

تأثیر سه گونه قارچ میکوریزا (*Glomus SPP.*) بر شاخص‌های فیزیولوژیک گندم در

شرایط شور

سمانه حبیبی^۱، موسی مسکرباشی^{۲*} و معصومه فرزانه^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسوول: دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (mmeskarbashee@scu.ac.ir)

۳- استادیار فیزیولوژی علف‌های هرز گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۱

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه گندم، رقم چمران، تحت تنش شوری آزمایشی گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت یک بار خرد شده‌ی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل فاکتور اول، شوری آب (کیفیت آب) در چهار سطح آب تصفیه ($1 \text{ dS m}^{-1} \leq \text{EC} < 3 \text{ dS m}^{-1}$)، آب شهری ($3 \text{ dS m}^{-1} - \text{EC} = 1/7$)، آب شهری به همراه نمک و آب تصفیه به همراه نمک ($1 \text{ dS m}^{-1} \leq \text{EC} < 3 \text{ dS m}^{-1}$)، فاکتور دوم شامل استریلیزاسیون خاک شامل خاک استریل و خاک غیراستریل و فاکتور سوم کاربرد قارچ میکوریزا شامل ۳ گونه *Glomus mosseae*، *G. intraradices*، *G. geosporum*، مخلوط سه گونه قارچ و شاهد (بدون تلقیح) اعمال گردید. نتایج نشان داد که اعمال شوری سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای و افزایش نشت الکترولیت در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه گردید ولی عدد SPAD و حداکثر عملکرد فتوسینتزم II (Fv/Fm) و عملکرد کوانتومی فتوسینتزم II (ΦPSII) فقط در مرحله پر شدن دانه با افزایش غلظت شوری کاهش معنی‌داری نشان داد. کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، Fv/Fm و ΦPSII و کاهش نشت الکترولیت در گیاه میزبان نسبت به شاهد گردید که این تغییرات بسته به گونه قارچی با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری بیشتر بود. هدایت روزنه‌ای بیشترین همبستگی مثبت (r=۰/۷۷) و نشت الکترولیت بیشترین همبستگی منفی (r=-۰/۸۵) را با شاخص تحمل به شوری نشان دادند. کاهش عدد SPAD در مرحله پر شدن دانه با افزایش شوری نشان دهنده‌ی تخریب کلروفیل می‌باشد. عدد SPAD، همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به شوری و ΦPSII نشان داد. با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان نمود گونه‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* با افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت الکترولیت، منجر به بهبود تحمل گندم در شرایط شور گردیدند.

کلید واژه‌ها: گندم، شوری، میکوریزا، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

و پیرز آلفوکا^۱، ۲۰۱۲). تجمع نمک‌ها در خاک باعث

کاهش پتانسیل آب در خاک شده و از جذب آب

استفاده از خاک و آب آبیاری حاوی مقادیر بالایی

از نمک‌ها عامل محدود کننده تولید محصولات زراعی

در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد (دواد

همکاران^۱، ۱۹۹۶؛ شنگ و همکاران^۲، ۲۰۰۹). از جمله تکنیک‌های پرکاربرد در مطالعه فتوسنتز گیاهان، آنالیز فلورسانس کلروفیل می‌باشد که توسط آن می‌توان به فرایندهای فتوشیمیایی و غیر فتوشیمیایی رخ داده در غشاء تیلاکوئید کلروپلاست پی برد. در گیاهان میکوریزایی حداکثر عملکرد فتوسیستم II (Fv/Fm) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط روشنائی (ΦPSII) که تخمینی از کارایی جذب نور توسط آنتن‌های گیرنده نور در فتوسیستم II برای فرایندهای فتوشیمیایی می‌باشد نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بالاتر خواهد بود (شنگ و همکاران، ۲۰۰۸). این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سه گونه قارچ میکوریزا در ترکیب با یکدیگر و کاربرد جداگانه آن‌ها و همچنین در تقابل با میکروارگانسیم‌های بومی خاک بر شاخص‌های فیزیولوژیک گندم از جمله تحمل به شوری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی به صورت یک بار خرد شده‌ی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در فضای مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کشت مورد آزمایش قرار گرفت که در جدول ۱ آورده شده است. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول (اصلی) سطوح شوری (کیفیت آب) در ۴ سطح شامل آبیاری با آب تصفیه ($dS m^{-1}$) $1 \leq EC$ ، آب شهری ($3-17 dS m^{-1} = EC$)، آب شهری به همراه نمک و آب تصفیه به همراه نمک ($dS m^{-1} = 8 EC$) که نمک مورد استفاده NaCl (مرک) بود. فاکتور دوم، استریلیزاسیون خاک شامل خاک

توسط ریشه‌ها و در نهایت سلول‌های مزوفیل جلوگیری می‌کند، در نتیجه بر باز شدن روزنه و واکنش‌های بیوشیمیایی فتوسنتزی تأثیر سوء خواهد داشت (رابینسون و همکاران^۱، ۱۹۹۷). یک راهکار برای بهبود تحمل شوری در محصولات زراعی معرفی میکروارگانسیم‌های متحمل به شوری از جمله قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌باشد. قارچ میکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ایی و آبی گیاه (دواد و پیرز آلفوکا، ۲۰۱۲) از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریشه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (اوگ^۲، ۲۰۰۱)، سبب بهبود تحمل گیاه میزبان در مواجهه با تنش شوری می‌گردد (بلترانو و رونکو^۳، ۲۰۰۸). قارچ‌های میکوریزا به‌طور طبیعی در محیط‌های شور یافت می‌شوند (علی‌اصغرزاده و همکاران^۴، ۲۰۰۱) که با حفظ تعادل یونی در سیتوپلاسم باعث افزایش تحمل گیاه به شوری می‌گردد (بورده و همکاران^۵، ۲۰۰۴). گونه‌های قارچ میکوریزا توانایی متفاوتی در کاهش اثرات تنش شوری به واسطه تغییر در محتوای نسبی آب برگ دارند (زاو و ویو^۶، ۲۰۱۱). الکرکی و حامد^۷ (۲۰۰۱) سازوکار اصلی در افزایش تحمل شوری گیاهان میکوریزایی را بهبود جذب فسفر به‌شمار می‌آورند. در حالی که سایر پژوهشگران بیان داشتند که سازوکارهای ناشناخته بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش شوری بیشتر از این که بر پایه افزایش غلظت فسفر و نیتروژن میزبان باشد براساس فرایندهای فیزیولوژیکی (افزایش سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارایی استفاده از آب و غلظت کلروفیل) پایه‌گذاری شده است (رویز لوزانو و

1- Robinson *et al.*

2- Auge

3- Beltrano & Ronco

4- Aliasgharzadeh *et al.*

5- Borde *et al.*

6- Zou & Wu

7- Al-karaki & Hammad

8- Roize Lozano *et al.*

9- Sheng *et al.*

ماده تلقیح هر ۳ گونه قارچ، پس از استریل در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، برای اطمینان از عدم زنده بودن قارچ، به گلدان‌های تیمار شاهد (بدون قارچ) اضافه گردید. بذور گندم (رقم چمران) ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم یک درصد در بستر کشت قرار گرفته سپس با لایه‌ای از شن و خاک پوشانده شدند (زمان کشت اوایل آذر). برای جلوگیری از وارد آمدن شوک به گیاه، تیمار شوری به صورت پلکانی در دو مرحله (اولین آبیاری با 4 dS m^{-1} EC) پس از استقرار کامل گیاهچه و قبل از شروع پنجه زنی هم زمان با هر بار آبیاری اعمال گردید و همواره تا زمان رسیدگی کامل دانه (اواسط اردیبهشت) ادامه یافت. در طی این دوره شوری آب ورودی و خروجی به هر گلدان با دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (Multi Parameter PCTester 35) کنترل گردید.

