



## مقاله علمی-پژوهشی

## پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی خیار پیوندی به تنش خشکی

مریم حقیقی<sup>۱\*</sup> - آتنا شبیانی راد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

## چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پیوند در القا مقاومت به تنش خشکی در خیار در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. آزمایش فاکتوریل شامل فاکتورهای (گیاهان پیوندی و غیرپیوندی و سطح خشکی بر اساس پتانسیل اسمزی: شاهد، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بذور خیار بومی اصفهان به‌عنوان پیوندک بر روی پایه فرو پیوند حفره‌ای انجام گرفت. نتایج افزایش مقاومت به تنش و تولید توده زنده بیش‌تر با افزایش جذب و توسعه ریشه‌ها در خیارهای پیوند شده را نشان داد. همچنین محتوای پتاسیم در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیرپیوندی کاهش یافت. طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحت تأثیر پیوند و اثرات متقابل پایه × پیوندک قرار گرفتند. برخی از این ویژگی‌ها سبب بهبود روابط آبی و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش گشت. شاخص‌های تبادلات گازی همانند فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی پایین‌تر بود. با افزایش معنی‌دار پرولین در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و همچنین افزایش بیش‌تر پتاسیم در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی به نظر می‌رسد که مکانیسم تحمل به خشکی اعمال شده پایه از طریق حفظ تعادل اسمزی و برقراری هموستازی پتاسیم می‌باشد. درنهایت می‌توان پیوند را به‌عنوان یک روش کارآمد جهت القا تحمل به تنش خشکی و افزایش عملکرد خیار توصیه کرد.

## واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تبادلات گازی، سبزی گلخانه‌ای

## مقدمه

می‌دهد (۲۷). یکی از زمینه‌های تحقیقاتی حیاتی برای پیشبرد کشاورزی درک فرآیندهای ژنتیکی و بیوشیمیایی تنظیم‌کننده مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی می‌باشد (۸). به‌منظور حفظ فرایند جذب آب توسط گیاه توسعه سیستم ریشه‌ای یک امر ضروری می‌باشد. مکانیسم‌های دخیل در توسعه ریشه‌های در معرض تنش کم‌آبی توسط شارپ و همکاران (۲۳) بیان شده است و شامل تغییرات در ابعاد نواحی رشد ریشه، وضعیت دیواره سلولی، میزان ذخیره اسید آسزیک و تنظیم جریان اسمزی می‌باشد. رشد ریشه‌ها نتیجه تقسیم و طویل شدن سلول‌ها است که خود نیازمند جذب پیوسته آب و حفظ پتانسیل تورگر می‌باشد که این امر توسط شیب پتانسیل آب در طول غشا سلولی به کمک مواد محلول درون سلولی کنترل می‌گردد (۵).

پیوند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مهارت‌های باغبانی به‌طور گسترده‌ای برای بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی مورد استفاده می‌باشد (۲۱). کارایی مصرف آب در پیوندک را می‌توان با پیوند آن بر روی پایه‌ای که متحمل به خشکی است بهبود بخشید (۱۹، ۲۰ و ۱۱). پیش‌تر در مطالعات انجام گرفته بر روی لوبیا (۱۹)، سویا (۲۲) و انگور (۲۰)، القا تحمل به خشکی در اثر پیوند مشاهده گردیده است. همچنین

خیار از جمله محصولات است که در سرتاسر جهان کشت و کار می‌شود و بخش عمده‌ای از تولید آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام می‌گیرد و یکی از مشکلات اصلی پرورش گیاهان در این اقلیم‌ها وجود تنش خشکی می‌باشد (۲۶). ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو این نواحی می‌باشد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین معضلات در ایران می‌باشد زیرا غالباً توزیع بارندگی‌ها در طول فصل رشد ناکافی و غیر متوازن می‌باشد و پیش از تکمیل رشد گیاه این بارندگی‌ها متوقف می‌گردد (۱۰). در اثر تنش خشکی سه تغییر مهم در روابط آبی گیاه اتفاق می‌افتد که شامل تغییرات اسمزی، کاهش تورژسانس و کاهش خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی است (۲۵). این تغییرات نتایج کاهش آب در گیاه است و کمبود آب از طریق تأثیر بر میزان باز بودن روزنه‌ها، فعالیت گیاه را تحت تأثیر قرار

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: mhaghghi@cc.iut.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.81113

\*- نویسنده مسئول:

اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح ثبت گردید. هدایت مزوفیلی از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای بدست آمد. به منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شده است. شاخص سبزی‌نگی نیز توسط دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) و میزان فلورسنس کلروفیل توسط دستگاه فلورومتر (مدل OS-30 ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پرولین به روش بس و همکاران (۳) و قرائت در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل UV-600A) انجام گرفت.

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان و محتوای فنول از برگ عصاره‌گیری شد سپس برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان برگ به شیوه DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) در طول موج ۵۱۷ نانومتر از دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل UV-600A ساخت کشور انگلستان) استفاده شد و غلظت نهایی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (۲۸).

