اثر همزیستی اندوفیتی و محلول‌پاشی اسپرمیدین بر فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) در شرایط تنش شوری

سیده حدیثه بهاری ساروی[۱]، احمد غلامی[۲]، همت‌اله پیردشتی*[۳]، مهدی برادران فیروزآبادی[۲] و حمیدرضا اصغری[۲]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، [۲] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
[۳] گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر همزیستی اندوفیتی و محلول‌پاشی اسپرمیدین بر فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار همزیستی قارچی شامل چهار سطح عدم‌تلقیح (شاهد)، تلقیح *Piriformospora indica* (Pi)، تلقیح *Trichoderma virens* (Trich) و تلقیح همزمان دو قارچ (Pi+Trich) و تیمار محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بود. نشاهای گیاه استویا پس از تلقیح با تیمارهای قارچی تا اواخر مرحله رویشی با آب معمولی و سپس به‌مدت دو هفته با تیمارهای آب شور که حاوی مخلوط آب دریای خزر و آب‌مقطر بود، آبیاری شدند. تیمار اسپرمیدین یک هفته قبل از اعمال تنش شوری اعمال شد. نتایج نشان داد در شرایط شور تلقیح با قارچ‌های اندوفیت به‌ویژه Pi+Trich مقدار فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)] را افزایش و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II [Y(NPQ)] و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] را کاهش داد. از طرفی همزیستی قارچی به‌ویژه Pi+Trich و محلول‌پاشی اسپرمیدین ۰/۷۵ میلی‌مولار منجر به افزایش Fm، Fv و Fv/Fm شد. در تمام سطوح شوری تلقیح با تیمارهای قارچی و برهمکنش قارچ و اسپرمیدین، غلظت کلروفیل *a* را بهبود بخشید. در مجموع کاربرد قارچ‌های اندوفیت به‌ویژه تلقیح همزمان دو قارچ در تمام سطوح شوری باعث بهبود پارامترهای فلورسانس کلروفیل و تعدیل اثر تخریبی شوری شد. همچنین پلی‌آمین اسپرمیدین (به‌ویژه در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار) موجب بهبود تحمل گیاه به تنش شوری با قارچ‌های اندوفیت اثر هم‌افزایی داشت.

کلمات کلیدی: شوری، پلی‌آمین، عملکرد کوانتومی، قارچ‌های اندوفیت، کلروفیل *a*

مقدمه

تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی هستند که با اختلال در متابولیسم طبیعی گیاه، رشد را محدود و در نهایت محصول را کاهش می‌دهند (Jamil

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

et al., 2012; Shao *et al*., 2008). در بین تنش‌های غیرزنده، تنش شوری در سطح جهان خسارت‌های گسترده‌ای به گیاهان وارد نموده و از مشکلات عمده در بخش کشاورزی است (Rasheed *et al*., 2014). محیط‌های شور با دو خصوصیت اصلی پتانسیل اسمزی بالا و غلظت بالای املاح مشخص می‌شوند که به‌صورت بالقوه برای بیشتر گیاهان زراعی سمی هستند (Gharineh *et al*., 2009). در این میان یکی از بارزترین پاسخ‌های گیاهی به تنش شوری اختلال در فعالیت فتوسیستم II است (Andrews *et al*., 1995). با بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی تحت تأثیر تنش‌های محیطی، ادامه جذب نور توسط مولکول‌های کلروفیل منجر به اختلال در زنجیره انتقال الکترون و کاهش مصرف فرآورده‌های آن یعنی ATP و NADPH در چرخه کالوین شده و در نهایت بسته شدن مراکز واکنش و کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را به‌دنبال خواهد داشت (Maxwell and Johnson, 2005). تکنیک سنجش فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک روش مناسب برای بررسی وضعیت کلروفیل گیاهی است (Baker and Rosenqvist, 2004).

بخشی از انرژی نوری جذب‌شده به‌وسیله مولکول‌های کلروفیل در یک برگ برای پیشبرد فتوسنتز استفاده می‌شود (خاموشی فتوشیمیایی) و انرژی مازاد به‌صورت حرارت پراکنده شده (خاموشی غیرفتوشیمیایی) و یا به‌صورت نور با طول‌موج بلند (فلورسانس کلروفیل) ساطع می‌شود (Yaghoubian *et al*., 2016; Baker, 2008). از آنجایی که این سه فرآیند به‌صورت رقابتی رخ می‌دهند می‌توان از طریق اندازه‌گیری عملکرد فلورسانس کلروفیل اطلاعاتی را در مورد تغییرات کارایی فتوشیمیایی و هدررفت گرمایی به‌دست آورد (Lazar, 1999). در همین راستا پژوهش‌ها نشان داد که تنش شوری در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (بهاری ساروی و همکاران، ۱۳۹۶)، بادام (*Prunus amygdalus*) (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۳)، کرچک (*Ricinus communis*) (Li *et al*., 2010) و رزماری (*Rosmarinus officinalis*) (Gaohong *et al*., 2011) عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را کاهش و خاموشی غیرفتوشیمیایی را افزایش داد. علاوه بر آن، کلروفیل عامل اصلی برای فتوسنتز بوده و شرایط نامطلوب شوری اثرات تخریبی بر آن دارد بر این اساس می‌توان با اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی ازجمله کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئیدها به اثرات تنش شوری بر فعالیت فتوسنتزی پی برد (عموآقایی و نیک‌اندیش، ۱۳۹٤؛ Xin *et al*., 2008).

در میان راهکارهای زیستی برای افزایش رشد گیاهان در شرایط شور نقش قارچ‌ها برجسته است؛ چرا که استفاده از قارچ‌های همزیست می‌تواند آسیب به فرآیندهای فیزیولوژیکی و کارایی فتوسنتزی گیاه را در شرایط شور تعدیل نماید. این قارچ‌ها از مهم‌ترین ریزجانداران خاک محسوب می‌شوند و با ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی در گیاه میزبان عملکرد آنها را در واحد سطح افزایش داده و امکان توسعه کشت آنها را در خاک‌های شور، خشک یا اقلیم‌هایی با تنش‌های زنده و غیرزنده فراهم می‌آورند (Hermossa *et al*., 2010). از جمله این ریزجانداران می‌توان به دو قارچ *Piriformospora indica* و *Trichoderma virens* اشاره کرد (Varma *et al*., 2012; Sun *et al*., 2010). قارچ *P. indica* جزء قارچ‌های خانواده *Sebacinaceae* بوده (Varma *et al*., 1999) که رابطه همزیستی آن با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه و افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های شوری، خشکی و عوامل بیماریزای ریشه و برگ توسط محققین مختلف گزارش شده است (سپهری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Yaghoubian *et al*., 2014; Waller *et al*., 2005; Rai and Varma, 2005; Kumari *et al*., 2003). همچنین قارچ *T. virens* نیز به‌منظور کنترل زیستی در برابر عوامل بیماریزای خاکزی، افزایش جذب عناصر غذایی (Cuevas, 2006)، ایجاد مقاومت القایی در برابر تنش‌های محیطی و القای رشد گیاه استفاده می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۷). مطالعات نشان می‌دهد که حضور ریزجانداران مفید خاکزی در ریزوسفر گیاهان می‌تواند از طریق کاهش اتیلن ناشی از تنش‌هایی نظیر شوری (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۱) و خشکی (Rai and Varma, 2005) کارایی فتوسنتزی گیاهان را در شرایط نامساعد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

محیطی بهبود بخشد. از سوی دیگر، طی مطالعات متعدد ثابت شده است که اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل روش معتبر و قابل اعتمادی برای مطالعه فرآیندهای فتوسنتزی گیاه تحت تنش‌های محیطی و همچنین کاربرد ریزجانداران خاکزی در مواجهه با این تنش‌ها است. برای نمونه ربیعی و همکاران (۱۳۹۱) در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum*) در شرایط تنش شوری و کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد، یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۱) در گیاه گندم تحت تنش رطوبتی و همزیستی میکوریزایی و همچنین Yaghoubian و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تنش کادمیم بر گیاه خرفه از این روش استفاده نمودند.

از سوی دیگر، امروزه نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزنده از جمله شوری و خشکی مورد توجه قرار گرفته است. پلی‌آمین‌ها گروهی از ترکیبات طبیعی با وزن مولکولی کم هستند که در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد و نمو گیاه، تشکیل ریشه، نمو و رسیدن میوه، فتوسنتز و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارند (Galston *et al.*, 1997). همچنین پلی‌آمین‌ها از نسخه‌برداری، تولید و فعالیت آنزیم ACC سینتاز جلوگیری کرده و منجر به کاهش سطوح ACC اکسیداز و کاهش تولید اتیلن شده و به‌دنبال آن باعث افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Lee *et al.*, 1997). در همین راستا Toumadse و Richardson (۱۹۹۸) بیان داشتند که تیمار اگزوژن پلی‌آمین‌ها در گوجه‌فرنگی، آووکادو و گلابی با ممانعت از فعالیت آنزیم ACC سینتاز بیوسنتز اتیلن را به شدت کاهش می‌دهد.

گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) از جمله گیاهان دارویی، بوته‌ای، چندساله و متعلق به خانواده آستراسه (Asteracea) بوده که کشت و کار آن به‌علت برگ شیرین و خواص ضددیابتی آن رو به گسترش است (Sadeak *et al.*, 2009). برگ‌های استویا دارای دی‌ترپن گلیکوزید از جمله استویوزید و ربادیوزید است که حدود ۳۰۰-۱۰۰ بار از قند ساکارز شیرین‌ترند و به‌عنوان شیرین‌کننده طبیعی جایگزین ساکارز شناخته می‌شوند. این ماده شیرین‌کننده فاقد کالری برای افرادی که از دیابت، فشار خون بالا، ناراحتی‌های قلبی و چاقی رنج می‌برند مطلوب است (Ishima and Katayama, 1976). بنابراین، باتوجه به موارد مطرح‌شده و همچنین اهمیت گیاه دارویی استویا، این مطالعه با هدف بررسی اثر همزیستی قارچ‌های اندوفیت *P. indica* و *T. virens* به‌همراه کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی این گیاه در شرایط شور صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ در گلخانه پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار همزیستی قارچی شامل چهار سطح عدم‌تلقیح (شاهد)، تلقیح *P. indica* (Pi)، تلقیح *T. virens* (Trich) و تلقیح همزمان دو قارچ (Pi+Trich) و تیمار پلی‌آمین اسپرمیدین در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بود. قارچ‌های *P. indica* و *T. virens* به‌ترتیب در محیط‌کشت مایع کفر (Kaefer, 1977) و محیط‌کشت PDB (عصاره سیب‌زمینی و دکستروز) کشت شد. پس از گذشت دو هفته که رشد رویشی قارچ‌ها به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت حدود ۱×۱۰^{۹} واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه و جهت تلقیح استفاده شد. روش تلقیح برای قارچ‌ها به این صورت بود که ریشه نشاهای ۴۰ روزه گیاه استویا با سوسپانسیون قارچ *P. indica* و *T. virens* به‌مدت ۶۰ ثانیه آغشته و سپس به گلدان‌های پلاستیکی کوچکی منتقل و مرحله سازگاری گیاه (به‌مدت ۴۰ روز) در اتاق سازگاری با شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت سپری شد. در ادامه نشاها به گلدان‌های اصلی (با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر و گنجایش سه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

کیلوگرم خاک خشک) منتقل و در گلخانه با شرایط نور طبیعی و دمای مطلوب (۲۰ تا ۲٤ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. گیاهان تا اواخر مرحله رویشی با آب معمولی و سپس به‌مدت دو هفته با تیمارهای آب شور که حاوی مخلوط آب دریای خزر و آب‌مقطر بود، آبیاری شدند. همچنین تیمارهای پلی‌آمین اسپرمیدین (شرکت Sigma) یک هفته قبل از اعمال تنش شوری به‌صورت محلول‌پاشی اعمال شد. پس از گذشت دو هفته از تنش شوری اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه‌یافته با استفاده از دستگاه فلورومتر (PAM 2500-Walz, Germany) و براساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) صورت گرفت. بدین منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ (2030-B, Walz) به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند سپس فلورسانس حداقل (Fo) با همه‌ی مراکز واکنشی باز فتوسیستم II و فلورسانس حداکثر(Fm) با همه مراکز واکنشی بسته فتوسیستم II در برگ‌های سازگار به تاریکی و در مرحله بعد میزان فلورسانس پایدار (Ft)، فلورسانس حداقل (Fo´) و حداکثر (Fm´) در برگ‌های سازگارشده به روشنایی تعیین شد. با استفاده از پارامترهای تعیین‌شده در برگ‌های سازگارشده به تاریکی و روشنایی میزان فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیتم II (Fv/Fm)، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)]، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II [Y(NPQ)]، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) براساس جدول ۱ محاسبه شد.

همچنین جهت سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی از آخرین برگ گسترش‌یافته گیاه نمونه‌برداری و میزان کلروفیل *a* و *b* و کارتنوئید با استفاده از روش Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) اندازه‌گیری و به‌ترتیب براساس معادله‌های زیر محاسبه شد.

$$\text{Chl } a \text{ (µg/ml)} = 16.72\, A_{665.2} - 9.16\, A_{652.4}$$

$$\text{Chl } b \text{ (µg/ml)} = 34.09\, A_{652.4} - 15.28\, A_{665.2}$$

$$\text{Car (µg/ml)} = (1000A_{470} - 1.63\text{Chl } a - 104.96\text{Chl } b) / 221$$

$A_{665.2}$، $A_{652.4}$، A_{470} میزان نور جذبی محلول در طول‌موج‌های ٦٦٥/٢، ٦٥٢/٤ و ٤٧٠ نانومتر است. پس از پایان آزمایش آزمون نرمال‌بودن داده‌ها به‌روش کولموگروف–اسمیرنوف انجام و سپس به‌وسیله نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ آنالیز شدند. میانگین‌ها نیز براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فلورسانس کلروفیل (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده شوری و همزیستی قارچ‌های اندوفیت بر تمامی پارامترهای فلورسانس کلروفیل شامل Fo، Fm، Fv، Fv/Fm، Y(II)، Y(NPQ)، Y(NO) و NPQ و همچنین اثر ساده پلی‌آمین اسپرمیدین در فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بین قارچ‌های اندوفیت مورد مطالعه و سطوح مختلف شوری در تمامی پارامترهای مورد نظر به‌جز فلورسانس حداقل (Fo)، برهمکنش معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین همزیستی قارچی و پلی‌آمین اسپرمیدین در فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] در سطح احتمال پنج درصد برهمکنش معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل سه گانه شوری، قارچ و اسپرمیدین، تنها بر کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. برهمکنش معنی‌داری بین سطوح مختلف شوری و اسپرمیدین مشاهده نشد (جدول ۲).

براساس یافته‌ها فلورسانس حداقل در برگ‌های سازگار به تاریکی (Fo) با افزایش تنش شوری افزایش قابل توجهی نشان داد، به طوریکه در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با حدود ۱۱ درصد افزایش نسبت به شاهد به بالاترین میزان خود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

جدول ۱- مؤلفه‌های بیوفیزیکی اندازه‌گیری شده فلورسانس کلروفیل و معادلات مربوط به آنها

مؤلفه		شناسه	معادله
فلورسانس متغیر	Variable fluorescence	Fv	Fm-Fo
حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیتم II	Maximum photochemical quantum yield of photosystem II	Fv/Fm	(Fm-Fo)/Fm
کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II	Effective photochemical quantum yield of photosystem II	Y(II)	(Fm-Ft)/Fm´
کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II	Quantum yield of regulated energy dissipation	Y(NPQ)	(Ft/Fm´)- (Ft/Fm)
کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم II	Quantum yield of non-regulated energy dissipation	Y(NO)	Ft/Fm
خاموشی غیرفتوشیمیایی	Non-photochemical quenching	NPQ	(Fm-Fm')/Fm'

جدول ۲- میانگین مربعات اثر عوامل مورد بررسی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برگ گیاه استویا

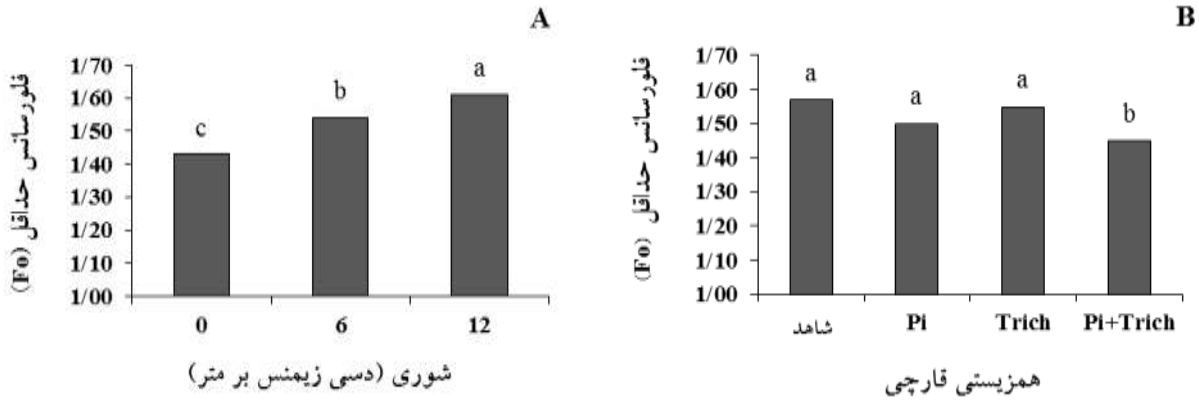
منابع تغییر	df	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ
شوری (A)	۲	۰/۲۹**	٦/۲۹**	۹/۲۷**	۰/۰۳**	۰/۲۸**	۰/۱۱**	۰/۰۳**	۱/۰۷**
قارچ (B)	۳	۰/۰۷**	۳/٤۸**	٤/۳۸**	۰/۰۱**	۰/۱۲**	۰/۰٦**	۰/۰۰۹**	۱/۱٦**
اسپرمیدین (C)	۲	۰/۰۲	۱/۵۳**	۱/۹٤**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲**	۰/۱٦
A×B	٦	۰/۰۰۹	۰/۹۱**	۰/۸۵**	۰/۰۰۲**	۰/۰۲**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰٦**	۰/۳٦**
A×C	٤	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹
B×C	٦	۰/۰۰۰٦	۰/۲٤*	۰/۲٤*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲*	۰/۱٤
A×B×C	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۱۳	۰/۱٤	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۱
خطای آزمایش	۷۲	۰/۰۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷
ضریب تغییرات (%)		٦/۲	٤/٦	٦/٤	۲/۷	٦/۳	۲۹/۳	۷/٤	۲۷/۱