استریل و غیراستریل و فاکتور سوم شامل کاربرد قارچ میکوریزا شامل ۳ گونه *Glomus mosseae*، *G. geosporum*، *intraradices*، مخلوط سه گونه قارچ (تیمار ترکیبی) و شاهد (عاری از قارچ) بود. ترکیبات عامل دوم و سوم به صورت فاکتوریل در سطوح فاکتور اصلی ایجاد شدند. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ آمده است. خاک استفاده شده (به نسبت ۳ سهم ماسه و ۱ سهم خاک) برای اعمال تیمارهای خاک استریل، قبل از پر شدن گلدان‌های ۵ کیلوگرمی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت استریل گردید. اینوکولوم قارچی شامل اسپور، ریشه قارچ و قطعات ریشه کلونیزه در بستر شنی، به میزان ۳۰ گرم در گلدان با خاک بستر بذر مخلوط گردید (تهیه شده از زیست فناور توران). برای تیمار ترکیبی مخلوطی ۳۰ گرمی از هر ۳ گونه قارچ به نسبت‌های مساوی با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور یکسان‌سازی بین تیمارهای حاوی قارچ و شاهد، ۳۰ گرم از مخلوط

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری محل آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم	سدیم	مواد آلی
لومی رسی	دسی زیمنس بر متر		درصد	میلی گرم بر کیلوگرم			درصد
	۵/۳۸	۷/۶	۰/۰۷۱	۱۳	۱۵۱	۱۶۵	۰/۵۵

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

آب آبیاری	هدایت الکتریکی	pH	پتاسیم	سدیم	کلر	سولفات	کلسیم	منیزیم
آب تصفیه	دسی زیمنس بر متر				میلی گرم بر لیتر			
آب تصفیه	۰/۵۰	۷/۳۲	۸/۱۵	۹/۱۲	۱۷/۷۵	۵/۰۴	۳/۲۰	۲/۱۰
آب شهری	۲	۸/۵۰	۱۱/۶۰	۳۴	۵۳/۲۵	۱۹/۲۰	۱۴/۳۱	۱۲/۷۵

حیپی و همکاران: تاثیر سه گونه قارچ میکوریزا...

فرمول ۴

$$\Phi \text{ PSII} = \frac{F_m' - F_t}{F_m'} \times 100$$

Ft: حداقل فلئورسانس از برگ سازگار شده با نور

ΦPSII: عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

Fm': حداکثر فلئورسانس از برگ سازگار شده با نور، پس از تابش یک پالس نور اشباع

شاخص تحمل به تنش^۸ نیز از ماده خشک اندام هوایی در زمان رسیدگی کامل طبق فرمول ۵ اندازه گیری شد (هتیمی^۹، ۱۹۹۹).

فرمول ۵

$$100 \times \frac{\text{وزن خشک گیاه در تنش شوری}}{\text{وزن خشک گیاه در شرایط بدون تنش شوری}} = \text{شاخص تحمل به شوری}$$

بعد از اطمینان از ایجاد همزیستی بین گیاه و تیمارهای قارچی با مشاهده ریشه‌های کلونیزه شده به روش فیلیپس و هیمن^{۱۰} (۱۹۷۰) از نرم افزار آماری SAS به منظور انجام محاسبات آماری داده‌ها استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون LSD صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد (جدول ۳)، شوری تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱٪) بر محتوای نسبی آب برگ در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه داشت. کمترین محتوای نسبی آب برگ در مرحله گرده‌افشانی متعلق به تیمار آب تصفیه به همراه نمک (۸۵/۶۴ درصد) بود. در مرحله پر شدن دانه، تیمار آب تصفیه به همراه نمک و آب شهری به همراه نمک بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر کمترین محتوای نسبی آب برگ (به ترتیب ۸۵/۱۴ و ۸۵/۷۴ درصد) را داشتند. با افزایش شوری در مرحله پر شدن دانه، مقادیر محتوای

8 - Tolerance Index

9 - Hatimi

10 - Philips & Hayman

محتوای نسبی آب برگ^۱ (RWC) به روش ریچی و همکاران^۲ (۱۹۹۰) و درصد نشت الکترولیت^۳ نیز به روش لوتس و همکاران^۴ (۱۹۹۶) طبق فرمول‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times 100$$

فرمول ۱

Wt: وزن اشباع برگ پس از قرار گرفتن در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت
Wf: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری
Wd: وزن خشک برگ پس از قرار گرفتن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت

فرمول ۲

$$100 \times \frac{\text{هدایت الکتریکی محلول در دمای 25 درجه سانتی‌گراد}}{\text{هدایت الکتریکی محلول در دمای 100 درجه سانتی‌گراد}} = \text{نشت الکترولیت}$$

هدایت روزنه‌ای به وسیله دستگاه پرومتر مدل ELE و غلظت کلروفیل توسط کلروفیل متر دستی SPAD-502، اندازه گیری شد. از مولفه‌های فلورسانس کلروفیل (کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II^۵ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II^۶) برگ پرچم بعد از ایجاد ۳۰ دقیقه تاریکی توسط گیره‌های مخصوص توسط دستگاه فلورسانس متر (والز - آلمان) در ساعات ۹ الی ۱۲ صبح (بیکر و رازنکیست^۷، ۲۰۰۴) طبق فرمول‌های ۳ و ۴ اندازه گیری شد. کلیه نمونه برداری‌ها از برگ پرچم در دو مرحله گرده‌افشانی و اوایل پر شدن دانه صورت گرفت.

فرمول ۳

$$\frac{F_v}{F_m} = \frac{F_m - F_0}{F_m} \times 100$$

F0: حداقل فلئورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی

FV/FM: کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

Fm: حداکثر فلئورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی

1 - Relative Water Content

2 - Ritchie *et al.*

3 - Electrolyte Leakage Percentage

4 - Lutts *et al.*

5 - Maximum Quantum Yield of PSII

6 - Quantum Yield of PSII (ΦPSII)

7 - Baker & Rosenqvist

G. geosporum و تیمار ترکیبی بیشترین و *G. intraradices* کمترین محتوای نسبی آب برگ را در میان تیمارهای قارچی دارا بودند (جدول ۵). همبستگی معنی دار میان محتوای نسبی آب برگ و شاخص تحمل تنش در مرحله پر شدن دانه ($r = 0.64$) بیشتر از مرحله گل دهی ($r = 0.41$) بود.

رجالی و همکاران (۱۳۸۹) بیان نمودند گیاهان میکوریزایی نسبت به غیر میکوریزایی آب را از خاک سریع تر و کامل تر تخلیه می کنند، زیرا در گیاهان میکوریزایی اندام هوایی گیاه توسعه بیشتری پیدا کرده، سطح برگ افزایش یافته و این باعث افزایش تعرق گیاهان می گردد. از طرفی سیستم ریشه ای گیاهان میکوریزایی توسعه بیشتری یافته و سطح تماس با خاک افزایش می یابد.

