

بررسی تاثیر کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.)

رمضانعلی خاوری نژاد^۱، فرزانه نجفی^۲، فرزانه آسمانی*^۳

^۱ استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران

^۲ استادیار دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران

^۳ کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۷

چکیده

در این تحقیق اثر متقابل کلرور آلومینیوم (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و ایندول استیک اسید (۰، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار) بر روی برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. گیاهک‌های شش روزه به گلدان‌های حاوی پرلیت در شرایط کنترل شده (۱۶ ساعت روشنایی / ۸ ساعت تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب) انتقال یافتند. گیاهان پانزده روزه با غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید به مدت ۲۰ روز تیمار شدند. گیاهان در شرایط کنترل شده رشد کرده و بعد از بیست روز تیماردهی جهت سنجش‌های فیزیولوژیکی برداشت شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که گیاه گوجه فرنگی مقاومت کمی به تنش کلرور آلومینیوم داشت. کلرور آلومینیوم باعث کاهش شاخص‌های رشد از جمله ماده سازی خالص، میزان رشد نسبی، میزان رشد نسبی برگ و میزان آب در واحد سطح برگ شد اما میزان سطح ویژه برگ افزایش معنی‌داری را نشان داد. افزایش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید موجب کاهش میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاه گوجه فرنگی شد. همچنین با اضافه شدن ایندول استیک اسید به محیط کشت تحت تیمار آلومینیوم، میزان کلروفیل برگ‌ها نسبت به تیمار کلرور آلومینیوم به تنهایی افزایش یافت.

واژگان کلیدی: آلومینیوم، ایندول استیک اسید، رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص‌های رشد، گوجه‌فرنگی.

مقدمه

رنگیزه‌ها و آنزیم‌ها نقش مهمی دارند، بنابراین تشکیل رنگیزه‌ها دچار اختلال می‌شود (Ghosh and Singh, 2005).

تقریباً ۴۰ درصد زمین‌های قابل کشت جهان دارای خاک‌های اسیدی می‌باشند. آلومینیوم در خاک‌های اسیدی به صورت کاتیون Al^{3+} در می‌آید که قابل جذب برای گیاهان می‌باشد. این عنصر سمی می‌تواند تعدادی از ساختارهای برون و درون سلولی و همچنین فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهد (Ermolayev et al., 2003).

اگر چه فلزات سنگین برای گیاهان لازم و ضروری می‌باشند اما غلظت‌های بالای این فلزات برای گیاهان سمی است زیرا باعث تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شوند. از اثرات زیان بار این تنش در گیاهان ایجاد رادیکال‌های آزاد می‌باشد. در غلظت‌های بالای این فلزات، جانمایی آنها با فلزات ضروری رخ می‌دهد و از آنجایی که فلزات ضروری در تشکیل

*نویسنده مسئول: f.asemani135@gmail.com

منجر به کاهش در انتقال اکسین به طرف پایین در گیاه می‌شود (Kollmeier et al., 2000) که این امر را از طریق تأثیر بر ناقلان ایندول استیک اسید انجام می‌دهد (Pangnussat et al., 2003). Al^{3+} ممکن است سیستم انتقال ایندول استیک اسید را هدف قرار دهد که منجر به تغییر در تجمع ایندول استیک اسید و توزیع آن در ریشه‌ها می‌شود (Shen et al., 2008; Doncheva et al., 2005).

گوجه فرنگی یکی از محصولات مهم سبزی و صیفی است و میزان کاشت آن در سال‌های مختلف همواره رو به افزایش است، ولی متوسط عملکرد آن از افزایش چندانی برخوردار نبوده است. با توجه به شناخت غلظت‌های سمی آلومینیوم و همچنین تأثیر ایندول استیک اسید بر رشد سریع‌تر گیاه و آثار آن بر روی برخی از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی نتایج حاصل از تحقیق می‌تواند در پرورش هر چه بهتر این گیاه در برخی از مناطق کشور که دارای خاک غنی از آلومینیوم هستند و همچنین بهبود کیفیت خاک کشاورزی در به‌عمل آوردن محصول بهتر در شرکت‌های کشت و صنعت، گلخانه‌ها و مزارع کشاورزی و باغداری‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تهیه بذر، سترون کردن و آماده‌سازی گیاهک‌ها: تعداد ۵۰۰ عدد بذر یکنواخت و همگن گوجه فرنگی وارسته Peto early ch. انتخاب و جهت ضدعفونی با هیپوکلریت ۱ درصد ضدعفونی شدند. سپس بذرها چندین بار با آب مقطر استریل آبکشی و به پتری‌دیش‌های استریل منتقل شدند. درون هر پتری ۱۰ بذر با فواصل مناسب چیده شد و در هر پتری‌دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر استریل ریخته شد. در پتری‌دیش‌ها و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

مهار فعالیت H^+ -ATPase در غشای پلاسمایی سلول‌های نوک ریشه (Mossor-Pietras Zewaska et al., 1997)، تغییرات سطح و ترکیب لیپید غشای پلاسمایی (Horst and Eticha, 2010)، افزایش تنش اکسیداتیو (Bhuja et al., 2004) با تشکیل تجمع کالوز (Ahn et al., 2002)، اختلال در پویایی اسکلت سلولی، تعامل با کالمودولین (Fangjie et al., 2010; Panda et al., 2003) از نشانه‌های سمیت آلومینیوم در ریشه‌ها هستند. در اندام هوایی می‌توان به تغییرات سلولی و فراساختاری در برگ‌ها، کاهش منافذ روزنه‌ای، کاهش فعالیت فتوسنتزی که منجر به کلروزیس و نکروزیس شدن برگ‌ها می‌شود اشاره کرد (Williams et al., 2000).