جذب کنترل = (جذب کنترل - جذب نمونه) ÷ درصد ممانعت کنترل

اندازه‌گیری فنول نیز به شیوه فولین سیو کالتو در طول موج ۷۶۵ نانومتر انجام گرفت (۲۴). به منظور اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین کل بافر استخراج عمومی برای تمامی آنزیم‌ها و همچنین بافر فسفات عمومی به منظور تهیه بافر واکنش برای تمامی آنزیم‌ها تهیه گردید. حدود ۲۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های توسعه‌یافته گیاه نمونه تهیه کرده، آن‌ها را توسط نیتروژن مایع تثبیت نموده سپس عصاره آن‌ها را به کمک بافر استخراج ساتریفوژ کرده سپس میزان جذب آنزیم کاتالاز در طول موج ۲۴۰ و آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ و در نهایت پروتئین کل به روش برادفورد در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه گرفته شد (۴).

داده‌ها در نرم‌افزار اکسل طبقه‌بندی و با برنامه آماری Statstix 8 آنالیز شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش میان سطوح پتانسیل آب و پیوند را معنی‌دار نشان دادند اما اثرات ساده در میان صفات مختلف روند متفاوتی را نشان دادند (جدول ۱). بررسی اثرات اصلی پیوند نمایانگر افزایش معنی‌داری تا بیش از دو برابر در وزن تر و خشک شاخساره و ریشه در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیر پیوندی می‌باشد. علاوه بر این طول ساقه نیز به‌طور معنی‌داری در گیاهان پیوندی افزایش یافت. اما پتانسیل آب برگ و محتوای پتاسیم به‌طوری معنی‌داری در گیاهان پیوندی به ترتیب ۷۷/۹ و ۱۷/۷ درصد کاهش را نشان دادند. تکنیک پیوند بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و پروتئین تغییر معنی‌داری را ایجاد نکرد (جدول

هندوانه‌های پیوند شده بر روی پایه کدو تنبل در شرایط کمبود آبیاری تا ۶۰ درصد عملکرد بازاری پستانده بالاتری را نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشان دادند (۱۸). گیاهان برای تحمل شرایط کم‌آبی مکانیسم‌های متفاوتی از قبیل تغییر در فتوسنتز و رشد سلول‌ها یا القای بیان ژن‌های خاصی برای حفظ جذب آب و پتانسیل تورگر در پیش می‌گیرند (۶).

این پژوهش به منظور بررسی اثرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پیوند در القا تحمل به تنش خشکی در خیار بومی اصفهان در گلخانه ای انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در زمستان ۱۳۹۴ به صورت آزمایش فاکتوریل شامل فاکتورهای (گیاهان پیوندی و غیرپیوندی و سطح خشکی بر اساس پتانسیل اسمزی: شاهد، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای خشکی بر اساس مقادیر مختلف پلی‌اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) بر اساس فرمول زیر محاسبه و اعمال گردید.

$$\psi_{IT} = -MIRT$$

$\psi_{IT}$ : پتانسیل اسمزی، M: مولاریته محلول، I: شاخص تفکیک، R: ثابت گازها، T: دما بر اساس کلونین

در این آزمایش از بذور خیار بومی اصفهان به‌عنوان پیوندک و گیاهان پیوند نشده استفاده شد. به منظور انجام پیوند نیز ابتدا بذور پایه فرو را در مخلوطی از ماسه و خاک باغچه کاشته و سپس بعد از این که بوته‌ها به مرحله یک‌برگی رسیدند، بر روی آن‌ها پیوند حفره‌ای انجام گرفت. پس از انجام عملیات پیوند، همه گیاهان دو روز در داخل یک اتاقک تاریک با رطوبت نسبی ۹۹ درصد و دمای ۲۵-۲۶ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس به یک تونل کوچک با رطوبت نسبی ۹۵ درصد و دمای ۲۹-۲۷ انتقال یافتند. بوته‌های پیوندی به مدت ۱۰ روز در این محیط قرار گرفتند و سپس عمل مقاوم‌سازی به مدت ۵ روز بر روی آن‌ها اعمال گردید. تیمار خشکی ۲ هفته بعد از انتقال گیاهان پیوندی به گلدان اعمال شد که بعد از اعمال تنش، گیاهان در گلخانه، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شدند و آبیاری آن‌ها به‌صورت روزانه با غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول انجام گرفت. سه هفته بعد از اعمال تیمارها شاخص‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های تبادلات گازی توسط دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کورن، ایالات متحده آمریکا) اندازه‌گیری شد. بدین منظور برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته با سه تکرار جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر انتخاب گردید و تمامی