هدایت روزنه ای

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد (جدول ۴) شوری سبب کاهش معنی دار هدایت روزنه ای در هر دو مرحله گرده افشانی و پر شدن دانه گردید. در هر دو مرحله نمودی بیشترین میزان هدایت روزنه ای در تیمار آب تصفیه و آب شهری مشاهده گردید که تفاوت معنی داری با سایر سطوح شوری نشان داد. اعمال شوری با آب تصفیه هدایت روزنه ای را کاهش داد که البته در مرحله گرده افشانی کاهش هدایت روزنه ای در تیمار آب شهری به همراه نمک تفاوت معنی داری با تیمار آب تصفیه به همراه نمک نداشت ولی در مرحله پر شدن دانه، تیمار آب تصفیه به همراه نمک کمترین میزان هدایت روزنه ای را دارا بود که با دیگر سطوح شوری تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که استریلیزاسیون خاک در هر دو مرحله نمودی بر هدایت روزنه ای تأثیر معنی داری (در سطح ۱٪) داشت. میزان هدایت روزنه ای در تیمارهای غیراستریل از لحاظ آماری بیشتر از تیمارهای استریل بود (جدول ۴). اثر میکوریزا بر میزان هدایت روزنه ای در هر دو مرحله نمودی در سطح ۱٪ معنی دار بود

نسبی آب برگ همواره کمتر از مرحله گل دهی بود (جدول ۴)، که دلیل آن را شاید بتوان به سن برگ ها نسبت داد که با گذشت زمان، تجمع سدیم در برگ ها افزایش می یابد. یکی از اثرات تنش شوری جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است، در نتیجه دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ را می توان کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه ها در شرایط خشک دانست (کلوم و وازانا، ۲۰۰۳). در هر دو مرحله نمودی کاربرد قارچ میکوریزا اثرات معنی داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (جدول ۳) و آن را افزایش داد ولی این افزایش در مرحله گرده افشانی برای *G. intraradices* معنی دار نگردید و در مرحله پر شدن دانه فقط افزایش محتوای نسبی آب برگ تیمار *G. geosporum* نسبت به شاهد معنی دار گردید (جدول ۴).

شنگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز نقش گونه های مختلف قارچ میکوریزا را در بهبود محتوای نسبی آب برگ تأیید می کنند. بهبود روابط آبی گیاه توسط میکوریزا ممکن است به سبب جذب میزان بیشتری آب به واسطه تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب از طریق هیف های قارچ باشد (اوگ، ۲۰۰۴). ولی گونه های قارچ میکوریزا توانایی متفاوتی در کاهش اثرات تنش شوری به واسطه تغییر در محتوای نسبی آب برگ دارند (زاو و ویو، ۲۰۱۱). مقایسه میانگین های مربوط به برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا که در مرحله گرده افشانی در سطح ۵٪ معنی دار بود (جدول ۳) مشخص نمود که تمام تیمارهای قارچی در آب تصفیه بالاترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص دادند. در حالی که کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد در آب تصفیه به همراه نمک بود. بیشترین اختلافات معنی دار محتوای نسبی آب برگ در میان تیمارهای قارچی در آب تصفیه به همراه نمک مشاهده شد. در این سطح از شوری *G.*

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، عدد SPAD، FV/FM، QPSII و شاخص تحمل به تنش در گندم تلقیح یافته با میکوریزا در شرایط شور

شاخص تحمل به تنش	QPSII		FV/FM		عدد SPAD		نشت الکترولیت		هدایت روزنه‌ای		محتوای نسبی آب برگ		درجه آزادی	منابع تغییرات
	T ₂	T ₂	T ₁	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁		
۱۹/۹۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳	۲۰/۱۰	۵/۵۹	۱۰/۴۱	۱۰/۶۵	۲۶×۱۰ ^{-۶}	۱۱×۱۰ ^{-۷}	۱۳۰/۵۶	۱۲۶/۲	۲	بلوک
۱۰۸۵۸/۰۱**	۰/۰۵۵**	۰/۰۵۲**	۰/۰۰۱۴ ^{n.s}	۰/۰۰۲ ^{n.s}	۱۹۷/۳۰**	۳۶/۹۱ ^{n.s}	۱۵۸۶/۹۷**	۱۲۷۷/۳۲**	۳۴×۱۰ ^{-۶**}	۳۲×۱۰ ^{-۶**}	۵۱۹/۳۵**	۳۸۸/۹۳**	۳	شوری
۶/۷۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۳	۲۰/۰۲	۷/۳۲	۸/۸۶	۲۹/۲۷	۲۰۳×۱۰ ^{-۴}	۴۳×۱۰ ^{-۴}	۲۶/۶۵	۵/۳۹	۶	خطای اصلی
۳۳/۵۱*	۰/۰۰۱ ^{n.s}	۰/۰۰۱ ^{n.s}	۰/۰۰۲۸ ^{n.s}	۰/۰۰۱۶ ^{n.s}	۳۲/۵۵ ^{n.s}	۰/۰۰۱ ^{n.s}	۴/۶ ^{n.s}	۹/۱۲ ^{n.s}	۵۲×۱۰ ^{-۶**}	۴۴×۱۰ ^{-۵**}	۱/۸۴ ^{n.s}	۵/۲۶ ^{n.s}	۱	استریلیزاسیون خاک
۶۸/۲۰**	۰/۰۱۸**	۰/۰۲۰**	۰/۰۰۱۹ ^{n.s}	۰/۰۰۲ ^{n.s}	۹/۸۱ ^{n.s}	۲۸/۵۱**	۱۳۳/۳۶**	۱۱۵/۴۱**	۷۷×۱۰ ^{-۵**}	۸×۱۰ ^{-۶**}	۳۵/۵۸*	۵۵/۸۶**	۴	میکوریزا
۱۱/۷۵ ^{n.s}	۰/۰۰۲ ^{n.s}	۰/۰۰۵ ^{n.s}	۰/۰۰۰۷ ^{n.s}	۰/۰۰۵ ^{n.s}	۵/۸۳ ^{n.s}	۰/۸۴ ^{n.s}	۲/۱۹ ^{n.s}	۱۷/۷۱ ^{n.s}	۳۴×۱۰ ^{-۶^{n.s}}	۰/۱×۱۰ ^{-۷^{n.s}}	۱۱/۸۲ ^{n.s}	۹/۹۱ ^{n.s}	۳	شوری × استریلیزاسیون
۲۴/۸۸**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۰۷ ^{n.s}	۰/۰۰۵ ^{n.s}	۸/۰۱ ^{n.s}	۵/۶۹ ^{n.s}	۳۴/۱۰**	۵۶/۴۵**	۱۱×۱۰ ^{-۶**}	۰/۱×۱۰ ^{-۷**}	۱۱/۵۴	۹/۴۵*	۱۲	شوری × میکوریزا استریلیزاسیون ×
۱۱/۴۳ ^{n.s}	۰/۰۱۰ ^{n.s}	۰/۰۰۹ ^{n.s}	۰/۰۰۰۲ ^{n.s}	۰/۰۰۲ ^{n.s}	۲۴/۵۶*	۱۳/۴۱ ^{n.s}	۷/۷۶ ^{n.s}	۱۱/۵۳ ^{n.s}	۱۸×۱۰ ^{-۵**}	۰/۱×۱۰ ^{-۷**}	۴/۷۳ ^{n.s}	۵/۶۴ ^{n.s}	۴	میکوریزا شوری × استریلیزاسیون
۴/۴۶ ^{n.s}	۰/۰۰۵ ^{n.s}	۰/۰۰۵ ^{n.s}	۰/۰۰۰۵ ^{n.s}	۰/۰۰۴ ^{n.s}	۹/۶۸ ^{n.s}	۴/۷۱ ^{n.s}	۴/۵۱ ^{n.s}	۲۶/۰۶ ^{n.s}	۳۵×۱۰ ^{-۶^{n.s}}	۰۲/۱۰ ^{-۶^{n.s}}	۲۲/۴۴ ^{n.s}	۳/۴۳ ^{n.s}	۱۲	میکوریزا ×
۷/۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۴	۹/۲۲	۷/۷۱	۲/۴۶	۱۸/۲۴	۳۲×۱۰ ^{-۶}	۰/۳×۱۰ ^{-۶}	۱۲/۱۵	۴/۳۹	۷۲	خطای فرعی