ایندول استیک اسید یک هورمون کلیدی در اغلب گیاهان و مورد نیاز برای رشد گیاهان است (Woodward and Bartel, 2005). ایندول استیک اسید به مقدار زیاد در بافت‌های جوان و رأس ساقه‌ها، جوانه‌ها و میوه‌های جوان یافت می‌شود (Srivastava, 2001).

در گیاه آرابیدوپسیس اغلب اولین نشانه ظاهری سمیت Al^{3+} جلوگیری از رشد ریشه است (Sun et al., 2010). بررسی‌ها نشان دادند که رأس ریشه حساس به Al^{3+} می‌باشد. Kollmeier و همکاران در سال ۲۰۰۰ شواهدی را ارائه دادند که در گیاه ذرت. حساسیت کمتر منطقه مریستمی به Al^{3+} به دلیل محافظت منطقه مریستمی به واسطه موسیلاژ کلاهک ریشه است که احتمالاً نقش حفاظتی دارد. همچنین کاربرد ایندول استیک اسید فقط در منطقه طویل شدن باعث مهار رشد ریشه که تحت تاثیر Al^{3+} است می‌شود.

مسیر پیام‌رسانی، رابط پیام Al^{3+} بین منطقه تمایز و منطقه طویل شدن می‌باشد کاربرد Al^{3+} و بازدارنده‌های انتقال اکسین مثل نفتیل فتالامیک اسید در منطقه تمایز

خالص^۱، میزان رشد نسبی^۲، میزان رشد نسبی برگ^۳ محتوای آب در واحد سطح برگ^۴ و سطح ویژگی برگی^۵ با استفاده از روش Rodriguez (۲۰۰۹) صورت گرفت (خاوری نژاد، ۱۳۷۸).

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: محاسبه غلظت کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها در برگهای گیاه با استفاده از روش Lichtenthaler (1987) انجام شد. براساس این روش ۰/۰۵ گرم از بافت تر برگ وزن شده و رنگیزه‌ها با استون ۸۰ درصد استخراج شد، پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن شماره ۲، جذب در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۶۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل UV-120-02 خوانده و مقدار کلروفیل‌های a، b و a+b و کاروتنوئیدها با استفاده از معادلات مربوطه بر حسب گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تکرار و ۱۲ تیمار از کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید انجام پذیرفت. نتایج حاصل از آزمایش با نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

بعد از اعمال یک دوره سه هفته‌ای از تیمارهای کلرور آلومینیوم، ایندول استیک اسید و برهم‌کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید، گیاهان پاسخ‌های متفاوتی را از خود نشان دادند، از جمله موارد زیر که به آنها اشاره می‌شود:

پتری دیش‌ها داخل ورق آلومینیومی پیچیده شدند تا در معرض روشنائی قرار نگیرند. زمانی که بذرهاي گوجه فرنگی شروع به جوانه زدن کردند از ورق آلومینیوم خارج و به روشنائی منتقل شدند (Khavari Nejad, 1986).

تیماردهی و روش کشت: گیاهک‌های شش روزه به گلدان‌های حاوی پرلیت منتقل شدند و تا مرحله سه برگگی توسط محلول هوگلند آبیاری گشتند و پس از آن تحت تیمارهای مختلف کلرور آلومینیوم در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و ایندول استیک اسید در سه سطح (۰، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار) و برهم‌کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید قرار گرفتند. کلیه گیاهان در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز (روشنائی) و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب (تاریکی) و ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی رشد یافتند و هفته‌ای سه بار گلدان‌ها با محلول غذایی مورد نظر آبیاری شدند. روشنائی مورد نیاز هم با استفاده از لامپ تنگستن و فلورسانت تامین شد، شدت روشنائی مورد استفاده ۱۲۰۰۰ میکرومول در متر مربع در ثانیه بود. برای کم کردن اثرات محیطی، جابه‌جایی تصادفی گلدان‌ها در طول دوره رشد انجام گرفت (Khavari Nejad, 1986).

اندازه‌گیری پارامترهای رشد: جهت سنجش کمی رشد در گیاهان کشت شده تحت تیمار کلرور آلومینیوم، ایندول استیک اسید و برهم‌کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید و نمونه شاهد از پارامترهای رشد استفاده شد که استفاده از پارامترهای فوق مستلزم اندازه‌گیری وزن تر برگ، ساقه و ریشه، سطح برگ و وزن خشک نمونه‌ها بود. پس از اینکه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند وزن خشک اندام‌های مختلف اندازه‌گیری گردید (Evans and Hughes, 1962). بررسی پارامترهای رشد از قبیل میزان ماده سازی

- 1-NAR (Net Assimilation Rate)
- 2- RGR (Relative Growth Rate)
- 3- RLGR (Relative Leaf Growth Rate)
- 4- LWCA (Leaf Water Content Area)
- 5- SLA (Specific Leaf Area)

برهم کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید این پارامترها را اندکی تعدیل کرد. بر اساس جدول آنالیز واریانس (جدول ۱) داده‌های حاصل از اثر متقابل کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید نشان داده شده است (جدول ۱).