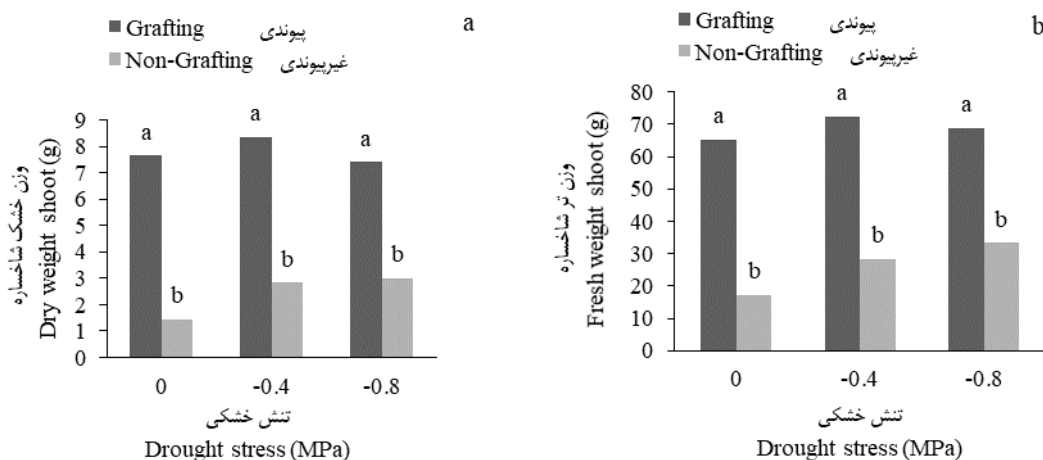
به طوری که شاخص سبزی‌نگی در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال نسبت به شاهد ۳۲ درصد افزایش یافت و برخلاف آن فلورسنسی کلروفیل در تیمار شاهد دارای حداکثر مقدار خود بود و در دو تیمار دیگر ۳/۵ درصد کاهش یافت. شاخص‌های تبادلات گازی از قبیل مقدار فتوستنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوستنتزی تحت تأثیر سطوح خشکی اعمال شده قرار نگرفتند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز و پراکسیداز و پروتئین کل نیز تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفتند (جدول ۲).

مقدار وزن تر و خشک در کلیه تیمارهای پیوند شده مقادیری تا بیش از ۲ برابر را نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشان دادند اما تیمارهای خشکی اعمال شده اثر معنی‌داری را در میزان وزن تر و خشک شاخساره ایجاد نکردند. هرچند که از نظر آماری تیمارهای خشکی تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکردند اما روند صعودی در مقدار وزن تر و خشک شاخساره با افزایش سطوح خشکی مشاهده می‌گردد (شکل ۱).

بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه در گیاهان پیوندی دیده شد به طوری که بالاترین مقدار آن در خشکی ۰/۸- مشاهده شد. در گیاهان غیر پیوندی در مقایسه با گیاهان پیوندی وزن تر ریشه کاهش معنی‌داری را نشان داد به طوری که در هر یک از سطوح خشکی (۰، ۰/۴- و ۰/۸-) اعمال شده به ترتیب ۶۳، ۶۴ و ۳۶ درصد کاهش را نشان دادند. بالاترین مقدار وزن خشک ریشه در گیاهان پیوندی تیمار شاهد مشاهده گردید بعد از آن با حدود ۳۳ درصد کاهش در تیمارهای (۰.۴ MPa×G، ۰.۸ MPa×G و ۰.۸ MPa×N-) مشاهده شد. پایین‌ترین مقادیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاهان غیر پیوندی تیمار شاهد دیده شد (شکل ۲).

۲). شاخص سبزی‌نگی افزایش معنی‌داری را تا ۳۰ درصد در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشان داد. باین‌حال میزان فلورسنس کلروفیل میان گیاهان پیوندی و غیر پیوندی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. با این وجود میزان فتوستنتز تا بیش از ۵۶ درصد در گیاهان غیر پیوندی نسبت به گیاهان پیوندی مقادیر بالاتری را نشان داد. تغییرات تعرق و هدایت روزنه‌ای روندی مشابه با فتوستنتز نشان دادند به طوری که به ترتیب ۵۸ و ۶۶ درصد در گیاهان پیوندی از مقادیر آن‌ها کاسته شد. در میان شاخص‌های تبادلات گازی پیوند تأثیر معنی‌داری را بر کارایی مصرف آب فتوستنتزی و هدایت مزوفیلی ایجاد نکرد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین کل نیز تحت تأثیر پیوند قرار نگرفتند (جدول ۲).

سطوح خشکی اعمال شده تفاوت معنی‌داری را در میزان وزن تر و خشک و شاخساره ایجاد نکرد. هرچند وزن تر ریشه در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال تا ۳۶ درصد افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد؛ اما تیمارهای خشکی تفاوت معنی‌داری را در وزن خشک ریشه و طول شاخساره ایجاد نکردند. پتانسیل آب برگ در تیمار ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد اما در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بیش از ۸۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بالاترین مقدار پتاسیم در تیمار شاهد دیده شد و بعد از آن با حدود ۳۰ درصد کاهش در تیمارهای خشکی اعمال شده مشاهده گردید. محتوای فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز تحت تأثیر سطوح خشکی مورد استفاده قرار نگرفتند. مقدار پرولین در تیمار شاهد دارای پایین‌ترین مقدار خود بود و در دو تیمار دیگر با حدود ۲۰ درصد افزایش مقادیر بالاتری را نشان داد (جدول ۵). در میان خصوصیات فتوستنتزی اندازه‌گیری شده تنها شاخص سبزی‌نگی و میزان فلورسنس کلروفیل تحت تأثیر سطوح خشکی قرار گرفتند



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر وزن تر (a) و خشک شاخساره (b) خیار