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد**

رسید (شکل A ۱). همچنین تلقیح با قارچ‌های اندوفیت به‌ویژه تلقیح همزمان دو قارچ Pi+Trich توانست فلورسانس حداقل (Fo) را نسبت به شاهد حدود هشت درصد کاهش دهد (شکل B ۱). فلورسانس حداقل (Fo) تحت تأثیر تنش‌های محیطی که موجب تغییر ساختار در مراکز واکنش اولیه فتوسیستم II می‌شوند، قرار می‌گیرد (جوادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی به مراکز واکنش فتوسیستم II موجب افزایش فلورسانس حداقل (Fo) می‌شود، لذا هر چه مقدار فلورسانس حداقل کمتر باشد بدین معنی است که فعالیت‌های فتوسنتزی به‌نحو مطلوبی در جریان است (Andrews *et al*., 1995). در مطالعه حاضر، میزان Fo با افزایش سطح شوری افزایش یافت (شکل A ۱) که بیانگر تخریب زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و عدم‌اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال‌شدن فتوسیستم II است (Gaohong *et al*., 2011; Guimaraes *et al*., 2014). افزایش Fo در اثر تنش شوری در بادام (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۳) و آفتابگردان (صفاری و همکاران، ۱۳۹۲) و همچنین افزایش این پارامتر در تنش خشکی در گیاه دارویی گاوزبان (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵) و ذرت (همایونی و همکاران، ۱۳۹۵) و کاهش Fo در اثر تلقیح با ریزجانداران افزاینده رشد در گیاه ریحان تحت تنش شوری (بهاری ساروی و همکاران، ۱۳۹٦) نیز گزارش شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]



شکل ۱- اثر تنش شوری (A) و همزیستی قارچی (B) بر فلورسانس حداقل (Fo) در برگ گیاه استویا. Pi: *P. indica* و Trich: *T. virens*. در هر شکل ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

براساس نتایج جدول ۳ مشخص شد که با افزایش سطوح شوری در بیشتر تیمارهای قارچی و به‌ویژه تیمار شاهد (عدم‌تلقیح قارچ)، فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) کاهش یافت. به طوریکه میزان Fm، Fv و Fv/Fm در تیمار شاهد (عدم‌تلقیح با قارچ) با افزایش تنش شوری از صفر تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۲٤، ۳۳ و ۱۳ درصد کاهش نشان داد. به‌نظر می‌رسد تنش شوری با تغییرات ساختاری در فتوسیستم II، به‌خصوص در پروتئین D_1، بازدارندگی نوری و کاهش پذیرنده‌های الکترون موجب افزایش تولید رادیکال‌های فعال می‌شود که می‌تواند منجر به صدمات اکسیداتیو، تخریب کلروفیل، افزایش آسیب به اجزای فتوسیستم II و غیرفعال‌شدن آنزیم‌های کلروپلاست شود (Guimaraes *et al.*, 2014). تنش‌های محیطی با اثرات نامطلوبی که بر تثبیت کربن می‌گذارند، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده در نتیجه سیستم به‌سرعت به Fm می‌رسد که نتیجه آن کاهش در میزان فلورسانس متغیر (Fv) خواهد بود. از این رو کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تأثیر تنش کاهش می‌یابد (Ma *et al.*, 1995). همچنین، نتایج بیانگر اثر مثبت تلقیح با قارچ‌های اندوفیت در شرایط شور بر مقدار Fm، Fv و Fv/Fm بود، به طوریکه هر سه پارامتر مورد نظر در سطوح شوری ٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و در شرایط تلقیح جداگانه و همزمان با قارچ‌های *P. indica* و *T. virens* نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. در هر سه پارامتر مورد مطالعه بیشترین افزایش مربوط به تلقیح همزمان دو قارچ بود که در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با تلقیح جداگانه قارچ‌ها نیز تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۳). محققان بیان داشتند همزیستی با قارچ می‌تواند اثرات مضر تنش را بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II از طریق کاهش آسیب به مراکز واکنشی فتوسیستم کاهش داده و باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی شود(Habibi *et al.*, 2014; Yaman *et al.*, 2008; Mehta *et al.*, 2010). نسبت Fv/Fm نیز نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II است و به‌عنوان شاخصی معتبر برای نشان‌دادن اختلال ناشی از تنش در مراکز فتوشیمیایی و بازدارندگی نوری استفاده می‌شود (Baker and Rosenqvist, 2004; Li *et al.*, 2008). کاهش این شاخص در شرایط تنش نشانه کاهش میزان حفاظت نوری و در نتیجه بازدارندگی تنش شوری بر کارایی فتوسنتز است. از آنجایی که بالاتربودن نسبت Fv/Fm در سطوح بالای شوری بیانگر توانایی انجام محافظت نوری در شرایط تنش است بنابراین در آزمایش حاضر افزایش این شاخص در بوته‌های تلقیح‌شده با قارچ‌های اندوفیت (جدول ۳) نشان‌دهنده نقش مثبت این ریزجانداران در بهبود سیستم حفاظتی گیاه و افزایش تحمل به تنش شوری است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

جدول ۳- تأثیر برهمکنش تنش شوری و همزیستی قارچی بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در برگ گیاه استویا

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	قارچ اندوفیت			
	شاهد	*P. indica* (Pi)	*T. virens* (Trich)	Pi+Trich
	فلورسانس حداکثر (Fm)			
۰	٦/٥٦ b	٦/٣٠ bcd	٦/٥٣ bc	٦/٨٤ a
٦	٥/٢١ g	٦/١٩ de	٦/٠٧ de	٦/٢١ de
١٢	٤/٩٩ g	٦/٠٣ ef	٥/٧٨ f	٦/٢٧ cde
	فلورسانس متغیر (Fv)			
۰	٥/٠٥ bc	٤/٨٤ cd	٥/١٤ b	٥/٤٧ a
٦	٣/٦٤ h	٤/٦٤ def	٤/٤٨ ef	٤/٧٥ de
١٢	٣/٣٥ i	٤/٤١ f	٤/١٢ g	٤/٧٤ de
	حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)			
۰	۰/٧٧۰ bc	۰/٧٦٨ bc	۰/٧٨٦ ab	۰/٧٩٩ a
٦	۰/٦٩٥ h	۰/٧٤٩ def	۰/٧٣٧ ef	۰/٧٦٢ cd
١٢	۰/٦٦٨ i	۰/٧٣١ fg	۰/٧١٢ gh	۰/٧٥٦ cde

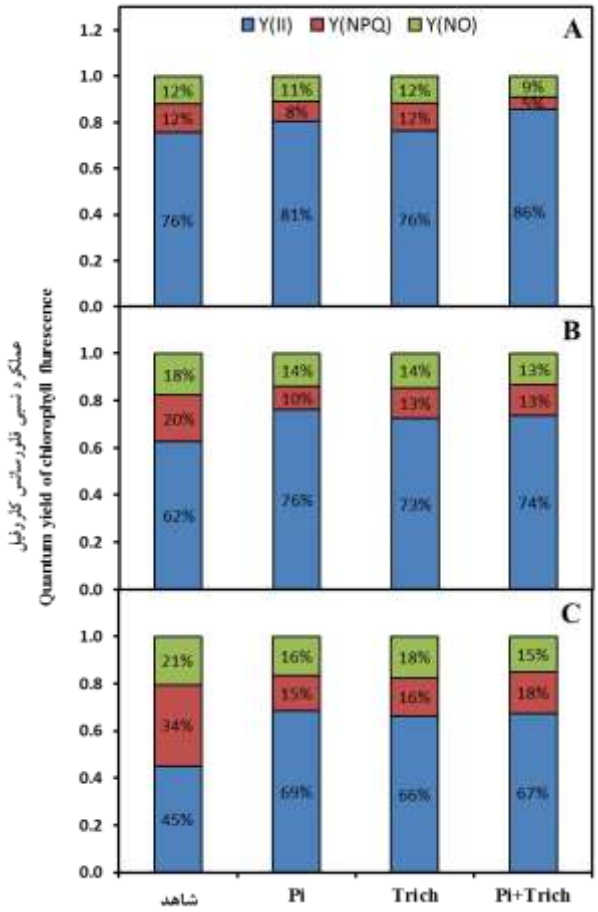
در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نتایج نشان داد با افزایش تنش شوری از صفر به ٦ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)] به‌ترتیب از ۰/۷۵ به ۰/٦٢ و ۰/٤٥ کاهش یافت (شکل ٢). از آنجایی که Y(II) نسبت نور استفاده‌شده در فرآیند فتوسنتز به کل نور جذب‌شده به‌وسیله کلروفیل مربوط به فتوسیستم II بوده و مستقیماً با سرعت آسیمیلاسیون CO_2 در برگ ارتباط دارد (Genty *et al.*, 1989)، کاهش Y(II) در زمان تنش احتمالاً بیانگر کاهش فرآیند فتوسنتزی و آسیمیلاسیون CO_2 در اثر تنش شوری است. از سوی دیگر، با توجه به اینکه مقدار Y(II) با کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II [Y(NPQ)] و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] به‌عنوان عملکردهای کوانتومی رابطه مکملی وجود دارد (Stefanov and Terashima, 2008)، با کاهش مقدار Y(II)، مقدار (NPQ) Y و Y(NO) بیشتر شد. حسنی و همکاران (١٣٩٢) نیز کاهش پارامتر Y(II) در شرایط تنش سرما را در ژنوتیپ‌های گیاه برنج گزارش کردند.