علائم سمیت آلومینیوم از جمله کلروز و تشکیل لکه‌های زرد رنگ در تیمارهای غلظت بالا ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرو مولار مشاهده شد. وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد در غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرو مولار کاهش نشان داد. البته

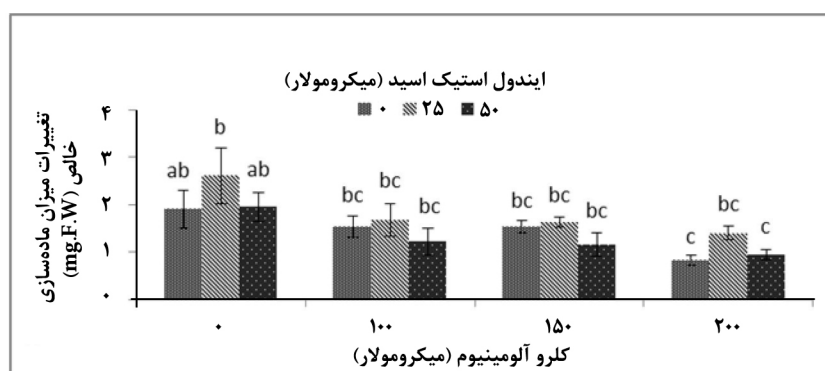
جدول ۱. واریانس داده‌های حاصل از اثر متقابل کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید

منابع تغییرات	F	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (S.S)	میانگین مربعات (M.S)
میزان ماده سازی خالص	۲/۳۸**	۶	۶/۳۰	۱/۰۵
میزان رشد نسبی	۳/۹۶**	۶	۳۲۶۲/۲۹	۵۳۴/۷۱
میزان رشد نسبی برگ	۱/۱۱ns	۶	۱۰۵۸۴۰۵/۹۲	۱۷۶۴۰۰/۹۸
محتوای آب در واحد سطح برگ	۲/۰۶ns	۶	۱۵۴۴/۳۶	۲۵۷/۳۹
سطح ویژگی برگ	۲/۶۹*	۶	۷۵۱۱/۲۱	۱۲۵۱/۸۵
کلروفیل a	۲/۹۴*	۶	۴/۲۸	۰/۷۱
کلروفیل b	۲/۵۶*	۶	۱/۰۶	۰/۱۷
کلروفیل (a+b)	۲/۰۹ns	۶	۵/۹۴	۰/۹۹
کاروتنوئید	۴/۰۲**	۶	۰/۲۱	۰/۰۳

ns معنی دار نیست. * در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار است. ** در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار است. *** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار است.

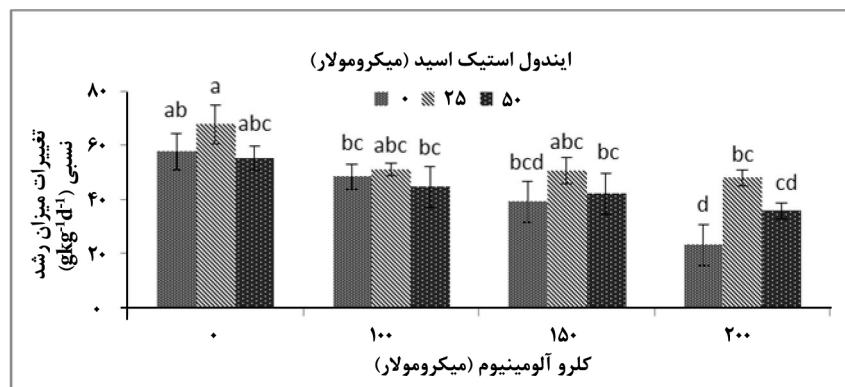
کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید باعث افزایش میزان ماده سازی خالص نسبت به کلرور آلومینیوم به تنهایی شد (شکل ۱).

نتایج مربوط به آنالیز رشد: میزان ماده سازی خالص با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم کاهش یافت ولی تحت غلظت ایندول استیک اسید میزان ماده‌سازی خالص افزایش پیدا کرد و برهم کنش



شکل ۱. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر میزان ماده‌سازی خالص حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

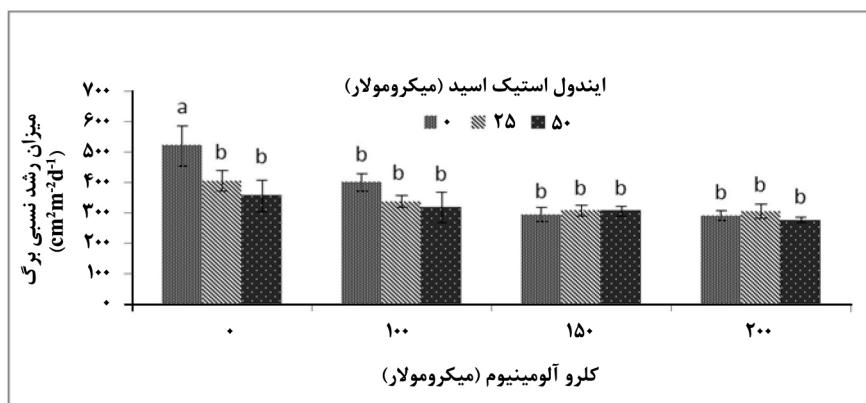
با افزایش کلرور آلومینیوم میزان رشد نسبی کاهش معنی‌دار نشان داد. میزان رشد نسبی تحت تیمار ایندول استیک اسید افزایش نشان داد. اما در تیمار تلفیقی کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید افزایش میزان رشد نسبی نسبت به تیمار کلرور آلومینیوم به تنهایی مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر میزان رشد نسبی. حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

میزان رشد نسبی برگ با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان نداد ولی غلظت‌های متفاوت ایندول استیک اسید نسبت به تیمار و همچنین در برهم کنش کلرور

آلومینیوم و ایندول استیک اسید نسبت به کلرور آلومینیوم به تنهایی افزایش نشان داد که این افزایش معنی‌دار نبود (شکل ۳).