Figure 1- Interaction effect of drought stress × grafting on dry (a) and fresh weight of cucumber shoot (b). (LSD,  $p \leq 0.05$ )

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پیوند و تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی بوته خیار

Table 1- ANOVA for the effect of grafting and drought stress on growth, photosynthesis and biochemical characteristics of cucumber plant

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	پروترین Proline	فنول Phenol	فعالیت انتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پتاسیم Potassium	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	طول ساقه Stem length	وزن خشک‌ریشه Dry weight root	وزن تر ریشه Fresh weight root	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight shoot
پیوند Grafting	1	0.1 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	1.25*	11.63*	0.89*	1.64*	7.82*	15.69*	9.11*
پتانسیل آب Water potential	2	0.51*	0.00002 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	1.25*	10.07*	0.12*	0.09 <sup>ns</sup>	1.71*	0.59 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>
پیوند × پتانسیل آب Grafting × Water potential	2	4.22*	0.003*	0.014*	0.13*	10.008*	0.51*	0.32*	0.35*	0.64*	0.41*
خطا Error	14	0.01	0.00009	0.16	0.04	0.13	0.06	0.03	0.55	0.24	0.19
ضریب تغییرات CV (%)		15.47	0.65	25.72	10.55	22.88	17.01	31.26	36.04	41.213	29.05
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	فعالیت کاتالاز Catalase activity	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	تعرق Transpiration	فتوسنتز Photosynthesis	فلورسنس کلروفیل Chlorophyll fluorescence	شاخص سبزیگی Spad value	تولید پروتئین کل Total protein	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity
پیوند Grafting	1	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	17.68 <sup>ns</sup>	10.54*	12.56*	0.05*	0.006 <sup>ns</sup>	1.98*	238.83 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>
پتانسیل آب Water potential	2	0.11 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.009*	0.82*	315.84 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>
پیوند × پتانسیل آب Grafting × Water potential	2	0.003*	0.52*	2.47*	0.8*	0.52*	0.004*	0.005*	0.31*	154.44*	0.66*
خطا Error	14	0.04	0.33	0.67	0.32	0.85	0.001	0.002	0.04	431.78	0.23
ضریب تغییرات CV (%)		31.79	37.49	35.80	35.80	28.02	48.70	2.04	14.98	12.58	3.41

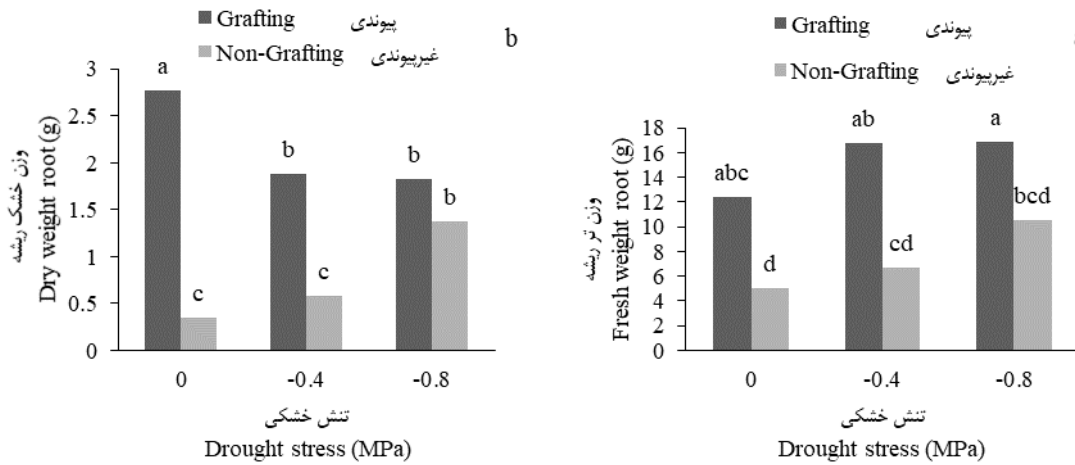
\* and <sup>ns</sup>: Significant at 5% of probability level and no significant, respectively. # و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۲- اثر پیوند و تنش خشکی بر خصوصیات رشدی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی بوته خیار  
Table 2- Effect of grafting and drought stress on growth, photosynthetic and biochemical characteristics of cucumber plant