همچنین، نتایج حاکی از اثر بخشی تیمار همزیستی قارچی در افزایش کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)]، کاهش کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II [Y(NPQ)] و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II [Y(NO)] در سطوح مختلف شوری است به طوریکه در شرایط شوری ٦ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، به‌ترتیب افزایش ١٥ و ٣٣ درصدی در پارامتر Y(II) در اثر تلقیح Pi+Trich نسبت به سطح شوری مشابه و عدم‌تلقیح مشاهده شد. همچنین تلقیح همزمان دو قارچ در شوری صفر منجر به کاهش ٥٦ درصدی پارامتر Y(NPQ) نسبت به شاهد شد. بهاری ساروی و همکاران (١٣٩٦) با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نشان دادند که این ریزجاندارن مفید خاکزی منجر به افزایش کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II [Y(II)]، کاهش کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II [Y(NPQ)] و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده فتوسیستم II[Y(NO)] در شرایط شوری شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

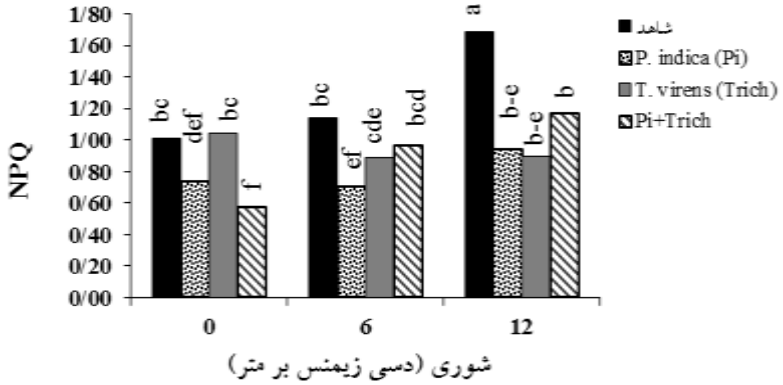


شکل ۲- اثر همزیستی قارچی بر تغییرات مکمل پارامترهای Y(NO)، Y(NPQ) و Y(II) در سطوح شوری صفر (A)، ٦ (B) و ۱۲ (C) دسی زیمنس بر متر. Pi: *P. indica* و Trich: *T. virens*

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد با تلقیح قارچ‌های اندوفیت خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) هم در شرایط نرمال و هم شرایط شور کاهش یافت، این کاهش در شرایط شوری صفر و تیمار قارچی Pi+Trich نسبت به شاهد به ٧٤ درصد رسید (شکل ۳). افزایش پارامتر NPQ به‌عنوان شاخص هدررفت گرمایی، بیانگر ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدررفت انرژی به صورت گرما است (Chaves *et al*., 2009). با این وجود با افزایش بیشتر سطوح تنش ممکن است افزایش در NPQ برای مصرف انرژی مازاد و حفظ اکسیداسیون پذیرنده‌های الکترون فتوسیستم II ناکافی باشد (Ort and Baker, 2002). تنش‌های محیطی با اشباع زنجیره انتقال الکترون و تجمع پروتون‌ها منجر به کاهش pH لومن شده و در نهایت افزایش در NPQ را به‌دنبال خواهد داشت (Porcar-Castell *et al*., 2014). ریزجانداران مفید خاکزی از جمله قارچ‌های همزیست مانند میکوریزا در زمان وقوع تنش‌های محیطی با تولید موادی از قبیل اکسین، آنتی‌اکسیدان‌ها، سیتوکنین‌ها، اسانس‌ها و آنزیم ACC دآمیناز به رشد گیاه و تحمل شرایط نامساعد کمک می‌کنند (Jungwook *et al*., 2009). در همین راستا به‌کارگیری قارچ میکوریز به‌عنوان کود زیستی تحت تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی توانست تأثیر مثبتی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل داشته باشد. در این خصوص می‌توان به مطالعات Ruiz-Sanchez و همکاران (۲۰۱۱) در گیاه برنج و Zhu و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه ذرت تحت تنش خشکی اشاره کرد.

براساس یافته‌ها (جدول ٤) همزیستی قارچی به‌ویژه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]



شکل ۳- برهمکنش شوری و قارچ بر خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) برگ گیاه استویا. Pi : *P. indica* و Trich: *T. virens*. در هر شکل ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Pi+Trich و محلول‌پاشی اسپرمیدین با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار منجر به افزایش فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) شد. در هر سه پارامتر مورد نظر بیشترین افزایش در تیمار قارچی Pi+Trich و محلول‌پاشی ۰/۷۵ میلی‌مولار اسپرمیدین مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد و اسپرمیدین صفر میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ٤٦ و ۱۵ درصد بود. محلول‌پاشی اسپرمیدین هر سه پارامتر مذکور را در تیمارهای شاهد و تلقیح *P. indica* و *T. virens* به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین به‌طور قابل توجهی با افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II موجب بهبود فلورسانس کلروفیل گیاه شد. بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که کاربرد اسپرمیدین با حفظ غلظت کلروفیل در مراکز واکنشی فتوشیمیایی (شکل ٤) موجب افزایش کارایی فتوسیستم II شد.

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای آزمایشی (جدول ۵) نشان داد، میزان کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده [Y(NO)] در مجموع در اثر تنش شوری روند افزایشی داشت. همچنین، میزان این پارامتر در تمام سطوح شوری با تلقیح قارچ‌های *P. indica*، *T. virens* و Pi+Trich نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با این وجود در سطوح تنش شوری ٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمارهای مختلف قارچی، محلول پاشی اسپرمیدین به‌ویژه غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار آن کاهش معنی‌دار Y(NO) را به‌دنبال داشت. کاهش Y(NO) نشانگر افزایش نسبت نور استفاده شده در فرآیند فتوشیمیایی و کاهش اتلاف انرژی و به‌دنبال آن افزایش در سرعت آسیمیلاسیون CO_2 است (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ Klughammer and Li *et al*., 2008; Schreiber, 2008). تجزیه واریانس داده‌های حاصل از سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی (جدول ٦) نشان داد که اثر ساده شوری و پلی‌آمین اسپرمیدین بر تمامی صفات مورد بررسی شامل کلروفیل *a*، *b*، *a+b* و کارتنوئید و همچنین اثر ساده همزیستی قارچ بر تمامی صفات به‌غیر از کارتنوئید معنی‌دار بود. در غلظت کلروفیل *a* بین سطوح مختلف شوری و قارچ‌های اندوفیت و نیز همزیستی قارچی و اسپرمیدین بر-همکنش معنی‌داری مشاهده شد. همچنین در صفت کلروفیل *a* بین سطوح شوری و و اسپرمیدین برهمکنش معنی‌داری در غلظت کلروفیل *a* را به‌دنبال داشت که بیشترین افزایش آن (حدود ۳۷ درصد) مربوط به همزیستی قارچ *P. indica* در سطح شوری شش دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل A ٤). از سوی دیگر، در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی اسپرمیدین ۰/۷۵ میلی‌مولار باعث افزایش ۲٤ درصدی غلظت کلروفیل *a* نسبت به سطح صفر اسپرمیدین شد (شکل B ٤). شوری با کاهش جذب عناصر معدنی از جمله منیزیم موجب کاهش بیوسنتز کلروفیل و فتوسنتز در گیاهان می‌شود (کرمی و زارع، ۱۳۹۳). سمیت بیش از حد یون‌های سدیم و کلر نیز موجب آسیب به غشاء پلاسمایی، اندامک‌های سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اثر سه‌گانه شوری،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

جدول ٤- تأثیر برهمکنش همزیستی قارچی و محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در برگ گیاه استویا