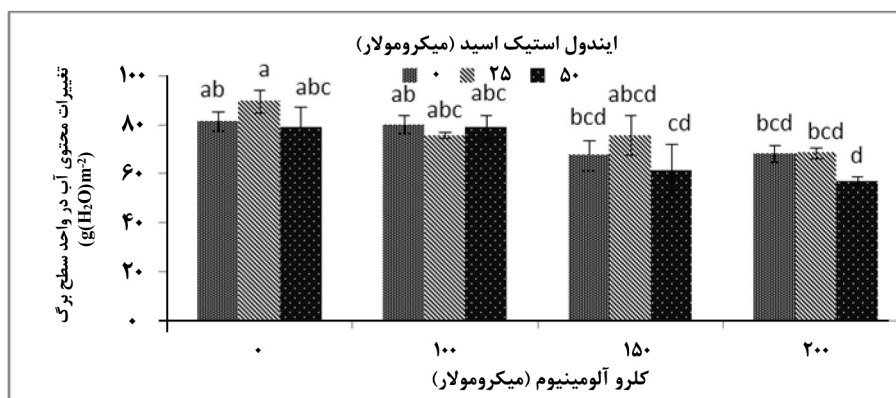


شکل ۳. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر میزان رشد نسبی برگ. حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

میزان محتوای آب در واحد سطح برگ در گیاه گوجه فرنگی با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($P \leq 0.05$). در گیاهان تیمار شده با ایندول استیک اسید نسبت به

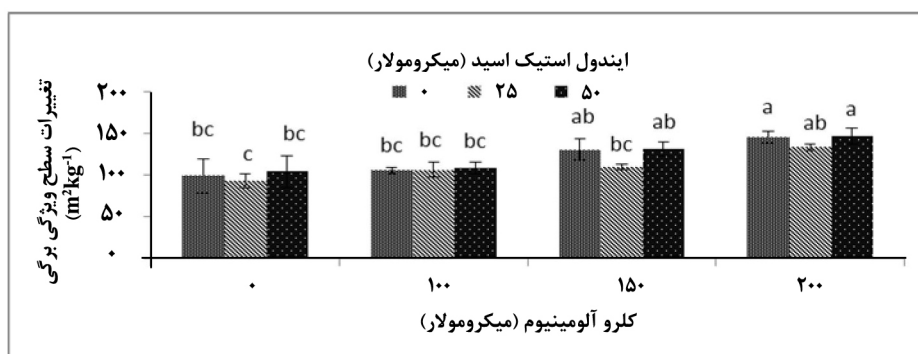
شاهد افزایش میزان محتوای آب در واحد سطح برگ مشاهده شد که از نظر آماری معنی‌دار نبود. اثرات متقابل دو عامل مورد بررسی نیز نشان داد که افزایش محتوای آب در واحد سطح برگ در غلظت ۱۵۰

میکرومولار کلرور آلومینیوم و ۲۵ میکرو مولار ایندول استیک اسید مشاهده شد و در بر همکنش غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار آلومینیوم و ۲۵ و ۵۰ ایندول استیک اسید با یکدیگر کاهش میزان محتوای آب در واحد سطح برگ به نسبت به کلرور آلومینیوم به تنهایی حاصل شد (شکل ۴).



شکل ۴. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر محتوای آب در واحد سطح برگ حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

میزان سطح ویژگی برگ با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید نسبت به شاهد افزایش یافت و اثر برهم‌کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر میزان سطح ویژگی برگی نسبت به کلرور آلومینیوم به تنهایی افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۵).



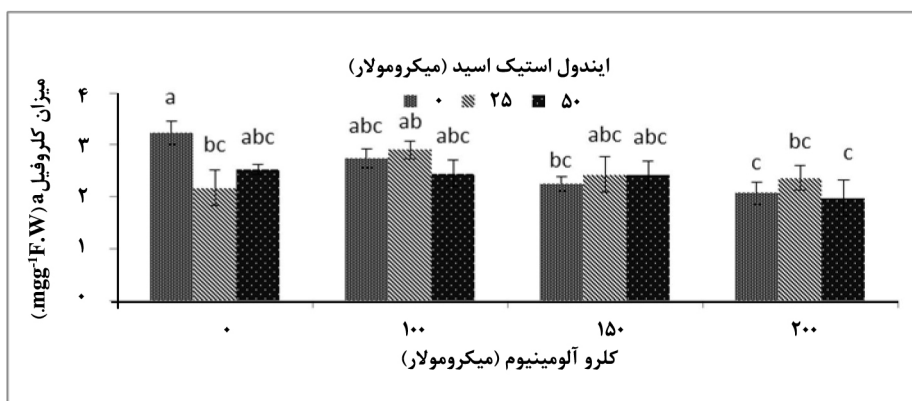
شکل ۵. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر سطح ویژگی برگی حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

نتایج مربوط به آنالیز رنگی‌های فتوسنتزی: با اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌های a و b تقریباً می‌توان گفت در همه نمونه‌ها غلظت کلروفیل a سه برابر غلظت کلروفیل b بود. کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید به تنهایی موجب کاهش کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ‌ها گردید. در