تیمار Treatment	پروترین Proline ( $\mu\text{mol}^{-1}$ mgFW)	فنول Phenol (mg/g)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)	پتاسیم Potassium ( $\text{mg l}^{-1}$ )	پتانسیل آب برگ Leaf water potential ( $\text{kgm}^{-2}$ )	طول ساقه Stem length (cm)	وزن خشک‌ریشه Dry weight root (g)	وزن تر ریشه Fresh weight root (g)	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot (g)	وزن تر شاخساره Fresh weight shoot (g)
پیوندی Grafting	0.02a	0.16a	25.48a	192.2b	2.88b	65.78a	2.15a	15.33a	7.8a	68.73a
غیرپیوندی Non-grafting	0.01a	0.16a	31.41a	233.75a	13.07a	50b	0.77b	7.44b	2.41b	26.20b
شاهد Control	0.01b	0.16a	33.25a	264.01a	11.40a	56.48a	1.56a	8.73a	4.53a	41.14a
-0.4 MPa	0.02ab	0.16a	25.69a	186.70b	10.47a	62.75a	1.23a	1.70ab	5.59a	50.17a
-0.8 MPa	0.02a	0.16a	26.39a	188.22b	2.06b	54.43a	1.60a	13.72a	5.19a	51.09a
تیمار پیوند Grafting treatment	پروتئین کل Total protein (mg/g FW)	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity ( $\mu\text{mol}/\text{min}$ gFW)	فعالیت کاتلاز Catalase activity ( $\mu\text{mol}/\text{min}$ g FW)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency ( $\mu\text{mol CO}_2$ mmol H <sub>2</sub> O)	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	هدایت روزنه Stomatal Conductance ( $\text{mmol H}_2\text{O}$ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )	تعرق Transpiration ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	فتوسنتز Photosynthesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ $\text{s}^{-1}$ )	فلورسنس کلروفیل Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	شاخص سبزینگی value Spad
پیوندی Grafting	2.55a	1.09a	0.88a	57.75a	0.41a	0.10b	4.30b	5.93 b	0.81b	28.29a
غیرپیوندی Non-grafting	2.84a	0.88a	0.82a	46.49a	0.37a	0.31a	10.40a	13.53 a	0.84b	19.74b
شاهد Control	17.47a	1.15a	0.79a	48.73a	0.40a	0.21a	7.28a	8.3a	0.85a	20.20b
-0.4 MPa	31.86a	1.06a	1.01a	48.93a	0.41a	0.23a	8.01a	10.58a	0.82b	21.83b
-0.8 MPa	26.26a	0.76a	0.75a	58.69a	0.35a	0.17a	6.75a	10.3a	0.82b	30.01a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters in each column are no significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

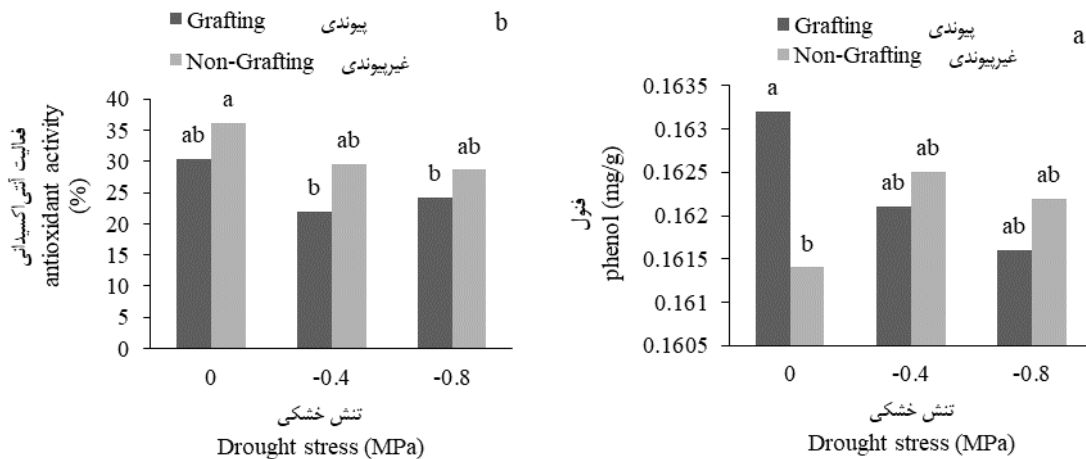


شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر وزن تر (a) و خشک ریشه خیار (a)

Figure 2- Interaction effect of drought stress × grafting on fresh weight of root (a) and dry weight of cucumber root (b). (LSD,  $p \leq 0.05$ )

تیمار شاهد میان گیاهان غیرپیوندی و پیوندی بود که به طور قابل توجهی در گیاهان پیوندی نزدیک به ۲/۵ برابر محتوای فنولی بیش تری مشاهده گردید (شکل ۳).

فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی بیش تر بوده است لکن تفاوت معنی داری میان آن ها در سطوح خشکی مشابه دیده نشد. در میزان ترکیبات فنولی تنها تفاوت معنی دار در



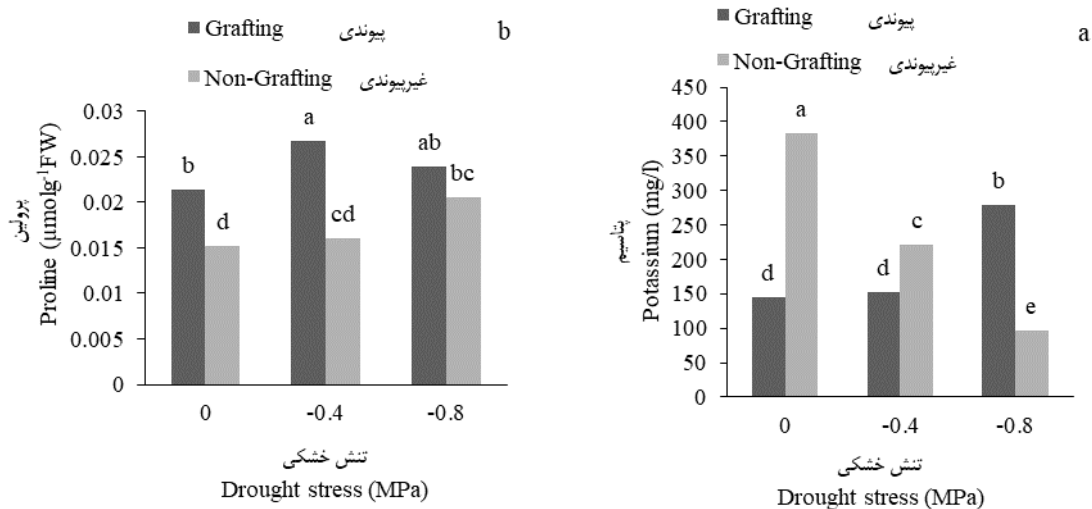
شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر فنول کل (a) و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ (b) خیار