اسپرمیدین (میلی‌مولار)	قارچ اندوفیت			
	شاهد	*P. indica* (Pi)	*T. virens* (Trich)	Pi+Trich
	فلورسانس حداکثر (Fm)			
٠	٥/١٠ e	٥/٩٦ cd	٥/٩٥ cd	٦/٣٧ ab
٠/٧٥	٥/٧٨ d	٦/٣٣ ab	٦/١٦ bc	٦/٥٥ a
١/٥	٥/٨٧ d	٦/٢٣ b	٦/٢٧ b	٦/٤١ ab
	فلورسانس متغییر (Fv)			
٠	٣/٤٩ f	٤/٣٩ de	٤/٣٨ de	٤/٨٧ abc
٠/٧٥	٤/٢٢ e	٤/٧٩ bc	٤/٦١ cd	٥/١١ a
١/٥	٤/٣٢ e	٤/٧١ bc	٤/٧٥ bc	٤/٩٧ ab
	حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)			
٠	٠/٦٧٥ f	٠/٧٣٥ de	٠/٧٣٤ de	٠/٧٦٤ abc
٠/٧٥	٠/٧٢٥ e	٠/٧٥٧ bc	٠/٧٤٦ cd	٠/٧٨٠ a
١/٥	٠/٧٣٣ de	٠/٧٥٥ bc	٠/٧٥٥ bc	٠/٧٧٣ ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ٥- تأثیر برهمکنش تنش شوری، همزیستی قارچی و محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌نشده [Y(NO)] گیاه استویا

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسپرمیدین (میلی‌مولار)	قارچ اندوفیت			
		شاهد	*P. indica* (Pi)	*T. virens* (Trich)	Pi+Trich
٠	٠	٠/١٢٧ o-t	٠/١٢٢ q-u	٠/١٢٣ p-t	٠/١٠٥ v-w
	٠/٧٥	٠/١٢٠ r-u	٠/١١٢ t-v	٠/١١٥ s-v	٠/٠٩١ w
	١/٥	٠/١١٨ r-u	٠/١٠٠ v-w	٠/١١٢ t-v	٠/٠٧١ x
٦	٠	٠/٢٠٢ b	٠/١٤٢ k-o	٠/١٥٠ h-m	٠/١٣١ n-s
	٠/٧٥	٠/١٦٤ e-h	٠/١٣٥ m-r	٠/١٤٦ i-n	٠/١٢٦ o-t
	١/٥	٠/١٦٢ e-i	٠/١٣٩ l-q	٠/١٣٩ l-p	٠/١٤٤ j-n
١٢	٠	٠/٢٣٣ a	٠/١٧٣ def	٠/١٨٤ cd	٠/١٥٤ g-k
	٠/٧٥	٠/١٩٧ bc	٠/١٥٨ f-k	٠/١٧٥ de	٠/١٥٠ h-m
	١/٥	٠/١٨٧ bcd	٠/١٦٠ e-j	٠/١٧٠ d-g	٠/١٤٣ j-o

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

قارچ و اسپرمیدین نیز بر دو صفت کلروفیل b و a+b معنی‌دار شد (جدول ٦).

در تمام سطوح شوری، تلقیح با تیمارهای قارچی افزایش سلولی و اختلال در فتوسنتز، تنفس و سنتز پروتئین‌ها (Feng *et al.*, 2002) و نیز موجب عدم‌پایداری ترکیب رنگیزه پروتئین در گیاه می‌شود (Singh *et al.*, 1994). گرچه کلروفیل *a* در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

جدول ٦- میانگین مربعات اثر تیمارهای مورد بررسی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ گیاه استویا

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل *a+b*	کارتنوئید
شوری (A)	۲	٤٠٨/١ **	٦/٧٥ *	٤٦٥/٨ **	٢٣/٣٤ **
قارچ (B)	۳	٥٩/٠٥ **	١٢٤/٢٨ **	١٦٧/٨٩ **	٣/٣٣
اسپرمیدین (C)	۲	٢٤/٠٨ *	٥٨/٩٠ **	١٥٦/٠٦ **	٦/٩١ *
A×B	٦	١٧/١٤ *	١/٥٩	١٨/٤٧	٣/١٦
A×C	٤	٢٩/٢٦ **	٠/٤٥	٢٨/٢١	٢/٦٠
B×C	٦	٢١/٦٩ *	٤/٠٢	٢١/٦٢	١/١٩
A×B×C	١٢	١٢/١٠	٤/٢١ *	٢٢/٦ *	١/٥٨
خطای آزمایشی	٧٢	٧/٤٢	٢/٠٤	١١/٦٧	١/٦٤
ضریب تغییرات (%)		١٤/٦	٢٤/١	١٣/٩	٢٠/٥

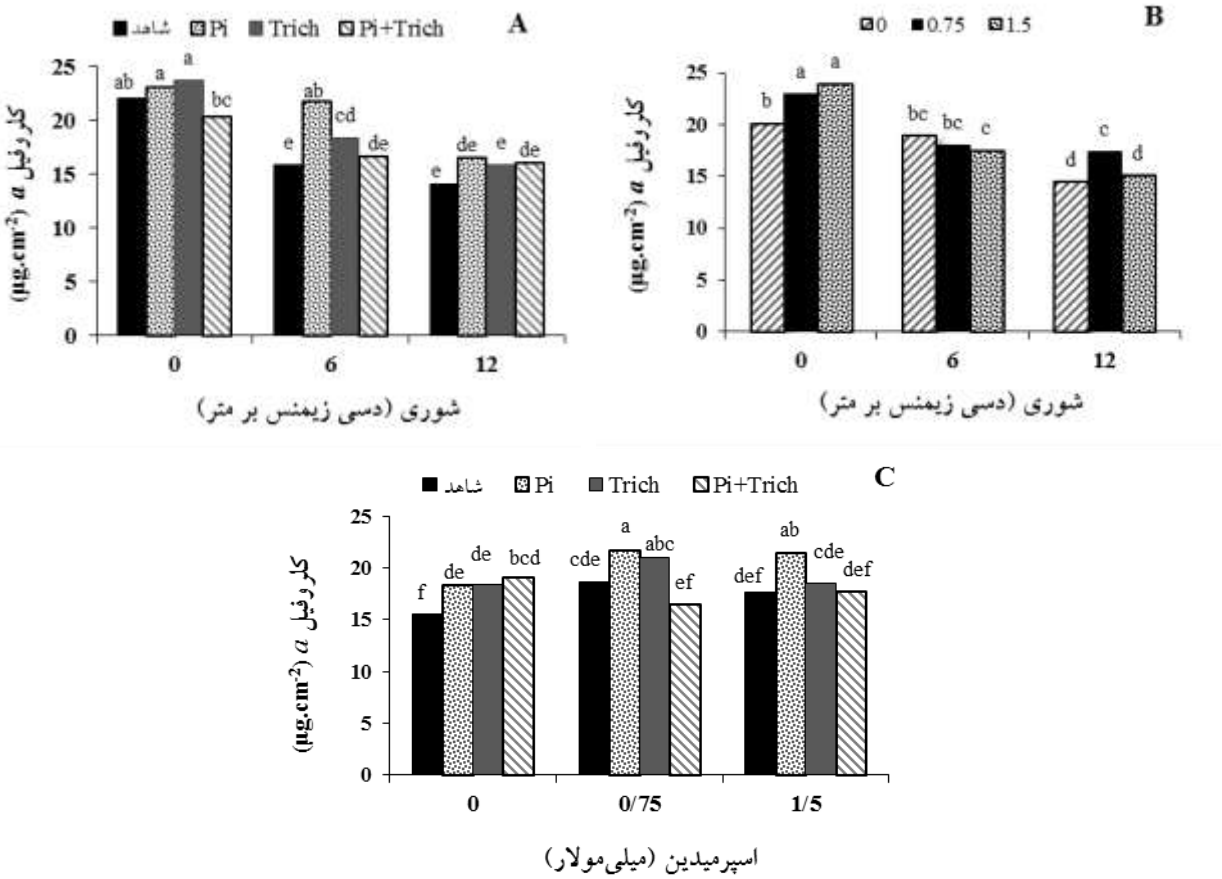
*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد**

مقایسه با کلروفیل *b* از تراکم بالاتری در دستگاه فتوسنتزی برخوردار است اما این رنگدانه نسبت به کلروفیل *b* و سایر رنگدانه‌های سیستم فتوسنتزکننده گیاه در مقابل تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش شوری و خشکی حساس‌تر است (Mitra and Banerjee, 2010). کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، القای تخریب ساختار کلروپلاستی و بی‌ثباتی کمپلکس‌های پروتئینی رنگدانه باشد (Dalal and Tripathy, 2012).

برهمکنش قارچ و محلول‌پاشی اسپرمیدین (شکل C ٤) اثر مثبتی را در غلظت کلروفیل *a* به‌دنبال داشت به طوریکه مقدار کلروفیل *a* در زمان تلقیح با قارچ *P. indica* و محلول‌پاشی اسپرمیدین ۰/۷۵ میلی‌مولار افزایش ۳۹ درصدی را نسبت به شاهد (عدم‌تلقیح قارچ و اسپرمیدین صفر) به‌دنبال داشت (شکل C ٤). در همین راستا، محققین افزایش کلروفیل *a* در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های اندوفیت را به‌دلیل بهبود وضعیت آبی و جذب عناصر معدنی فسفر و منیزیم دانسته اند(Giri *et al*., 2002). میزان بالای محتوای کلروفیل در برگ گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های اندوفیتی و میکوریزی تحت تنش شوری توسط محققین در گیاه استویا (نوری آکندی و همکاران، ۱۳۹۵)، ذرت (Sheng *et al*., 2008) و یونجه (کرمی و زارع، ۱۳۹۳) گزارش شده است. از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد پلی‌آمین اسپرمیدین با نقش آنتی‌اکسیدانی خود موجب ثبات غشای تیلاکوئیدی و حفظ پروتئین و لیپیدهای آن در مقابل تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌شود که نتیجه آن ثبات کلروفیل *a* از صدمات ناشی از تنش است (نیاکان و همکاران، ١٣٩٤).