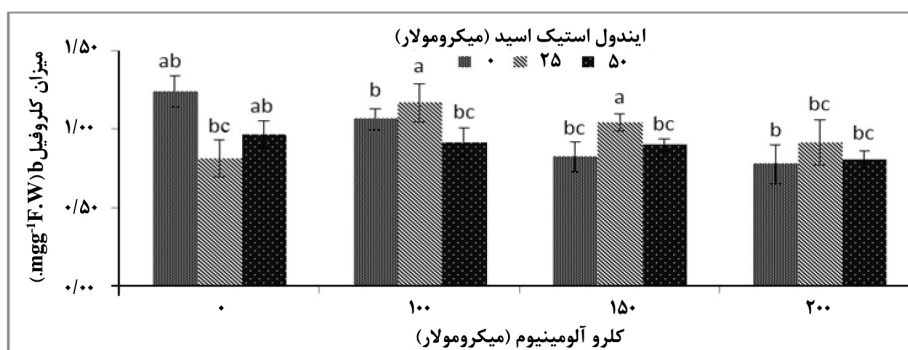
غلظت‌های پایین تر کلرور آلومینیوم ۱۰۰ میکرومولار کاهش مقدار کلروفیل نسبت به تیمار شاهد کمتر بوده ولی در غلظت بالاتر ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار میزان کاهش بیشتر شد. در حضور ایندول استیک اسید به همراه کلرور آلومینیوم، میزان کلروفیل‌ها نسبت به تیمار کلرور آلومینیوم افزایش نشان داد که از نظر

استیک اسید ۲۵ و ۵۰ میکرومولار به همراه کلرور آلومینیوم ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار، کاهش میزان کاروتنوئیدها تغییراتی را نسبت به تیمار آلومینیوم نشان داد که از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۶، ۷، ۸ و ۹).

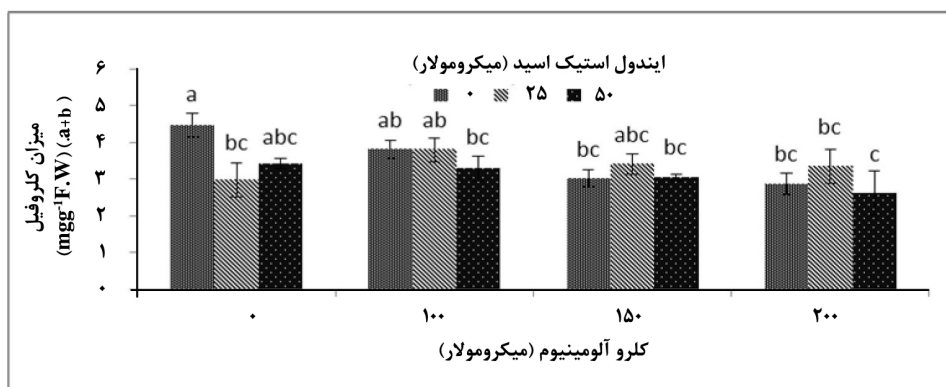
آماري معنی‌دار نبود. با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم، کاهش کاروتنوئیدها مشاهده گردید. در سطوح مختلف ایندول استیک اسید، کاهش کاروتنوئیدها نسبت به شاهد مشاهده شد ولی با این حال از نظر آماری معنی‌دار بود. در حضور ایندول



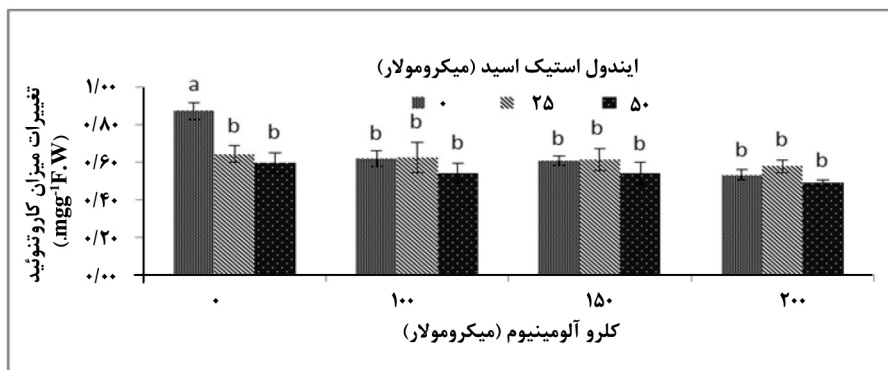
شکل ۶. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر کلروفیل a حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۷. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر کلروفیل b حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۸. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر کلروفیل (a+b) حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۹. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر کاروتنوئیدها
حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

بحث

تاثیر بر هم کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر شاخص‌های رشد: عناصر سنگین از جمله آلومینیوم موجب کاهش رشد گیاه می‌شود. رشد و میزان جذب CO_2 به وسیله Al^{3+} تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Jiang et al., 2008) به طوری که کاهش سطح برگ و ظرفیت همگون‌سازی CO_2 باعث کاهش رشد و وزن خشک گیاه می‌شود (Singh and Agrawal, 2010) سنتز کالوز شاخص قوی سمیت Al^{3+} می‌باشد (Bhuja et al., 2004). اتصال Al^{3+} به دیواره سبب تغییر پتانسیل غشا می‌شود که بدنبال آن فعال‌سازی یک سری کانال‌های کلسیمی صورت گرفته و بدنبال افزایش Ca^{2+} سیتوپلاسمی دو عمل تخریبی در سلول یعنی تشکیل کالوز و از هم گسیختگی اسکلت سلولی مشاهده می‌شود (Rengel and Zhang, 2003). تشکیل کالوز القا شده بوسیله Al^{3+} در نوک ریشه‌ها ارتباط مستقیمی با مهار رشد ریشه دارد (Bhuja et al., 2004).

