۱۲/۳^{dc}	۱۷/۳^{c}
	NM	۶۷/۹^{d}	۶۳/۶^{e}	۱۷/۹^{a}	۱۴/۹^{a}	۳/۷^{e}	۴/۲^{d}

* در هر ستون، میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه برای اولین بار نشان داد زعفران دارای وابستگی آربسکولار-میکوریزایی قابل توجهی می باشد.

برقراری ارتباط همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه زعفران منجر به بهبود مولفه های رشد و تغذیه فسفری گیاه میزبان گردید. اثر مثبت این همزیستی در تمام سطوح شوری اعمال شده ملاحظه گردید. قارچ *G. intraradices* با کاهش جذب سدیم، افزایش جذب پتاسیم و افزایش جذب فسفر در واحد طول ریشه کلنی شده توانست اثرات سوء ناشی از شوری بر مولفه های رشد، تغذیه فسفری و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه زعفران را کاهش دهد.

منابع

۱- نادیان، ح.۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و همزیستی میکوریزا بر رشد و جذب فسفر توسط دو رقم سورگوم متفاوت در ریخت شناسی ریشه. مجله آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۵۷: ۲۵-۳۷.

۲- هانی، ع.، نادیان، ح. و برزگر، ع.ر. ۱۳۸۶. بررسی وابستگی میکوریزی و عملکرد دو نوع شبدر (*Trifolium alexandrinum* و *Trifolium subterraneum*) در سطوح مختلف فسفر. مجله علوم خاک و آب، ۲ (۲): ۲۶۹-۲۷۶.

3. Abdullaev, F. 2007. Biological properties and medical use of saffron (*Crocus sativus*). Acta Horticulture, 739: 339-345.

4. 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.

5. Amerian, M.R., Stewart, W.S., and Griffiths, H. 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation, and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Aspects of Applied Biology, 63: 71–76.

6. Asghari, H.R., Marschner, P., Smith, S.E., and Smith, F.A. 2005. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. Plant and Soil, 273: 245–256.

7. 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 and Soil, 167: 247-254.

8. Baylis, G.T.S. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In Sanders, F.E., Mosse, B. and Tinker, P.B. (ed), Endomycorrhizas. London, pp: 373-389.

9. Burkert, B. and Robson, A. 1994. ^{65}Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil. Soil Biology and Biochemistry, 26: 1117-1124.

10. Cramer, G.R., Lynch, J., Lauchli, A., and Epstein, E. 1987. Influx of Na^+, K^+, and Ca^{2+} into roots of salt - stressed cotton seedlings: effects of supplemental Ca^{2+}. Plant Physiology, 83: 510–516.

11. Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.I., Tian, C.Y., Tang, C., and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza, 12:185-190.

12. Fitter, A.H. 1989. An ecological flora. Bolton of British of Ecology Society, 20:199-200.

13. Flowers, T.J., and Yeo, A.R. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants—where next? Australian Journal of Plant Physiology, 22**:** 875–884.

14. Gianinazzi-Pearson, V., and Gianinazzi, S. 1983. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. Plant and Soil, 71: 197-209.

15. Giri, B., Kapoor, R., and Mukerji, K.G. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis.* Biology and Fertility of Soils, 38: 170-175.

16. 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.

17. 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.

18. Hartmond, U., Schaesberg, N.V., Graham, J.H., and Syversten, J.P. 1987. Salinity and flooding stress effects on mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus rootstock seedlings. Plant and Soil, 104: 37–43.

19. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology, 51: 463–499.

20. Juniper, S, Abbott, L.K. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. Mycorrhiza, 4: 45–57.

21. Kothari, S.K., and Sing, U.B. 1996. Response of citronella Java (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) to VA mycorrhizal fungi and soil compaction in relation to P supply. Plant and Soil, 178: 231-237.

22. Maiquetía, M., Cáceres, A., and Herrera, A. 2009. Mycorrhization and phosphorus nutrition affect water relations and CAM induction by drought in seedlings of *Clusia minor*. Annal Botany, 103: 525–532.

23. Nadian, H., Hashemi, M., and Herbert, S.J. 2009. Soil aggregate size and mycorrhizal colonization effect on root growth and phosphorus accumulation by berseem clover. Communication in Soil and Plant Analysis, 40: 2413–2425.

24. 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.

25. Smith, S.E. 1982. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. New Phytologist, 90: 293-303.

26. St Jhon, T.V. 1980. Root size, root hairs and mycorrhizal infection: a re-examination of Baylis's hypothesis with tropical trees. New Phytologist, 84: 483-487.

27. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology, 63: 995-1001.

28. Yamato, M., Ikeda, S., and Iwase, K. 2008. Community of arbuscular mycorrhizal fungi in coastal vegetation on Okinawa Island and effect of the isolated fungi on growth of sorghum under salt-treated conditions. Mycorrhiza, 18: 241–249.