Figure 3- Interaction effect of drought stress × grafting on phenol (a) and antioxidant activity leaf (b) of cucumber. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

کاهش نسبت به شاهد دیده شد. در گیاهان غیرپیوندی محتوای پرولین به طور معنی داری با افزایش سطوح خشکی اعمال شده افزایش یافت اما بالاترین مقدار آن در تیمار خشکی ۰/۴- مگاپاسکال × پیوندی دیده شد. بعد از آن با کاهش معنی داری در تیمار شاهد گیاهان پیوندی بیش ترین مقدار پرولین مشاهده شد (شکل ۴).

بالاترین محتوای پتاسیم در گیاهان غیرپیوندی فاقد تیمار خشکی مشاهده شد بعد از آن با ۲۶ درصد کاهش در گیاهان پیوندی تیمار ۰/۸- مگاپاسکال دیده شد. در میان گیاهان غیرپیوندی با افزایش سطح خشکی محتوای پتاسیم روند نزولی را نشان داد به طوری که پایین ترین مقدار آن در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال با ۷۳ درصد



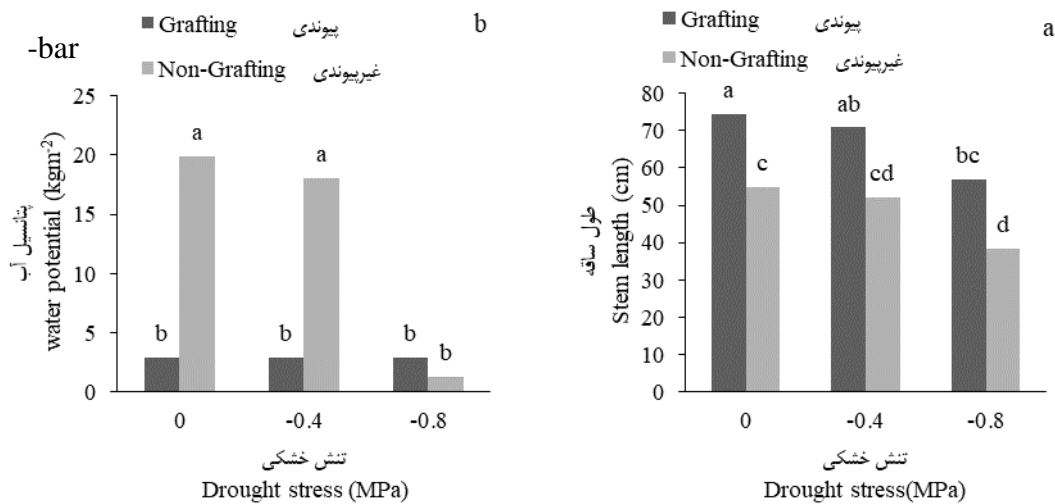


شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان پتاسیم (a) و پرولین برگ (b) خیار

Figure 4- Interaction effect of drought stress × grafting on potassium (a) and proline leaf (b) content of cucumber. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

خشکی از ارتفاع گیاهان کاسته است اما در کل گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیر پیوندی ارتفاع بیشتری را داشتند به طوری که بالاترین مقدار آن در تیمار شاهد پیوندی، سپس با ۲۸ درصد کاهش در گیاهان پیوندی ۰/۴- مشاهده گردید (شکل ۵).

در گیاهان غیر پیوندی تیمارهای خشکی اعمال شده تفاوت معنی داری را در میزان پتانسیل اسمزی نشان ندادند. بالاترین مقدار پتانسیل اسمزی در تیمار فاقد خشکی و ۰/۴- مگاپاسکال و در گیاهان غیر پیوندی مشاهده شد. به طور معنی داری در کلیه تیمارها