تعدادی از محققین نشان دادند در گیاه برنج میزان رشد نسبی برگ با افزایش آلومینیوم کاهش نشان داد که با توجه به مسائلی که ارائه شد این کاهش طبیعی می‌باشد. میزان رشد نسبی و میزان ماده سازی خالص تغییراتی مشابه با میزان رشد نسبی برگ داشت.

همبستگی زیادی بین میزان رشد نسبی میزان ماده سازی خالص وجود داشت که نشان‌دهنده رابطه مستقیم میان میزان رشد و همگون‌سازی و فتوسنتز است (Singh and Agrawal 2009; Vassilev et al., 2002).

میزان ماده‌سازی خالص بیانگر تعادل میان فتوسنتز و تنفس است و Al^{3+} ممکن است از طریق هردو یا یکی از این عوامل موجب کاهش آن گردد. علت کاهش میزان ماده‌سازی خالص در گیاه به‌طور عمده مربوط به کاهش فتوسنتز می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر بیانگر تاثیر فتوسنتز بر روی رشد و میزان ماده سازی خالص می‌باشد. همچنین در این تحقیق سطح ویژگی برگی در اثر تنش Al^{3+} افزایش یافت.

محتوای آب در واحد سطح برگ تحت تنش Al^{3+} کاهش یافت و این نشان دهنده آن است که گیاه قادر به جذب آب به حد کافی و حفظ آن در حد بهینه حتی با بسته شدن روزنه‌ها و کم شدن تعرق نبوده است (Zhang et al., 2007) و ثابت شد که این عنصر، کانال‌های پتاسیم را در تارهای کشنده و سلولهای محافظ روزنه مهار می‌کند (Larsen et al., 1998). اما در تحقیقات بعدی کاهش فتوسنتز از طریق تنش Al^{3+} به غیرفعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های کلروپلاست مانند ریبولوز ۱۵۰ بیس فسفات کربوکسیلاز-اکسیژناز

Pereira et al., 2006; Zengin and Munzuroglu,)
(2005).

Al^{3+} علاوه بر منع جذبی یون منیزیم، جذب یون آهن را هم کاهش می‌دهد که برای بیوستتزر کلروفیل ضروری می‌باشد (Haider et al., 2007)

کاهش رنگیزه‌ها (کاروتنوئیدها) را می‌توان به تخریب کلروپلاست‌ها و یا به هم‌ریختگی تیلکوئیدها نسبت داد (Macfarland and Burchett, 2001; Kuno,) (1984). همچنین در این تحقیق با افزایش غلظت ایندول استیک اسید، مقدار کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل (a+b) در گیاه آفتابگردان کاهش نشان داد که علت آن به تخریب غشای کلروپلاست نسبت داده شده است (Goren and Cag, 2007).

قوی‌ترین اثر منع‌کنندگی ایندول استیک اسید بر کلروفیل‌ها از طریق بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها است. گزانتوفیل از اکسیداسیون کاروتن‌ها ایجاد می‌شود (Czerpak et al., 2002) و با اتصال به پروتئین‌های جمع‌کننده نور که در ارتباط نزدیک با مولکول‌های کلروفیل قرار گرفته‌اند می‌توانند نقش موثری در خاموش سازی پروتئین‌های جمع‌کننده نور داشته باشند. در تیمار فاقد آلومینیوم و دارای ایندول استیک اسید، افزایش مقدار کاروتنوئیدها در نمونه شاهد صورت نگرفت. شاید بهبود نسبی فتوستتزر در تیمارهای برهم‌کنش به علت نقش حفاظتی این رنگیزه‌ها در حفاظت از دستگاه فتوستتتری باشد (Dimascio et al., 1990).

فتوستتزر نقش مهمی را در تولید سیترات بازی می‌کند که یک مکانیسم تحمل آلومینیوم در گیاه گوجه فرنگی است (Yang et al., 2001). ایندول استیک اسید سنتز اتیلن را از طریق القای آنزیم ACC سنتز القا می‌کند و از علائم ظاهری تأثیر اتیلن می‌توان به کاهش اندازه برگ، از دست دادن کلروفیل‌ها و بی‌رنگ شدن برگ‌ها اشاره نمود که از

فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفاتاز و آلدولاز ارتباط داده شد (Zhang et al., 2007) که ممکن است از طریق تنش اکسیداتیو حاصل شود. تنش اکسیداتیو می‌تواند موجب پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه جراحی غشاء، تجزیه پروتئین و غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها شود (Meriga et al., 2004).

ایندول استیک اسید اثرات مضر Al^{3+} (یون آلومینیوم) را اندکی تعدیل می‌دهد که موجب اندکی افزایش در این شاخص‌ها نسبت به تیمار Al^{3+} به تنهایی می‌شود. در این آزمایش ایندول استیک اسید به طور اندکی، کاهش فتوستتزر را در گیاه *Galium aparine* L. سبب شد (Grossmann et al., 2001).

Al^{3+} فعالیت ایندول استیک اسید-اکسیداز را افزایش می‌دهد (Abdalla, 2008) و از طریق کاهش در بیوستتزر فاکتورهای رشد (Massot et al., 2002) یا جلوگیری از انتقال آنها از مریستم ریشه به ناحیه طویل شدن موجب کاهش رشد می‌شود (Barcelo and Poschenrieder, 2002). به همین دلیل در تیمار برهم‌کنش با افزایش ایندول استیک اسید تا حدودی کاهش رشد جبران می‌شود.