** و * به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵٪؛ ns: غیر معنی دار؛ T₁: مرحله اول نمونه برداری (گل‌دهی)؛ T₂: مرحله دوم نمونه برداری (پرسیدن دانه)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای شوری، استریلیزاسیون خاک و قارچ میکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، عدد SPAD، FV/FM، ΦPSII و شاخص تحمل به تنش در دو مرحله نمودی

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ (درصد)		هدایت روزنه ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)				نشت الکترولیت (درصد)		عدد SPAD		شاخص تحمل به تنش (درصد)	
	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁
آب تصفیه	۹۲/۷۷ a	۹۳/۷۴ a	۰/۳۷۷ a	۰/۳۹۷ a	۴۵/۸۸ c	۵۱/۵۵ d	۵۰/۷۰ a	۵۲/۱۰ a	۰/۷۲ a	۰/۷۱ a	-	-
آب شهری	۹۲/۴۹ a	۹۶/۶۱ a	۰/۳۷۶ a	۰/۳۹۶ a	۴۸/۱۵ c	۵۵/۸۰ c	۵۰/۸۶ a	۵۲/۵۳ a	۰/۷۳ a	۰/۷۳ a	-	-
آب شهری به همراه نمک	۸۵/۷۴ b	۸۸/۱۴ b	۰/۳۵۵ b	۰/۳۸۴ b	۵۳/۸۵ b	۶۲/۶۴ b	۴۸/۴۸ a	۴۷/۵۵ b	۰/۶۴ b	۰/۶۹ ab	۷۳/۹۴ a	۶۱/۹۲ b
آب تصفیه به همراه نمک	۸۵/۱۴ b	۸۵/۶۴ c	۰/۳۶۳ b	۰/۳۷۵ c	۶۰/۴۹ a	۶۷/۹۸ a	۴۹/۵۵ a	۴۸/۲۸ b	۰/۷۰ b	۰/۶۴ b	۶۱/۹۲ b	۶۱/۹۲ b
استریل	۸۸/۹۱ a	۵۸/۸۹ a	۰/۳۶۶ b	۰/۳۸۶ b	۵۱/۸۱ a	۵۹/۶۹ a	۴۹/۰۰ a	۴۹/۵۹ a	۰/۷۰ a	۰/۶۹ a	۸۳/۴۸ b	۸۳/۴۸ b
غیر استریل	۸۹/۱۶ a	۸۹/۹۹ a	۰/۳۷۰ a	۰/۳۹۰ a	۵۲/۳۷ a	۵۹/۳۰ a	۵۰/۰۰ a	۵۰/۶۴ a	۰/۶۹ a	۰/۷۰ a	۸۴/۴۴ a	۸۴/۴۴ a
<i>Glomus mosseae</i>	۸۹/۷۵ ab	۹۰/۷۳ a	۰/۳۷۲ a	۰/۳۹۲ a	۵۰/۴۶ b	۵۹/۴۳ b	۵۰/۹۵ a	۴۹/۸۰ a	۰/۷۴ a	۰/۷۴ a	۸۵/۷۵ a	۸۵/۷۵ a
<i>Glomus intraradices</i>	۸۸/۲۰ ab	۸۸/۷۸ b	۰/۳۶۴ b	۰/۳۸۵ b	۵۲/۱۲ b	۵۹/۰۶ bc	۴۸/۹۷ ab	۵۰/۲۵ a	۰/۶۸ bc	۰/۶۸ bc	۸۳/۹۷ b	۸۳/۹۷ b
<i>Glomus geosporum</i>	۹۰/۳۵ a	۹۰/۸۵ a	۰/۳۷۳ a	۰/۳۹۳ a	۵۱/۱۰ b	۵۷/۸۶ cd	۵۰/۷۰ a	۵۱/۰۴ a	۰/۷۱ ab	۰/۷۰ ab	۸۵/۴۴ a	۸۵/۴۴ a
ترکیب سه گونه قارچ	۸۹/۵۱ ab	۹۰/۹۹ a	۰/۳۷۰ a	۰/۳۹۰ a	۵۰/۹۱ b	۵۷/۶۵ d	۵۰/۳۷ ab	۵۰/۱۸ a	۰/۶۹ bc	۰/۶۸ bc	۸۳/۰۱ b	۸۳/۰۱ b
شاهد	۸۷/۳۷ b	۸۷/۵۹ b	۰/۳۶۰ c	۰/۳۸۰ c	۵۵/۸۶ a	۶۳/۴۹ a	۴۸/۵۱ b	۴۹/۳۰ a	۰/۶۶ c	۰/۶۶ c	۸۱/۶۴ c	۸۱/۶۴ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ و ۵٪ تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند؛ T₁: مرحله اول نمونه برداری (گل دهی)؛ T₂: مرحله دوم نمونه برداری (پر شدن دانه)؛ -: تیمار شاهد

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و شاخص تحمل به تنش در دو مرحله نموی گندم