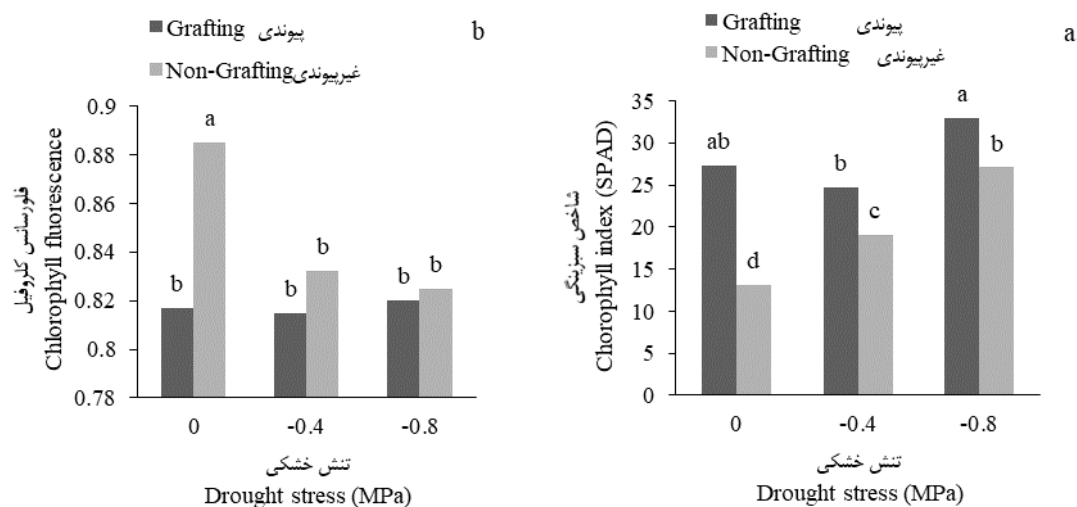


شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر طول ساقه (a) و پتانسیل آب برگ (b) خیار

Figure 5- Interaction effect of drought stress × grafting on stem length (a) and leaf water potential (b) of cucumber. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

داشتند به طوری که بالاترین مقادیر در تیمار شاهد پیوندی و ۰/۸- مگاپاسکال × پیوندی دیده شد و پایین ترین مقدار شاخص سبزیگی در شاهد غیر پیوندی با ۵۶ درصد کاهش نسبت به شاهد پیوندی مشاهده شد (شکل ۶).

حداکثر مقدار فلورسنسی کلروفیل در تیمار شاهد غیر پیوندی دیده شد، سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی داری را نشان ندادند و ۸ درصد کاهش را نسبت به شاهد غیر پیوندی نشان دادند. شاخص سبزیگی در میان گیاهان غیر پیوندی با افزایش سطوح خشکی افزایش یافت اما در کل مقادیر پایین تری نسبت به گیاهان پیوندی

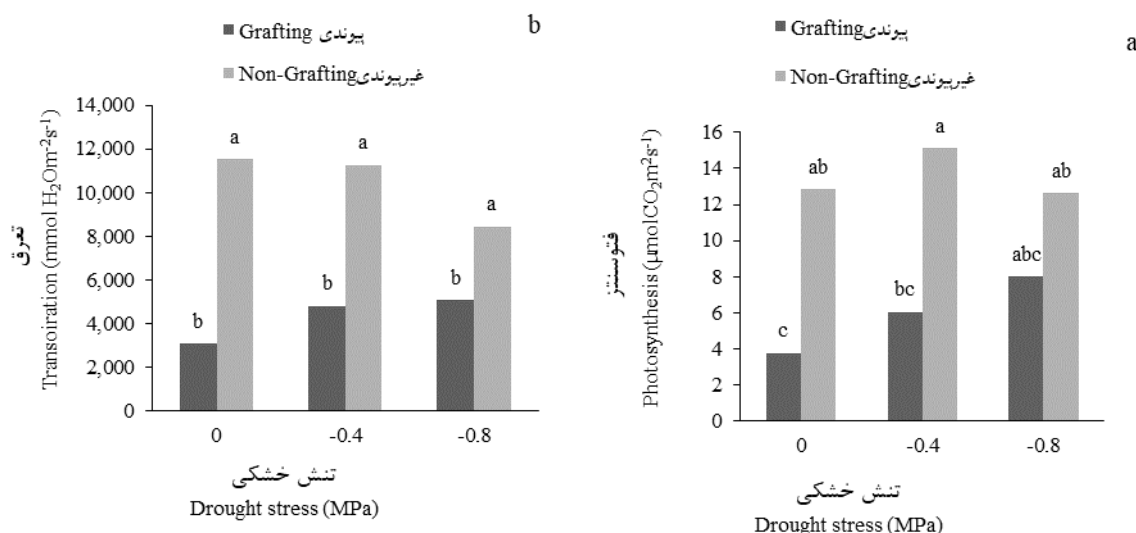


شکل ۶- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر شاخص سبزیگی (a) و فلورسانس کلروفیل برگ (b) خیار

Figure 6- Interaction effect of drought stress × grafting on SPAD value (a) and chlorophyll fluorescence leaf (b) of cucumber. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

نسبت به شاهد غیر پیوندی مشاهده شد. روندی مشابه در میزان تعرق نیز دیده شد که حداکثر مقادیر تعرق در تمامی گیاهان غیر پیوندی و حداقل مقادیر با ۸۰ درصد کاهش در تمامی گیاهان پیوندی مشاهده شد و در مقایسه گیاهان پیوندی با یکدیگر و گیاهان غیر پیوندی باهم تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۷).