براساس یافته‌های حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای آزمایشی (جدول ۷)، غلظت کلروفیل *b* در تمام سطوح شوری در اثر تلقیح با قارچ‌های *P. indica* و *T. virens* بهبود یافت. همچنین، در بیشتر سطوح تنش شوری و تلقیح قارچی نیز محلول‌پاشی اسپرمیدین به‌ویژه غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار آن افزایش معنی‌دار کلروفیل *b* را به‌دنبال داشت. در همین زمینه، Zarea و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که بالابودن میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ اندوفیت می‌تواند به‌علت وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان تلقیح‌شده باشد. همچنین در شرایط تنش تلقیح قارچی با تأثیر بر سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، گونه‌های فعال اکسیژن را جمع‌آوری و از تخریب کلروفیل جلوگیری خواهد کرد (Kapoor *et al*., 2008). از سوی دیگر پلی‌آمین‌ها نقش محافظت از کلروفیل و پروتئین را بر عهده داشته و با کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها سبب ثبات در غشای تیلاکوئید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]



شکل ٤- برهمکنش تنش شوری و قارچ (A)، شوری و اسپرمیدین (B) و قارچ و اسپرمیدین (C) بر غلظت کلروفیل *a* در برگ گیاه استویا. Pi: *P. indica* و Trich: *T. virens*. در هر شکل ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

می‌شوند (نیاکان و همکاران، ١٣٩٤). در این خصوص گزارش شده که محلول‌پاشی پلی‌آمین در گیاه پریوش (*Catharanthus roseus*) موجب بهبود کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئید شد (Talaat *et al.*, 2005).

براساس نتایج جدول ۸، با افزایش سطوح شوری غلظت کلروفیل *a+b* کاهش یافت. شوری با تسریع زوال رنگیزه‌های کلروفیلی (جدول ۷)، کوچکترشدن فضای بین سلولی و کاهش هدایت دی‌اکسید کربن موجب کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود. با این حال در بیشتر سطوح شوری و محلول‌پاشی اسپرمیدین، تلقیح تیمارهای قارچی افزایش غلظت کلروفیل *a+b* را به‌دنبال داشت که بیشترین اثر (حدود ۳۲ درصد) در تنش شوری صفر و اسپرمیدین ۱/۵ میلی‌مولار در شرایط تلقیح قارچ *T. virens* مشاهده شد (جدول ۸). محلول‌پاشی سطوح پلی‌آمین نیز اثر مثبتی بر میزان کلروفیل *a+b* نشان داد که بیشترین اثر افزایشی آن در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار قارچی Pi مشاهده شد که این افزایش در محلول‌پاشی پلی‌آمین ۰/۷۵ میلی‌مولار نسبت به غلظت صفر آن حدود دو برابر بود (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد پلی‌آمین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد با تنظیم تعادلی هورمونی و متابولیسم اسیدهای آمینه نقش مثبتی در توسعه هیف قارچ بر عهده داشته و در گسترش کلونی ریشه قارچ مؤثر هستند (Wu *et al.*, 2010).

غلظت کارتنوئیدها در برگ گیاه استویا در شرایط شوری٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد نسبت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

جدول ۷- تأثیر برهمکنش تنش شوری، قارچ و محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر غلظت کلروفیل *b* در برگ گیاه استویا

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسپرمیدین (میلی‌مولار)	قارچ اندوفیت			
		شاهد	*P. indica* (Pi)	*T. virens* (Trich)	Pi+Trich
۰	۰	۳/۰۵ lm	۳/۵۸ j-m	٤/٤۹ h-m	۸/۸۳ a-c
	۰/۷۵	۵/٤۰ e-k	۷/۳۲ c-f	۵/٤٤ e-k	۱۰/۷٤ a
	۱/۵	٤/۳۷ h-m	۵/۲٦ e-k	۵/۹۵ d-i	۷/۲۷ c-g
٦	۰	۲/٤۸ m	۵/۹۵ d-i	۳/۹۰ h-m	۸/۲٦ b-d
	۰/۷۵	٤/۹۰ h-l	۷/۲۷ c-g	۷/٤٦ c-e	۱۰/۷۰ a
	۱/۵	۳/۸٤ i-m	٤/۹۹ g-l	٦/۲۲ d-h	۱۰/۰۱ ab
۱۲	۰	۲/٤۰ m	۳/۱۵ k-m	۵/۰۲ f-l	۵/٦۹ e-j
	۰/۷۵	۳/۵۵ j-m	۹/۱۳ a-c	٦/۱۱ d-i	۹/۱۵ a-c
	۱/۵	۳/٤۸ j-m	۳/۳۰ k-m	۵/۳۵ e-l	۹/۱۲ a-c

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۸- تأثیر برهمکنش تنش شوری، قارچ اندوفیت و پلی‌آمین اسپرمیدین بر غلظت کلروفیل *a+b* در برگ گیاه استویا

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسپرمیدین (میلی‌مولار)	قارچ اندوفیت			
		شاهد	*P. indica* (Pi)	*T. virens* (Trich)	Pi+Trich
۰	۰	۲۱/٦٤ f-l	۲۳/۷۸ d-j	۲۵/۸۹ a-g	۲۸/۹۵ a-d
	۰/۷۵	۲۸/۵۹ a-d	۳۰/۹۲ a	۲۹/۹۰ a-c	۳۱/۲۰ a
	۱/۵	۲۸/٦۱ a-d	۳۰/۹۰ a	۳۱/٤۱ a	۲۷/۷۰ a-e
٦	۰	۱٦/۹٤ k-m	۲۹/۱۱ a-d	۲۳/۷٦ d-j	۲٦/۳۸ a-f
	۰/۷۵	۲۲/۸۰ e-j	۲۷/۸۹ abcde	۲۷/۰۰ a-f	۲٤/۸۲ b-h
	۱/۵	۱۸/۹٦ i-m	۲٦/۳۵ a-f	۲۲/۰۰ f-k	۲۷/۷۱ a-e
۱۲	۰	۱٦/۱۳ lm	۱٤/۵٦ m	۱۹/۰۱ i-m	۲٤/٤۵ c-i
	۰/۷۵	۱۸/۳۸ j-m	۳۰/۰۵ ab	۲۵/۲۵ b-h	۲۳/۷٤ d-j
	۱/۵	۱۷/۲۳ k-m	۲۰/٦۵ g-l	۱۹/۷۲ h-m	۲٤/۰۳ d-i

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

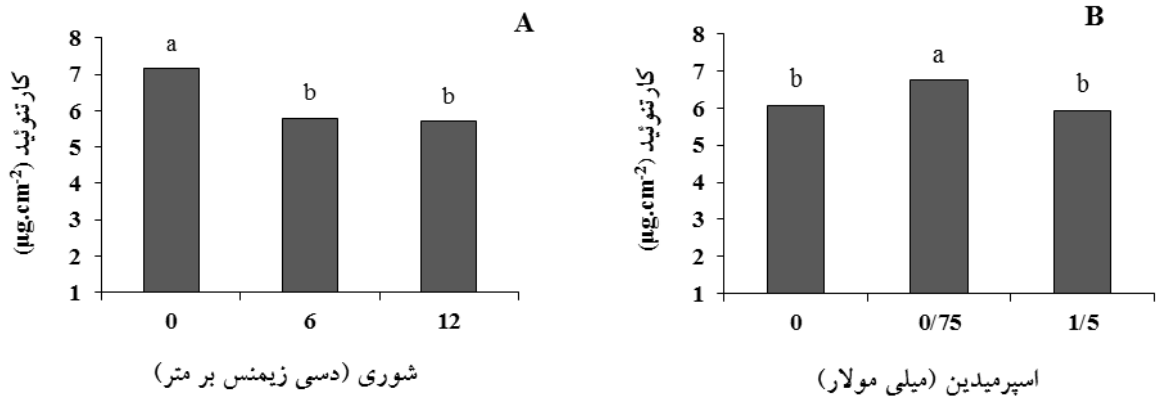
شاهد کاهش یافت (شکل A ۵). با این حال محلول‌پاشی اسپرمیدین تنها در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار منجر به افزایش ده درصدی میزان کارتنوئیدهای برگ شد (شکل B ۵)کارتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه کمکی و حفاظتی در جذب و انتقال انرژی نورانی دریافتی به کلروفیل *a* نقش داشته و قادرند سیستم فتوسنتزی را در شرایط تنش‌های محیطی محافظت کنند (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین به‌نظر می‌رسد افزایش میزان کارتنوئیدها به‌دنبال محلول‌پاشی اسپرمیدین می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت مقابله با تنش شوری باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج نشان داد که تنش شوری باعث آسیب به سیستم فتوسنتزی و رنگیزه‌های کلروفیلی گیاه استویا و در نتیجه تأثیر منفی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگی شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]