شاخص تحمل به تنش (درصد)	عملکرد کوانتومی		حداکثر عملکرد		نشت الکترولیت (درصد)		هدایت روزنه ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)		محتوای نسبی آب برگ (درصد)		میکوریزا	شوری
	T ₂	T ₂	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₁	T ₁				
-	۰/۷۵ a-c	۰/۷۵ ab	۵۱/۲۰ j	۴۵/۹۳ gh	۰/۳۹۸ ab	۰/۳۷۸ a	۹۴/۵۰ a				<i>G. mosseae</i>	آب تصفیه
-	۰/۶۹ cd	۰/۶۹ b-c	۵۲/۶۰ ij	۴۷/۲۵ gh	۰/۴۰۰ a	۰/۳۸۰ a	۹۲/۲۴ ab				<i>G. intraradices</i>	آب تصفیه
-	۰/۷۱ a-e	۰/۷۱ a-c	۵۱/۲۹ j	۴۶/۷۶ gh	۰/۴۰۰ a	۰/۳۸۰ a	۹۳/۲۴ a				<i>G. geosporum</i>	آب تصفیه
-	۰/۷۲ a-e	۰/۷۰ a-c	۵۲/۲۴ ij	۴۶/۱۷ gh	۰/۳۹۶ ab	۰/۳۷۶ a	۹۴/۶۵ a				ترکیب سه گونه قارچ	آب تصفیه
-	۰/۷۲ a-e	۰/۷۰ a-c	۵۱/۰۰ j	۴۳/۲۷ h	۰/۳۸۰ bc	۰/۳۷۰ ab	۹۴/۱۰ a				شاهد	آب تصفیه
-	۰/۷۵ a	۰/۷۵ a	۵۳/۴۵ i	۴۵/۸۱ gh	۰/۴۰۰ a	۰/۳۸۰ a	۹۲/۳۲ ab				<i>G. mosseae</i>	آب شهری
-	۰/۷۱ a-e	۰/۷۱ a-c	۵۳/۸۱ i	۴۶/۱۶ gh	۰/۳۹۶ ab	۰/۳۷۶ ab	۹۰/۲۹ bc				<i>G. intraradices</i>	آب شهری
-	۰/۷۴ ab	۰/۷۴ ab	۵۳/۶۰ i	۴۵/۹۳ gh	۰/۳۹۸ ab	۰/۳۷۸ ab	۹۲/۵۰ ab				<i>G. geosporum</i>	آب شهری
-	۰/۷۴ ab	۰/۷۵ ab	۵۳/۸۰ i	۴۶/۱۵ gh	۰/۳۹۰ ab	۰/۳۷۸ ab	۹۲/۹۰ a				ترکیب سه گونه قارچ	آب شهری
-	۰/۷۲ a-e	۰/۷۲ a-c	۶۴/۳۷ e	۵۶/۷۲ c-e	۰/۳۹۰ ab	۰/۳۷۰ b	۹۰/۱۳ bc				شاهد	آب شهری
۷۷/۸۰ a	۰/۷۲ a-e	۰/۷۳ a-c	۶۹/۳۰ b	۵۴/۴۰ de	۰/۳۹۰ ab	۰/۳۶۸ c	۸۹/۱۲ cd				<i>G. mosseae</i>	آب شهری به همراه نمک
۷۲/۷۲ b	۰/۶۰ g	۰/۷۴ a-c	۶۸/۲۲ bc	۵۴/۵۰ de	۰/۳۷۳ ef	۰/۳۵۳ ef	۸۸/۰۰ cd				<i>G. intraradices</i>	آب شهری به همراه نمک
۷۶/۵۰ a	۰/۶۸ d-f	۰/۶۹ c	۶۵/۰۰ de	۴۸/۵۰ fg	۰/۳۹۵ ab	۰/۳۷۰ ab	۹۰/۳۵ bc				<i>G. geosporum</i>	آب شهری به همراه نمک
۷۲/۹۳ b	۰/۶۷ ef	۰/۶۰ cd	۶۵/۳۳ de	۵۲/۹۰ ef	۰/۳۹۰ ab	۰/۳۶۸ c	۸۸/۸۰ cd				ترکیب سه گونه قارچ	آب شهری به همراه نمک
۶۹/۷۵ c	۰/۵۲ h	۰/۶۹ c	۷۲/۱۰ a	۵۹/۱۰ b-d	۰/۳۷۳ efg	۰/۳۵۳ ef	۸۴/۵۱ f				شاهد	آب شهری به همراه نمک
۶۴/۹۳ d	۰/۷۳ a-d	۰/۷۱ a-c	۶۳/۷۶ ef	۶۱/۶۵ ab	۰/۳۸۳ bc	۰/۳۶۱ d	۸۷/۰۰ de				<i>G. mosseae</i>	آب تصفیه به همراه نمک
۶۲/۴۱ d	۰/۶۳ fg	۰/۶۰ e	۶۲/۱۴ fg	۶۰/۶۰ a-c	۰/۳۷۰ fg	۰/۳۴۸ fg	۸۴/۷۰ ef				<i>G. intraradices</i>	آب تصفیه به همراه نمک
۶۲/۲۸ d	۰/۷۱ a-e	۰/۶۸ c	۶۱/۶۰ g	۵۷/۳۲ be	۰/۳۸۱ bc	۰/۳۶۱ d	۸۷/۳۵ d				<i>G. geosporum</i>	آب تصفیه به همراه نمک
۵۹/۱۱ e	۰/۷۴ a-c	۰/۶۶ d	۵۹/۲۲ h	۵۸/۴۳ bc	۰/۳۷۶ de	۰/۳۵۶ de	۸۷/۶۳ d				ترکیب سه گونه قارچ	آب تصفیه به همراه نمک
۸۶/۸۰ e	۰/۷۰ b-e	۰/۵۲ f	۶۶/۵۰ cd	۶۴/۴۵ a	۰/۳۶۶ g	۰/۳۴۶ g	۸۱/۶۱ g				شاهد	آب تصفیه به همراه نمک

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ و ۵٪ تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند؛ T₁: مرحله اول نمونه برداری (گل‌دهی)؛ T₂: مرحله دوم نمونه برداری (پر شدن دانه)؛ -: تیمار شاهد

اندازه‌ای نبود که باعث تفاوت تأثیر سه گونه قارچ تلقیحی بر هدایت روزه‌ای در دو خاک استریل و غیر استریل گردد (جدول ۶). همزیستی میکوریزایی اغلب بر رفتار روزه گیاهان میزبان تأثیر گذار می‌باشد. بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهان میکوریزایی منجر به رشد بیشتر می‌گردد. از این رو گیاهان میکوریزایی به دلیل این که از لحاظ اندازه بزرگتر می‌باشند و یا وضعیت تغذیه‌ای بهتری دارند، هدایت روزه‌ای بالاتری از گیاهان غیرمیکوریزایی نشان می‌دهند. البته برخی آزمایشات حاکی از آن است که بین گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی تفاوتی در میزان هدایت روزه‌ای و تعرق وجود ندارد (اوگ، ۲۰۰۱). هرچند گزارشی نیز مبنی بر تأثیر منفی قارچ بر هدایت روزه‌ای و تعرق در گیاه میزبان بیان شده است (مدر و یس، ۱۹۹۵).

هدایت روزه‌ای همبستگی معنی‌داری با شاخص تحمل به شوری داشت. ضریب این همبستگی در مرحله گل‌دهی $I = 0.77$ و در مرحله پر شدن دانه $I = 0.76$ = بود. این امر می‌تواند به دلیل نقش قارچ میکوریزا در بهبود وضعیت آبی برگ در هر دو مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه (به ترتیب $I = 0.41$ و $I = 0.64$) باشد.

نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد (جدول ۳) شوری سبب افزایش معنی‌داری در میزان نشت الکترولیت‌ها در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه گردید. کمترین درصد نشت الکترولیت در مرحله گرده‌افشانی متعلق به تیمار آب تصفیه و آب شهری (گروه آماری یکسان) و در مرحله پر شدن دانه متعلق به تیمار آب تصفیه بود. در هر دو مرحله بیشترین نشت الکترولیت به تیمار آب تصفیه به همراه نمک اختصاص یافت (جدول ۴).