تأثیر برهم‌کنش کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر محتوای رنگیزه‌های فتوستتتری: در پژوهش حاضر افزایش غلظت آلومینیوم در محیط کشت، مقدار کلروفیل‌های a و b و کل (a+b) را به طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج مشابهی در ارتباط با کاهش میزان کلروفیل (Radic et al., 2010; Zhang et al., 2007) و کاهش کاروتنوئید در گیاه *Lemna minor* L. گزارش شده است که با نتایج ما در این تحقیق مطابقت دارد.

Al^{3+} بسیاری از آنزیم‌های کلروپلاست را غیرفعال می‌کند. Al^{3+} با Mg^{2+} در اتصال به جایگاه فعال آنزیم دلتا آمینولولونیک اسید دهیدروژناز که مسئول سنتز رنگیزه است، رقابت دارد و سنتز کلروفیل را مختل می‌کند و در نتیجه کاهش فتوستتزر را به دنبال دارد

- growing on media of various trophicities. Polish Journal Environmental Studies, No.3. 231-235.
- Dimascio, P., Menck, C.F.M., Nigro, R.G., Sarasin, A. and Sies, H. (1990).** Singlet molecular oxygen induced mutagenicity in a mammalian SV40- based vector. Photochemical and Photobiology. 51: 293-298.
- Doncheva, S., Amenos, M., Poschenrieder, C. and Barcelo, J. (2005).** Root cell patterning: a primary target for aluminum toxicity in maize. Journal of Experimental Botany. 56:1213-1220.
- Ermolayev, V., Weschke, W. and Manteuffel, R. (2003).** Comparison of Al- Induced gene expression in sensitive and tolerant soybean cultivars. Journal of Experimental Botany. 54: 2745-2756.
- Evans, G.C., and Hughes, A.P. (1962).** Plant growth and aerial environment on the computation of unit leaf rate. New Phytologist. 61: 322-327.
- Fangjie, X., Gang, L., Sisi, J., Yongsong, Z. and Xianyong, L. (2010).** Aluminum-induced changes in reactive oxygen species accumulation, lipid peroxidation and antioxidative capacity in root tips of two wheat genotypes differing in aluminum tolerance. Natural Science Foundation of China 1-14.
- Ghosh, M. and Singh, S.P. (2005).** A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Ecology and Environmental Research 3(1): 1-18.
- Goren, N. and Cag, S. (2007).** The effect of indol-3-acetic acid and benzyladenine on sequential leaf senescence on *Helianthus annuus* L. seedlings. Biotechnology and Biotechnology.5: 322-328.
- Grossmann, K., Kwiatkowski, J. and Tresch, S. (2001).** Auxin herbicides induce H₂O₂ over production and tissue damage in cleavers (*Galium aparine* L.). Journal of Experimental Botany. 52(362): 1811-1816.
- Haider, S.I., Kang, W., Ghulam, J. and Gue-Ping, Z. (2007).** Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean. Journal Zhejiang University Science Botany. 8(3): 181-188.
- Horst, W.J. and Eticha, D. (2010).** The role of the root apoplast in aluminum- induced inhibition of root elongation and in aluminum resistance of plant: A Review Annals of Botany. 106:185-197.
- Jiang, H.X., Chen, L.S., Zheng, J.G., Han S., Tang, N. and Smith, B.R. (2008).** Aluminum-induced effect on photosystem II
- خصوصیات ویژه پیرشدن برگ‌هاست و با مشاهدات ما مطابقت دارد.
- نتیجه‌گیری نهایی**
- به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آلومینیوم باعث کاهش رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گوجه‌فرنگی شد ولیکن با افزودن ایندول استیک اسید در برخی موارد اثرات تنشی آلومینیوم کاهش یافت و باعث رشد بیشتر گیاه گردید. کلرور آلومینیوم در غلظت پایین ۱۰۰ میکرومولار به همراه ایندول استیک اسید باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. ولیکن در غلظت‌های بالا ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرو مولار این فلز با القای تنش اکسیداتیو سبب مسمومیت و کاهش رشد گشت.
- منابع**
- خاوری‌نژاد ر.ع. (۱۳۷۸). فیزیولوژی گیاهی عملی. انتشارات امیدی تهران. صفحات ۱۵۴-۱۵۰.
- Abdalla, M.M. (2008).** Physiological aspect of aluminum toxicity on some metabolic and hormonal contents of *Hordeum vulgare* seedling. Australian Journal Basic and Applied Science. 2(3): 549-560.
- Ahn, S.J, Sivaguru, M., Rengel, Z., and Mastomoto, H. (2002).** Aluminum- induced growth inhibition is associated with impaired efflux and influx of H⁺ across the plasma membrane in root apices of squash (*Cucurbita pepo*). Journal Experimental Botany. 53:1959-1966.
- Barcelo, J. and Poschenrieder, C. (2002).** Fast growth responses, root exudates and internal detoxification as clues to the mechanism of aluminum toxicity and resistance: a review. Environmental Experimental Botany. 48: 75-92.
- Bhuja, P., McLachlan, K., Stephens, J. and Taylor, G. (2004).** Accumulation of 1,3-β-D-glucans, in response to aluminum and cytosolic calcium in *Triticum sativum*. Plant Cell Physiology. 45:543-549.
- Czerpak, R., Dobrzyn, P., and Kiciska, E. (2002).** The effect of auxins and salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents in *Wolffia arrhiza* (L.) wimm. (Lemnaceae)