شکل ۵- اثر تنش شوری (A) و محلول‌پاشی اسپرمیدین (B) بر کارتنوئید در برگ گیاه استویا. در هر شکل ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

از سوی دیگر کاربرد قارچ‌های اندوفیت به‌ویژه تیمار قارچی همزمان *P. indica* و *T. virens* چه در شرایط مطلوب رشدی و چه در سطوح مختلف شوری پارامترهای فلورسانس کلروفیل و در نتیجه سیستم فتوسنتزی را بهبود داده و اثر تخریبی شوری در گیاه را تعدیل نمود. همچنین پلی‌آمین اسپرمیدین به‌خصوص در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار موجب افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش شوری شد. از سوی دیگر برهمکنش قارچ‌های اندوفیت و پلی‌آمین اسپرمیدین اثر هم افزایی داشته و با تشدید اثرات مثبت یکدیگر باعث بهبود بیشتر برخی از پارامترهای فلورسانس کلروفیل و غلظت کلروفیل در گیاه استویا شد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مساعدت‌های پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فراهم‌نمودن امکانات اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

بهاری ساروی، ح.، پیردشتی، ه. ا. و یعقوبیان، ی. (۱۳۹۶) واکنش پارامترهای فلورسانس کلروفیل و فیزیولوژیک گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد (PGPR) تحت تنش شوری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۶: ۱۰۴-۸۹.

جوادی‌پور، ز.، موحدی‌دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹۲) ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۲: ۳۵-۳۶.

حسنی، ز.، پیردشتی، ه. ا.، یعقوبیان، ی. و نوری، م. ز. (۱۳۹۲) کاربرد تکنیک فلورسانس کلروفیل برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای هوا و آب در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.). مجله سلول و بافت ۵: ۲۰۶-۱۹۵.

ربیعی، ز.، پیردشتی، ه. ا.، راهداری، پ.، حسینی، ج. و یعقوبی، م. (۱۳۹۱) تأثیر باکتری‌های محرک رشد در پارامترهای فلورسانس کلروفیل در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum*) تحت تنش شوری. اولین همایش ملی تنش‌های محیطی، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

رحیمی، ع.، جهان‌بین، ش.، صالحی، ا. و فرجی، ه. (۱۳۹۵) اثر قارچ میکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیک، مقدار ترکیبات فنل و فلورسانس کلروفیل گیاه دارویی گاو زبان تحت تنش خشکی. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی ۱۱: ۵۵-۴۶.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

سپهری، م.، صالح‌راستین، ن.، حسینی‌سالکده، ص. و خیام‌نکویی، م. (۱۳۸۸) بررسی تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو *Hordeum vulgare* L. به تنش شوری. مجله علمی پژوهشی مرتع ۳۳: ۵۱۸-۵۰۸.

صفاری، ر.، مقصودی‌مود، ع. ا. و صفاری و. ر. (۱۳۹۲) اثر تنش شوری بر فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه برخی ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). مجله به زراعی نهال و بذر ۲۹: ۱۳۰-۱۰۹.

عموآقایی، ر. و نیک‌اندیش، ف. (۱۳۹٤) اثر تلقیح ریشه دو رقم یونجه (*Medicago sativa*) با جدایه‌هایی از گونه‌های سینوریزوبیوم و باسیلوس بر رشد، مقدار کلروفیل و تمامیت غشای سلول در شرایط تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۸: ۱۵۲-۱٤۰.

کرمی، ع. و زارع، م. ج. (۱۳۹۳) پاسخ فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاه یونجه (*Medicago sativa. cv hamedani*) در تلقیح باقارچ درون‌زی *Piriformospora indica* و باکتری *Azospirillum Spp* تحت تنش شوری. نشریه تولید گیاهان زراعی ۱: ۱۰۹-۱۲۹.

مؤمن‌پور، ع.، ایمانی، ع.، بخشی، د. و رضایی، ح. (۱۳۹۳) ارزیابی تحمل به شوری در برخی از ژنوتیپ‌های بادام پیوندشده روی پایه GF_{677} براساس صفات موفولوژیک و فلورسانس کلروفیل. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۲۸-۹.

نوری‌آکندی، ز.، پیردشتی، ه. ا.، یعقوبیان، ی. و قاسمی‌عمران، و. ا. (۱۳۹۵) بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا در واکنش به تلقیح قارچ *Piriformospora indica* تحت تنش شوری. مجله به‌زراعی کشاورزی ۳: ٦۵۳-٦۳۹.

نیاکان، م.، رضاپور محجوب، ش. و قربانلی، ل. (۱۳۹٤) اثر پوتریسین بر رشد، فتوسنتز و ترکیبات آلکالوئیدی گیاه دارویی تاتوره. علوم و فنون کشت گلخانه‌ای ٦: ۱۲۲-۱۱۱.

همایونی، ه.، خازایان، و. و سعیدی، م. (۱۳۹۵) تأثیر کم آبیاری بر فلورسانس کلروفیل، خصوصیات رویشی و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت.مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ۳: ۲٤-۱۳.

یزدانی، م.، پیردشتی ه. ا.، تاجیک، م.ع. و بهمنیار، م.ع. (۱۳۸۷) تأثیر تریکودرما (*Trichoderma* spp.) و انواع مختلف کودهای آلی بر رشد و نمو سویا [*Glycine max* (L). Merril]. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۱: ۸۲-٦۵.

یعقوبیان، ی.، پیردشتی، ه. ا.، گل‌تپه، م. ا.، اسفندیاری، ا. و فیضی‌اصل، و. ا. (۱۳۹۱) اثر همزیستی میکوریزایی بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II تحت تنش رطوبتی در گندم. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران.

یعقوبیان، ی.، سیادت، ع. ا.، مرادی تلاوت، م. ر. و پیردشتی، ه. ا. (۱۳۹۵) کمی‌سازی پاسخ رشد رویشی و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) به غلظت کادمیوم در خاک. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی۲: ۱۸۵-۱٦۵.

Andrews, J. R., Fryer, M. J. and Baker, N. R. (1995) Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence. Journal of Experimental Botany 46: 1195-1203.

Baker, N. R. (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. Annual Review of Plant Biology 59: 89-113.

Baker, N. R. and Rosenqvist, E. (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal Experimental of Botany 55: 607-1621.

Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.

Cuevas, C. (2006) Soil inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* Rifai enhances yield of rice. Philippine Journal of Science 135: 31-37.

Dalal, V. K. and Tripathy, B. C. (2012) Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. Plant Cell and Environment 35: 1685-1703.

Feng, G., Li, X. L., Zhang, F. S., Tian, C. Y. and Tang, C. (2002) Improved tolerance of maize plants to salt stress by

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12: 185-190.

Galston, A. W., Kaur-Sawhney, R., Altabella, T. and Tiburcio, A. F. (1997) Plant polyamines in reproductive activity and response to abiotic stress. Botanica Acta 110: 197-207.

Gaohong, W., Lanzhou, C., Zongjie, H., Xiaoyan, L. and Yongding, L. (2011) Effects of salinity stress on the photosynthesis of *Wolffia arrhiza* as probed by the jip test. Journal of Fresenius Environmental Bulletin 20: 432-438.

Genty, B., Briantais, J. M. and Baker, N. R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and photochemical quenching of chlorophyll fluorescence. Biochemistry and Biophysical Acta 990: 87-92.

Gharineh, M. H., Nadian, H., Fathi G., Siadat, A. and Maadi, B. (2009) Role of *arbuscular mycorrhizae* in development of salt-tolerance of *Trifolium alexandrinum* plants under salinity stress. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 432-437.

Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K. G. (2002) VA Mycorrhizal techniques VAM technology in establishment of plants under salinity stress condition. In: Techniques in Mycorrhizal Studies (eds. Mukerji, K. G., Manoracheir, C. and Singh, I.) Pp. 313-327. Kluwer, Dordrecht.

Guimaraes, P. S., Bernini, C. S., Pedroso, F. and Paterniani, M. (2014) Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L.) for water shortage by principal components analysis. Maydica 59: 72-79.

Habibi, S., Mskrbashy, M. and Farzaneh, M. (2014) Effect of three species of mycorrhizal fungi (*Glomus spp*.) on physiological indices of wheat in saline conditions. Plant Products (Scientific Journal of Agriculture) 37: 53-36.

Hermossa, R., Viterbo, A., Chet, I. and Mont, E. (2012) Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. Microbiology 158: 17-25.

Ishima, N. and Katayama, O. (1976) Sensory evaluation of stevioside as a sweetener. Report National Food Research Institute 31: 80-85.

Jamil, M., Bashir, S., Anwar, S., Bibi, S., Bangash, A., Ullah, F. and Shikrha, E. (2012) Effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of different varieties of rice. Pakistan Journal of Botany 44: 7-13.

Jungwook, Y., Kloepper, J. W. and Ryu, C. M. (2009) Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science 14: 1-4.

Kaefer, E. (1977) Meiotic and mitotic recombination in *Aspergillus* and its chromosomal aberrations. Advances in Genetics. 19: 33-131.