(جدول ۳). در میان تیمارهای قارچی، *G. mosseae* و *G. geosporum* و تیمار ترکیبی بیشترین میزان هدایت روزه‌ای را نشان دادند (گروه‌های آماری یکسان). در هر دو مرحله بعد از این تیمارها، *G. intraradices* نسبت به شاهد هدایت روزه‌ای بیشتری را نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های مربوط به برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر هدایت روزه‌ای در هر دو مرحله نمودی تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان داد (جدول ۳). بدون اعمال شوری یعنی در تیمارهای آب تصفیه و آب شهری، تمام تیمارهای قارچی بدون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر، میزان هدایت روزه‌ای را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. با افزایش سطح شوری (در تیمارهای کاربرد نمک)، اختلافات بین سطوح پدیدار گردید به گونه‌ای که در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه کمترین میزان هدایت روزه‌ای در تیمار شاهد و *G. intraradices* مشاهده گردید که با سایر گونه‌های قارچ و تیمار ترکیبی تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۵). گیاهان میکوریزایی هدایت روزه‌ای و سرعت تبادل بالاتری طی تنش شوری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی نشان می‌دهند (اوگ، ۲۰۰۴). برهمکنش استریلیزاسیون و قارچ میکوریزا بر هدایت روزه‌ای در هر دو مرحله نمودی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های مربوط به این اثر نشان می‌دهد که کاهش میزان هدایت روزه‌ای با استریلیزاسیون در هر دو مرحله نمودی، به تیمارهای کاربرد قارچ بستگی دارد. در مرحله گرده‌افشانی تیمار ترکیبی و شاهد در خاک غیراستریل میزان هدایت روزه‌ای را نسبت به خاک استریل به طور معنی‌داری افزایش دادند ولی در مرحله پر شدن دانه فقط تفاوت میزان هدایت روزه‌ای تیمار شاهد در خاک غیراستریل نسبت به خاک استریل معنی‌دار بود که شاید بتوان این اختلافات را به وجود قارچ‌های میکوریزای بومی در خاک غیر استریل نسبت داد. ولی در هر دو مرحله نمودی، این تأثیر مثبت به

حیپی و همکاران: تاثیر سه گونه قارچ میکوریزا...

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های برهمکنش استریلیزاسیون خاک و قارچ میکوریزا بر هدایت روزنه‌ای و عدد SPAD در گندم

عدد SPAD	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)		میکوریزا	استریلیزاسیون خاک
	T ₂	T ₁		
۴۹/۴۱ ab	۰/۳۹۱ a	۰/۳۷۰ b	<i>G. mosseae</i>	استریل
۴۹/۳۵ ab	۰/۳۸۵ d	۰/۳۶۵ cd	<i>G. intraradices</i>	استریل
۵۱/۰۰ a	۰/۳۹۲ ab	۰/۳۷۲ a	<i>G. geosporum</i>	استریل
۵۱/۰۰ a	۰/۳۹۰ bc	۰/۳۶۹ bc	ترکیب سه گونه قارچ	استریل
۴۷/۳۲ b	۰/۳۷۳ e	۰/۳۵۳ e	شاهد	استریل
۵۰/۲۰ a	۰/۳۹۴ a	۰/۳۷۴ ab	<i>G. mosseae</i>	غیر استریل
۵۱/۱۵ a	۰/۳۸۵ d	۰/۳۶۴ d	<i>G. intraradices</i>	غیر استریل
۵۱/۱۲ a	۰/۳۹۵ a	۰/۳۷۵ a	<i>G. geosporum</i>	غیر استریل
۴۹/۴۳ ab	۰/۳۹۰ a-c	۰/۳۷۰ a	ترکیب سه گونه قارچ	غیر استریل
۵۱/۲۸ a	۰/۳۸۶ cd	۰/۳۶۵ b-d	شاهد	غیر استریل

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۱ و ۵٪ تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند؛ T₁: مرحله اول نمونه

برداری (گل‌دهی)؛ T₂: مرحله دوم نمونه برداری (پر شدن دانه)

خود اختصاص داد، البته تأثیر تیمارهای قارچی طی این دو مرحله نمودی یکسان نبود، به گونه‌ای که در مرحله گرده‌افشانی گونه‌های قارچی تنها با شاهد تفاوت نشان دادند ولی در مرحله پر شدن دانه تیمار ترکیبی و *G. geosporum* کمترین میزان نشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های مربوط به برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر میزان نشت الکترولیت در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). طی دو مرحله نمودی در تیمار آب تصفیه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای قارچی و شاهد دیده نشد و در تیمار آب شهری تمام تیمارهای قارچی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری نشت الکترولیتی کمتری داشتند ولی هنوز هم تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای قارچی مشاهده نشد. با اعمال شوری هم با آب شهری و هم با آب تصفیه، در هر دو مرحله، تیمار ترکیبی و *G. geosporum* در مقایسه با دیگر گونه‌های قارچی و شاهد میزان نشت الکترولیت کمتری داشتند. همبستگی منفی بین شاخص تحمل به تنش و میزان نشت الکترولیت در هر یک از دو مرحله

تنش شوری تأثیر منفی بر حفظ تمامیت غشا دارد و در نتیجه آن نشت یون‌ها رخ می‌دهد (استرادا و همکاران^۱، ۲۰۱۲). سایر پژوهشگران نیز به نتایج مشابهی در گیاه گندم (ماندهانیا^۲، ۲۰۰۶) و برنج (لوتس و همکاران، ۱۹۹۶) در شرایط تنش شوری در مقایسه با شاهد دست یافتند. تغییر در نفوذپذیری غشاء پلاسمایی که قبل از ظهور علائم سمیت شوری اتفاق می‌افتد، مکان اولیه برای پاسخ به شوری می‌باشد که یک شاخص مناسب برای تشخیص تحمل تنش شوری محسوب می‌گردد. تغییرات سلولی که در نتیجه القای شوری در غشاء پلاسمایی رخ می‌دهد توسط اسمولیت‌ها کاهش می‌یابد که باعث حفاظت از غشاء و تحمل شوری می‌گردد (منصور و سلاما^۳، ۲۰۰۴).

اثر قارچ میکوریزا بر میزان نشت الکترولیت در هر دو مرحله نمودی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در میان تیمارهای قارچی، تیمار شاهد بیشترین میزان نشت را به

1 - Strada *et al.*

2 - Mandhanian

3 - Mansour & Salama

مرحله نمودی، عدد SPAD مربوط به تیمارهای قارچی تفاوتی در خاک استریل و غیراستریل نداشت (جدول ۶). میان عدد SPAD و شاخص تحمل به تنش نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، این مقدار در مرحله گرده‌افشانی ($r=0/28$) همواره بالاتر از مرحله پر شدن دانه ($r=0/54$) بود.

فلئورسانس کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد شوری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II ($\Phi PSII$) و نسبت Fv/Fm در مرحله پر شدن دانه داشت (جدول ۳). در این مرحله اعمال شوری سبب کاهش نسبت Fv/Fm و $\Phi PSII$ گردید. کمترین نسبت Fv/Fm و $\Phi PSII$ به تیمار آب تصفیه به همراه نمک اختصاص یافت (جدول ۴). نسبت Fv/Fm بازدارنده نوری و انواع تنش‌های وارده به فتوسیستم II را شناسایی می‌کند. به عبارت دیگر کاهش نسبت Fv/Fm نشان دهنده کاهش فتوسنتز یا بازدارندگی نوری است. کاهش در نسبت Fv/Fm ممکن است در نتیجه افزایش اتلاف انرژی غیر تابشی (فرونشاندن غیر فتوشیمیایی) و کاهش تدریجی سرعت فتوسنتز رخ دهد (کلاتاید و بارنو، ۲۰۰۴).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا بر نسبت Fv/Fm و $\Phi PSII$ در مرحله پر شدن دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۳). گیاهان تلقیح یافته با *G. geosporum* و *G. mosseae* به طور معنی‌داری Fv/Fm و $\Phi PSII$ بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. در میان تیمارهای قارچی، تیمار شاهد کمترین مقادیر این دو مولفه را به خود اختصاص داد و تفاوت *G. intraradices* و تیمار ترکیبی در میزان این دو مولفه با *G. geosporum* معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌های برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر Fv/Fm و $\Phi PSII$ در مرحله پر شدن دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج برهمکنش

گرده‌افشانی ($r = -0/74$) و پر شدن دانه ($r = -0/85$) معنی‌دار بود.