- photochemistry in citrus leave assessed by the chlorophyll a fluorescence transient. *Tree Physiology*. 28: 1868-1871.
- Khavari Nejad, R.A (1986)**. Carbon dioxide enrichment preconditioning effect on chlorophyll contents and photosynthetic efficiency in tomato plants. *Photosynthetica*. 20: 315-317.
- Kollmeier, M., Felle, H.H. and Horst, W.J. (2000)**. Genotypical difference in aluminum resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? *Plant Physiology*. 122:945-956.
- Kuno, K. (1984)**. Effect of heavy metals on photosynthetic rates and morphogenesis in Mulberry leaves. *Journal of Sericul Science Japan*. 53(3), 198-204.
- Larsen, P.B., Degenhardt, J., Ta, C-Y., Stenzler, L.M., Howell, S.H. and Kochian, L.V. (1998)**. Aluminum- resistant Arabidopsis mutants that exhibit altered patterns of aluminum accumulation and organic acid release from roots. *Plant Physiology*. 117:9-18.
- Lichtenthaler, H.K. (1987)**. Chlorophylls and carotenoids of photosynthetic Biomembranes. Academic Press New York.
- Macfarlane, G.R. and Burchett, M.D. (2001)**. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the greyman grove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. *Pollu. Bulletin Vol. 42(3):233-240*.
- Massot, N.B., N icander, J., Barcelo, P. and E. Tillberg. (2002)**. A rapid increase in cytokinin levels and enhance ethylene evolution proceed. Al- induced inhibition of root growth in bean seedling (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Growth Regulation*. (In Press).
- Meriga, B., B.Krishna Reddy, K., Rajender Raol, L., Ananda, R. and Krishor, P.B. (2004)**. Aluminum – induced production of oxygen radicals, lipid peroxidation and DNA damage in seeding of rice (*Oryza sativa*). *Plant Physiology*. 161: 63-68.
- Mossor-Pietras Zewaska, T., Kwit, M. and Fegiwicz, M. (1997)**. The influence of aluminum ions on activity changes of some dehydrogenases and amino transferase in Yellow Lupine. *Biology Bull. Poznan*. 34: 47- 48.
- Pagnussat, G.C., Lanatina, L. and Lammattina, L. (2003)**. Nitric oxide and cyclic GMP are messengers in the indole acetic acid- induced adventitious rooting process. *Plant Physiology*. 132: 1241-1248.
- Panda, S.K. Singha, L.B. and Khan, M.H. (2003)**. Does aluminum phytotoxicity induce oxidative stress in Green gram (*Vigna radiate*) *Bulgarian Journal of Plant Physiology?* 29(1-2): 77-86.
- Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Goncalves, J.F., Jucoski, G.O., Pauletto, M.M., Weis, S.N., Nicoloso, F.T., Borher, D., Rocha, J.B.T. and Schetinger, M.R.C. (2006)**. Effect of aluminum on-amino levulinic acid dehydratase (ALA-D) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). *Environmental and Experimental Botany*. 57: 106-115.
- Radic, S., Babic, M., Skobic, D., Roja, V. and Pevalek- Kozlina, B. (2010)**. Eco toxicological effect of aluminum and zinc on growth and antioxidants in *Lemma minor* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73: 336-342.
- Rengle, Z. and Zhang, W.H. (2003)**. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum- toxicity syndrome. *New Phytologist*. 159: 295-314.
- Rodriguez, R.J., White Jr, J.F., Arnold, A.E. and Redman, R.S. (2009)**. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New phytologist*. 314-330.
- Shen, H., Hou, N.Y., Schlicht, M., Wan, Y.L. and Baluska, F. (2008)**. Aluminum toxicity targets PIN2 in Arabidopsis root apices: effect on PIN2 endocytosis vesicular recycling and polar auxin transport. *Chinese Science Bulletin*. 53: 2480-2487.
- Singh, R.P. and Agrawal, M. (2009)**. Use of sewage sludge as fertilizer supplement for *Abelmoschus sculentus* plants: physiological, biochemical and growth responses. *Lnt. Journal Environmental Waste Management*. 3: 91-106.
- Singh, R.P. and Agrawal, M. (2010)**. Variation in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73:632-641.
- Srivastava, L. (2001)**. Plant growth and development. Hormones and Environmental, Academic Press, California. 660- 670.
- Sun, P., Tain, Q.Y., Chen, J. and Zhang, W.H. (2010)**. Aluminum –induced inhibition of root elongation in Arabidopsis is mediated by ethylene and auxin. *Journal Experimental Botany*. 61(2) 347-356.
- Vassilev, A., Lidon, F.C., Jose, C., Ramalho, M.M and Yordano, I. (2002)**. Photosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium and copper treated barley plants. *Journal Plant Neutral*. 25(11): 2343-2360.

- Wood ward, A.W. and Bartel, B. (2005).** Auxin: regulation, action, and interaction: a review. *Annals of Botany. (Lond.)*. 95: 707-735.
- Williams, L.E., Pittman, J.K., and Hall, J.L. (2000).** Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochemical and Biophysical Acta*. 1465: 104-126.
- Yang, M.Z., Nain, M., Sivaguru, S., Tanakamaru, S. and Matsumoto, H. (2001).** Characterization of aluminum-induced citrate secretion in aluminum-tolerant soybean (*Glycin max*) plants. *Physiological Plant*. 113: 64-71.
- Zengin, F.K. and Munzuroglu, O. (2005).** Effect of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemical in Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seedlings. *Acta Biological Cracoviensia Series Botanica*. 157-164.
- Zhang, X.B., Liu, P., Yang, Y.S. and XU, G.D. (2007).** Effect of Al in soil on photosynthesis and related morphological and physiological characteristics of two soybean genotypes. *Botanical Studies*. 48: 435-444.