Kapoor, R., Sharma, D. and Bhatnagar, A. K. (2008) *Arbuscular mycorrhizae* in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulture 116: 227-239.

Klughammer, Ch. and Schreiber, U. (2008) Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the saturation pulse method. PAM Application Notes 1: 27-35.

Kumari, R., Kishan, H., Bhoon, Y. K. and Varma, A. (2003) Colonization of cruciferous plants by *Piriformospora indica*. Current Science 85: 1672-1674.

Lazar, D. (1999) Chlorophyll *a* fluorescence induction. Biochimica et Biophysica Acta 1412: 1-28.

Lee, M. H., Lee, S. H. and Park, K. Y. (1997) Effects of spermine on ethylene biosynthesis in cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers during senescence. Journal of Plant Physiology 151: 68-73.

Li, G. M., Liu, B. B., Wu, Y. and Zou, Z. R. (2008) Interactive effects of drought stresses and elevated CO_2 concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings. Journal Integrative Plant Biology 50: 1307-1317.

Li, G., Wan, S. W., Zhou, J., Yang, Z. Y. and Qin, P. (2010) Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. Industrial Cropsand Products 31: 13-19.

Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. (2001) Chlorophylls and carotenoids measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry P. F4.3.1-F4.3.8.

Ma, B. L., Morison, M. J. and Videng, H. D. (1995) Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. Crop Science 35: 1411-141.

Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2005) Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659-668.

Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. (2010) Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry 48: 16-20.

Mitra, A. and Banerjee, K. (2010) Pigments of Heritiera fomes seedlings under different salinity conditions: perspective sea level rise, Mesopot. African Journal of Marine Science 25: 1-10.

Ort, D. R. and Baker, N. R. (2002) A photoprotective role for O_2 as an alternative electron sink in photosynthesis. Current Opinion in Plant Biology 5: 193-198.

Porcar-Castell, A., Tyystjarvi, E., Atherton, J., Vander Tol, C., Flexas, J., Pfundel, E. E., Moreno, J., Frankenberg, C. and Berry, J. A. (2014) Linking chlorophyll a fluorescence to phosynthesis for remote sensing application:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

mechanisms and challenges. Journal of Experimental Botany 65: 4065-95.
Rai, M. and Varma, A. (2005) Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica*. Electronic Journal of Biotechnology 8: 107-111.
Rasheed, R., Ashraf, M. A., Parveen, S., Iqbal, M. and Iqbal, H. (2014) Effect of salt stress on different growth and biochemical attributes in two canolla (*Brassica napus* L.) cultivars commun. Soil Science and Plant Analytical 45: 669-679
Ruiz-Sanchez, M., Aremada, E., Munoz, Y. and Aroca, R. (2011) *Azospirillum* and *arbuscular* mycorrhizal colonization enhanced rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. Journal of Plant Physiology 168: 1031-1037.
Sadeak, S. M. I., Bonik, J., Zaman, A. U., Azam, F. M. S., Chowdhury, M. H. and Rahmatullah, M. (2009) Effect of auxins for morphogenic response on varied explants of *Stevia rebaudiana* Bertoni, an alternative sweetener plant. American Eurasian Journal Sustainable Agriculture 3: 749-754.
Shao, H. B., Chu, L. Y. and Jaleel, C. A. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies 331: 215-25.
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.
Singh, S. P., Singh, B. B., Maharaji, S. and Singh, M. (1994) Effect of kinetin on chlorophyll, nitrogen and proline in *Vigna radiata* under saline condition. Indian Journal of Plant Physiology 37: 37-47.
Stefanov, D. and Terashima, I. (2008) Non-photochemical loss in PSII in high- and low-light-grown leaves of *Vicia faba* quantified by several fluorescence parameters including LNP, F0/Fm, a novel parameter. Physiologia Plantarum 133:327-338.
Sun, Y. M., Horng, C. Y., Chang, F. L., Cheng, L. C. and Tian, W. X. (2010) Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by *Aspergillus tereuss* immobilized in a natural matrix. Polish Journal of Microbiology 59: 37-44.
Talaat, I. M., Bekheta, M. A. and Mahgoub, M. H. (2005) Physiological response of periwinkle plants (*Catharanthus roseus* L.) to trypophan and putrescine. International Journal of Agricultural and Biological 7: 210-213.
Toumadse, A. and Richardson, D. G. (1988) Endogenouse polymine concentrations during development, storage and ripening of pear fruits. Phytochemistry 27: 335-338.
Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Hartmann, A. and Oelmueller, R. (2012) *Piriformospora indica*: A novel plant growth-promoting Mycorrhizal fungus. Journal of Agricultural Research 1: 117-131.
Varma, A., Verma, S., Sudha Sahay, N. S., Butehorn, B. and Franken, P. (1999) *Piriformospora indica*, a cultivable plant growth promoting root endophyte. Applied and Environmental Microbiology 65: 2741-4.
Viterbo, A. and Horwitz, B. A. (2010) Mycoparasitism. In Cellular and Molecular Biology of Filamentous Fungi (eds. Borkovich, K. A. and Ebbole, D. J.) Pp. 676-693. American Society for Microbiology, Washington.
Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C., Wettstein, D., Franken, P. and Kogel, K. (2005) The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proceedings of de National Academy of Sciences 103: 18450-18457.
Wu, Q., Peng, Y. H., Zou, Y. N. and Liu, C. Y. (2010) Exogenous polyamines affect mycorrhizal development of *Glomus mosseae*-colonized citrus (*Citrus tangerine*) seedlings. Science Asia 36: 254-258.
Xin,W. X., Hai, L. X., Yan, L. W., Xiao, J. W., Yong, Z. Q. and Bo, X. (2008) The effect of salt stress on the chlorophyll level of the main sand-binding plants in the shelterbelt along the Tarim Desert Highway. Journal of Chinese Science Bulletin 53: 109-111.
Yaghoubian, Y., Goltapeh, E. M., Pirdashti, H., Esfandiari, E., Feiziasl, V., Dolatabadi, H. K., Varma, A. and Hassim, M. H. (2014) Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. Agricultural Research 3: 239-245.
Yaghoubian, Y., Siadat, S. A., Moradi Telavat, M. R. and Pirdashti, H. (2016) Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil. Russian Journal of Plant Physiology 63: 1-8.
Yaman, K., Kawasaki, M., Taniguchi, M. and Miyake, H. (2008) Correlation between chloroplast ultrastracture and chlorophyll fluorescence characteristics in the leaves of rice (*Oryza sativa* L.) grown under salinity. Plant Production Science 11: 139-145.
Zarea, M. J., Hajinia, S., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Rejali, F. and Varma, A. (2012) Effect of *Piriformospora indica* and Azospirillum strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biology and Biochemistry 45: 139-146.
Zhu, X. C., Song, F. B. and Liu, S. Q. (2012) *Arbuscular mycorrhiza* improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. Plant, Soil and Environment 58: 186-191.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

The effects of endophyte symbiosis and spermidine foliar application on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) medicinal plant under salinity conditions

Hadiseh Bahari Saravi[1], Ahmad Gholami[2], Hemmatollah Pirdashti[3], Mehdi Baradaran Firouzabadi [2], Hamidreza Asghari[2]

[1] Agronomy Department, Shahrood University of Technology. Shahrood, Iran
[2] Agronomy Department, Shahrood University of Technology. Shahrood, Iran
[3] Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(Received: 06/06/2017, Accepted: 15/01/2018)

Abstract
To evaluate the effects of endophyte symbiosis and spraying of spermidine on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) medicinal plant under salt stress conditions, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replicates. The treatments consisted of salinity in three levels (0, 6 and 12 $dS.m^{-1}$), fungal symbiosis treatments including four levels: non-inoculated (control), inoculation with *Piriformospora indica* (Pi), at *Trichoderma virens* (Trich) and co-inoculation of two fungi (Pi+Trich) and spraying of spermidine in three levels (0, 0.75 and 1.5 mM). Seedlings of stevia after inoculation with fungi were irrigated with tap water until the end of vegetative stage and then irrigated with saline water treatments containing mixture of distilled and Caspian Sea water. The spermidine was foliarly sprayed one week before salinity stress. The results showed that the inoculation of endophyte fungi had a positive effect on Fm, Fv and Fv/Fm. The most increase of these parameters recorded when two fungi (Pi+Trich) were coinoculated. Also, fungi inoculation increased Y(II) while decreased Y(NPQ) and Y(NO) at different salinity levels. Fungal inoculation particularly Pi+Trich and spermidine application with 0.75 mM markedly increased Fm, Fv and Fv/Fm. Also, in all levels of salt stress inoculation with fungi as well as interaction of fungi and spermidine increased chlorophyll *a* content. In general, inoculation of endophytic fungi particularly co-inoculation of *P. indica* and *T. virens*, improved the chlorophyll fluorescence parameters and adjusted adverse effects of salinity. Also, the spermidine (especially at the rate of 0.75 mM) induced salt stress tolerance in stevia plant and showed synergetic effects with endophytic fungi in terms of the mentioned parameters.

Keywords: Chlorophyll *a*, endophytic fungi, polyamine, quantum yield, salinity

Corresponding author, Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.1.1]