غلظت نسبی کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد، شوری تأثیر معنی‌دار بر عدد SPAD (غلظت نسبی کلروفیل) در مرحله گرده‌افشانی نداشت ولی در مرحله پر شدن دانه تأثیر معنی‌داری بر جای گذاشت. در این مرحله با اعمال شوری با هر دو آب شهری و آب تصفیه عدد SPAD کاهش یافت که حاکی از کاهش غلظت کلروفیل می‌باشد، راول و راول^۱ (۱۹۸۱) علت آن را در نتیجه تخریب کلروفیل به واسطه محدودیت شدید آبی دانستند، که در نهایت به کاهش فتوسنتز خالص منجر می‌شود.

اثر قارچ میکوریزا در مرحله گرده‌افشانی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود در حالی که در مرحله پر شدن دانه موجب تفاوت معنی‌داری نگردید (جدول ۳). در میان تیمارهای قارچی، *G. mosseae* و *G. geosporum* نسبت به شاهد به طور معنی‌داری غلظت کلروفیل را افزایش دادند و کمترین میزان در شاهد دیده شد. البته *G. intraradices* و تیمار ترکیبی با سایر گونه‌های قارچی و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). کانتزل و لیندرمن^۲ (۲۰۰۱) بیان داشتند در کلیه سطوح شوری با افزایش شوری، میزان عدد کلروفیل متر در گیاهان میکوریزایی همواره بالاتر و نوسانات کمتری در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی نشان داد. مقایسه میانگین‌های مربوط به برهمکنش استریلیزاسیون و قارچ میکوریزا بر عدد SPAD در مرحله پر شدن دانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود و نشان داد که در مرحله پر شدن دانه فقط افزایش عدد SPAD تیمار شاهد در خاک غیراستریل نسبت به خاک استریل معنی‌داری بود که شاید بتوان این تفاوت را به وجود گونه‌های بومی قارچ میکوریزا در خاک غیر استریل نسبت داد ولی در هر دو

1 - Rao & Rao

2 - Cantrell & Linderman

بود. در میان تیمارهای قارچی، *G. mosseae* و *G. geosporum* بالاترین میزان تحمل به تنش را در مقایسه با *G. intraradices* و تیمار ترکیبی نشان دادند که تفاوت همه این تیمارها با شاهد معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های مربوط به برهمکنش شوری و قارچ میکوریزا بر شاخص تحمل به تنش در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۵). در تیمار آب شهری به همراه نمک تفاوت معنی داری بین تیمارهای قارچی و شاهد دیده شد. در این تیمار شوری، *G. mosseae* و *G. geosporum* در مقایسه با *G. intraradices* تیمار ترکیبی، شاخص تحمل به تنش بیشتری داشتند که تفاوت همه این تیمارها با شاهد معنی دار بود. در تیمار آب تصفیه به همراه نمک سه گونه قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار ترکیبی و شاهد، منجر به بهبود شاخص تحمل به شوری گردیدند ولی تفاوت معنی داری بین تیمارهای قارچی مشاهده نشد (جدول ۵). بورد و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند با افزایش سطوح شوری، شاخص تحمل در ارزن میکوریزایی در مقایسه با ارزن غیر میکوریزایی همواره بالاتر بود.

مقایسه ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در هر مرحله (گرده‌افشانی یا پر شدن به طور جداگانه) نشان داد (جدول ۷) که محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی داری با هدایت روزنه‌ای دارد. ضرایب این همبستگی در مرحله گرده‌افشانی ($r = 0/40$) و در مرحله پر شدن دانه ($r = 0/58$) بود. همبستگی میان محتوای نسبی آب برگ و نشت الکتروولت‌ها در هر دو مرحله منفی و معنی دار (گل‌دهی و پر شدن دانه به ترتیب $r = -0/37$ و $r = -0/61$) بود. همبستگی میان محتوای نسبی آب برگ و عدد SPAD در مرحله گرده‌افشانی غیر معنی دار و در مرحله پر شدن دانه $r = 0/43$ و معنی دار بود. همبستگی میان محتوای نسبی آب برگ و $\Phi PSII$ در هر دو مرحله نمودی معنی دار بود (مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه به ترتیب $r = 0/30$ و $r = 0/28$). تمام صفات اندازه‌گیری شده همبستگی معنی داری با

شوری و قارچ میکوریزا بر $\Phi PSII$ در مرحله پر شدن دانه، تفاوت معنی دار میان تیمارهای قارچی فقط با اعمال شوری هم با آب تصفیه و هم با آب شهری مشاهده گردید به گونه‌ای که در میان تیمارهای قارچی *G. geosporum mosseae* و تیمار ترکیبی، $\Phi PSII$ را به میزان بیشتری نسبت به *G. intraradices* حفظ نمودند. تفاوت در نسبت Fv/Fm میان گونه‌های قارچی و شاهد فقط در تیمار آب تصفیه به همراه نمک معنی دار گردید. در این سطح شوری در میان تیمارهای قارچی، *G. mosseae* و *G. geosporum* حداکثر Fv/Fm را به خود اختصاص دادند. سپس تیمار ترکیبی و بعد از آن *G. intraradices* با تفاوت معنی دار قرار گرفتند (جدول ۵). کاهش Fv/Fm و $\Phi PSII$ در شرایط تنش به دلیل تخریب کلروفیل در اثر افزایش سدیم در اندام هوایی می‌باشد و کاهش عدد SPAD در مرحله پر شدن دانه نیز تأییدی بر این مطلب می‌باشد. اگرچه در مرحله گل‌دهی همبستگی میان $\Phi PSII$ و عدد SPAD معنی دار نبود ولی در مرحله پر شدن دانه همبستگی مثبت و معنی دار وجود داشت ($r = 0/26$) و $\Phi PSII$ با همبستگی بالایی ($r = 0/47$) بر شاخص تحمل به شوری تأثیرگذار بود.

شاخص تحمل به شوری

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد (جدول ۳) شوری سبب کاهش معنی دار (سطح ۱٪) شاخص تحمل به تنش گردید. کمترین میزان تحمل به تنش با کاربرد آب تصفیه به همراه نمک به میزان ۶۱/۹۲ درصد مشاهده گردید (جدول ۴). میزان شاخص تحمل به شوری در تیمارهای غیر استریل (۸۴/۴۴ درصد) از لحاظ آماری بیشتر از تیمارهای استریل (۸۳/۴۸ درصد) بود (جدول ۴). شاید بتوان این تفاوت‌ها را به وجود میکروارگانسیم‌های بومی از جمله گونه‌های قارچ میکوریزا در خاک غیر استریل نسبت داد. اثر قارچ میکوریزا بر شاخص تحمل به تنش در سطح ۱٪ معنی دار

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد اندازه‌گیری در دو مرحله نموی گندم تلقیح یافته با میکوریزا در شرایط تنش شوری در دو خاک استریل و غیراستریل

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
محتوای نسبی آب (T ^۱)													
برگ	۱												
محتوای نسبی آب (T ^۲)													
برگ	۰/۲۸**	۱											
هدایت روزنه ای (T ^۱)	۰/۴۰**	۰/۵۸**	۱										
هدایت روزنه ای (T ^۲)	۰/۳۹**	۰/۵۸**	۰/۹۹**	۱									
نشت الکترولیت (T ^۱)	-۰/۳۷**	-۰/۴۹**	-۰/۶۴**	-۰/۶۴**	۱								
نشت الکترولیت (T ^۲)	-۰/۴۵**	-۰/۶۱**	-۰/۷۴**	-۰/۷۴**	۰/۸۱**	۱							
عدد SPAD (T ^۱)	۰/۱۱n.s	۰/۲۷**	۰/۳۲**	۰/۳۰**	-۰/۱۷n.s	-۰/۲۵**	۱						
عدد SPAD (T ^۲)	۰/۲۳*	۰/۴۳**	۰/۴۶**	۰/۴۵**	-۰/۳۷**	-۰/۴۷**	۰/۳۵n.s	۱					
FV/FM (T ^۱)	-۰/۰۴n.s	-۰/۱۲n.s	-۰/۰۲n.s	-۰/۰۴n.s	۰/۰۴n.s	۰/۰۸n.s	۰/۰۱n.s	-۰/۱۰n.s	۱				
QPSII (T ^۱)	۰/۳۰**	۰/۲۶**	۰/۳۹**	۰/۳۹**	-۰/۳۸**	-۰/۳۷**	۰/۱۸n.s	۰/۲۵**	-۰/۱۷n.s	۱			
FV/FM (T ^۲)	-۰/۰۹n.s	-۰/۱۲n.s	-۰/۰۱n.s	-۰/۰۲n.s	۰/۰۸n.s	۰/۱۰n.s	۰/۰۹n.s	-۰/۰۷n.s	۰/۸۸**	-۰/۱۱n.s	۱		
QPSII (T ^۲)	۰/۳۳**	۰/۲۸**	۰/۴۲**	۰/۴۳**	-۰/۴۱**	-۰/۳۹**	۰/۲۰*	۰/۲۶**	-۰/۱۴n.s	-۰/۰۹n.s	۰/۹۷**	۱	
شاخص تحمل به تنش	۰/۴۱**	۰/۶۴**	۰/۷۷**	۰/۷۶**	-۰/۷۴**	-۰/۸۵**	۰/۲۸**	۰/۵۴**	-۰/۰۲n.s	-۰/۰۵n.s	۰/۴۵**	۰/۴۷**	۱

* و **: تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ n.s: عدم وجود تفاوت معنی‌دار؛ T^۱: مرحله اول نمونه برداری (گل‌دهی)؛ T^۲: مرحله دوم نمونه برداری (پر شدن دانه)

حییبی و همکاران: تاثیر سه گونه قارچ میکوریزا...

ایجاد بیشترین میزان تحمل به تنش در شرایط شور، به عنوان گونه‌های مقاوم به شوری محسوب می‌گردند و با تأثیری که بر پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه مانند افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت الکترولیت گذاشتند منجر به بهبود تحمل گیاه به شرایط شور گردیدند.

شاخص تحمل به تنش نشان دادند و این همبستگی فقط در مرحله گرده‌افشانی برای شاخص‌های Fv/Fm و $\Phi PSII$ معنی دار نبود. ضرایب همبستگی بین صفات و شاخص تحمل به تنش به جز برای نشت الکترولیت مثبت بود. صرف نظر از مثبت و منفی بیشترین همبستگی را نشت الکترولیت و هدایت روزه‌ای با شاخص تحمل به شوری ($r = 0.85$ و $r = 0.77$) نشان دادند.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تأمین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره ۶۳۶۴۱۰ می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان نمود که گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا توانایی متفاوتی در افزایش تحمل به تنش شوری در گندم خواهند داشت. در این میان *G. geosporum* و *G. mosseae* با

منابع

۱. رجالی، ف.، مردوخی، ب و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۹. تأثیر همزیستی میکوریزی بر کارایی مصرف آب، تجمع پروتئین و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۴ (۲): ۱۱۲-۱۲۲.
۲. Aliasgharzadeh, N., Saleh Rastin, N., Towfighi, H., and Alizadeh, A. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, 11: 119-122.
۳. Al-Karaki, GN., and Hammad, R. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrient*, 24: 1311-1323.
۴. Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3-42.
۵. Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84: 373-381.
۶. Baker, N.R., and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55 (403): 1607-1621.
۷. Beltrano, J., and Ronco, M.G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal

- fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian. Journal. Plant Physiology, 20: 29–37.
8. Borde, M., Dudhane, M., and Jite, P. 2011. Growth photosynthetic activity and antioxidant responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal bajra (*Pennisetum glaucum*) crop under salinity stress condition. Crop Protection, 30: 265–271.
 9. Calatayud, A., and Barreno, E. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. Plant Physiology and Biochemistry, 42: 549–555.
 10. Cantrell, I.C., and Linderman, R.G. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil, 233: 269–281.
 11. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought resistant and drought sensitive weeping lovegrass plant. Environmental and Experimental Botany, 49:135-144.
 12. Dodd, I.C., and Pérez-Alfocea, F. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. Journal of Experimental Botany, 63(9):3415–3428.
 13. Estrada, B., Aroca, R., Barea, J.M., and Ruiz-Lozano, J.M. 2013. Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. Plant Science, 201: 42–51.
 14. Hatimi, A. 1999. Effect of salinity on the association between root symbionts and *Acacia cyanophylla* Lind: growth and nutrition. Plant Soil, 216: 93–101.
 15. Lutts, S., Kinet, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany, 78: 389–398.
 16. Mandhania, S., Madan, S., and Sawhney, V. 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum, 5: 227–231.
 17. Mansour, M.M.F., and Salama, K.H.A. 2004. Cellular basis of salinity tolerance in plants. Environmental and Experimental Botany, 52: 113–122.
 18. Mathur, N., and Vyas, A. 1995. Influence of VA mycorrhizae on net photosynthesis and transpiration of *Ziziphus mauritiana*. Journal of Plant Physiology, 147(3): 328–330.
 19. Philips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55: 158–161.

20. Rao, G.G., and Rao, G.R. 1981. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus spreng*) and Gingelley (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. *Indian Journal of Experimental Biology*, 19: 768–770.
21. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Haloday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105–111.
22. Robinson, M.F., Very, a., Sanders, D., and Mansfield, T.A. 1997. How can stomata contribute to salt tolerance? *Annals of Botany*, 80: 387–393.
23. Ruiz-Lozano, J., Azcon, R., and Palma, J.M. 1996. Superoxide dismutase activity in arbuscular-mycorrhizal *Lactuca sativa* L. plants subjected to drought stress. *New Phytologist*, 134: 327–333.
24. Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., and Huang, Y. 2009. Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. *Canadian. Journal. Microbiol*, 55: 879–886.
25. Sheng, M., Tang, M., Chen, 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.
26. Zou, Y.N., and Wu, Q.S. 2011. Efficiencies of five arbuscular mycorrhizal fungi in alleviating salt stress of *Trifoliate orange*, *International Journal of Agriculture Biology*, 13: 991–995.