نرخ فتوسنتز در گیاهان پیوندی به طور معنی داری نسبت به گیاهان غیر پیوندی پایین تر است. در مقایسه میان گیاهان غیر پیوندی تیمارهای خشکی اعمال شده تفاوت معنی داری را ایجاد نکردند همچنین گیاهان پیوندی نیز با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند؛ اما در مقایسه میان آن‌ها حداکثر مقدار فتوسنتز در تیمار ۰/۴ × غیر پیوندی و حداقل مقدار آن با ۷۴ درصد کاهش در شاهد پیوندی



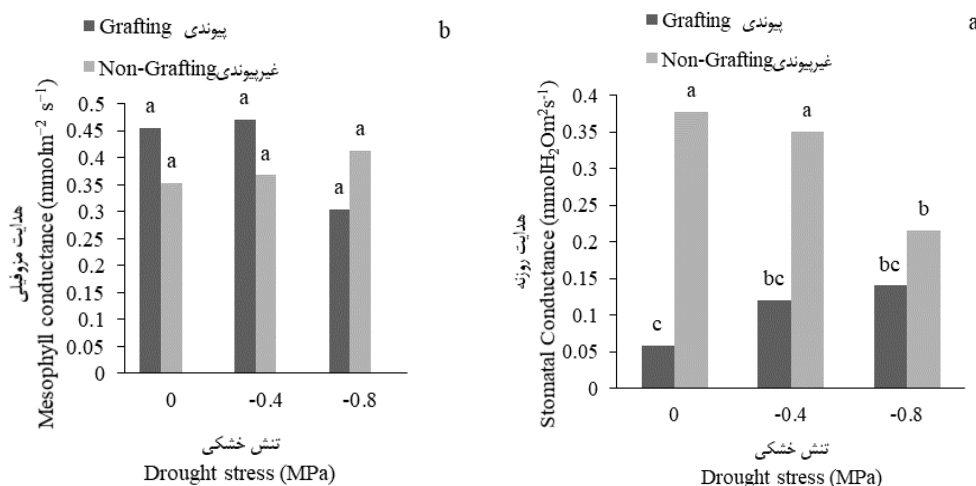
شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان فتوسنتز (a) و تعرق برگ (b) خیار

Figure 7- Interaction effect of drought stress × grafting on photosynthesis (a) and transpiration (b) rates of cucumber leaf. (LSD,  $p \leq 0.05$ )



تیمارهای شاهد غیرپیوندی و ۰/۴- مگاپاسکال × غیرپیوندی سپس با بیش از ۸۵ درصد کاهش در تیمار شاهد پیوندی مشاهده شد (شکل ۸).

هدایت مزوفیلی تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت و در میان تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما هدایت روزنه‌ای روند خاصی را نشان نداد لکن هدایت روزنه‌ای در گیاهان پیوندی از گیاهان غیرپیوندی کم‌تر بود به طوری که بالاترین مقادیر در

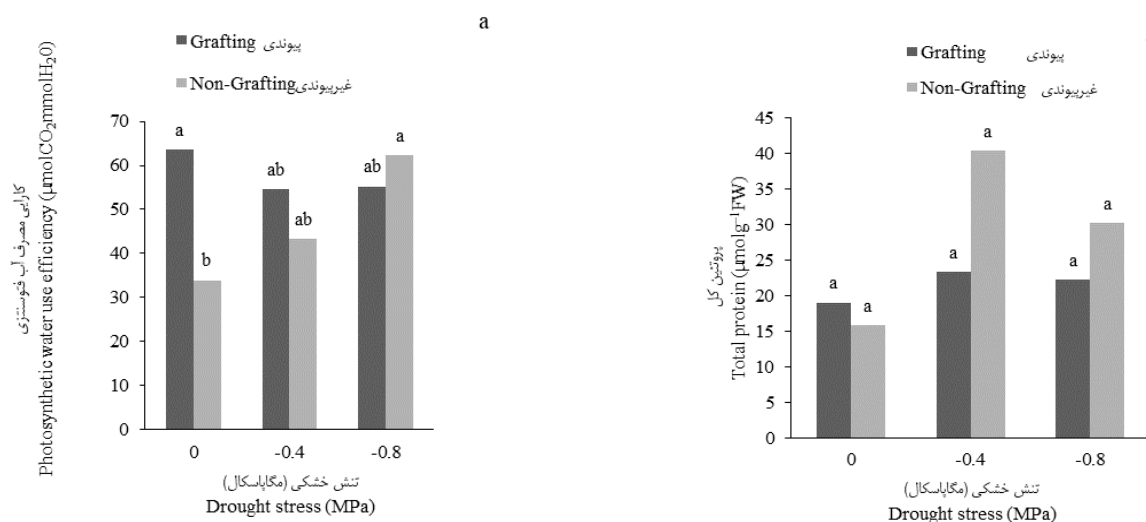


شکل ۸- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان هدایت روزنه‌ای (a) و هدایت مزوفیلی برگ (b) خیار

Figure 8- Interaction effect of drought stress × grafting on stomatal conductance (a) and mesophyll conductance leaf (b) rates of cucumber. (LSD,  $p < 0.05$ )

در تیمار شاهد غیرپیوندی با ۴۶ درصد کاهش مشاهده گردید (شکل ۹).

تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌داری را در میزان پروتئین کل ایجاد نکرد. حداکثر مقدار کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تیمارهای ۰/۴- مگاپاسکال × غیرپیوندی و شاهد پیوندی و کم‌ترین مقدار آن

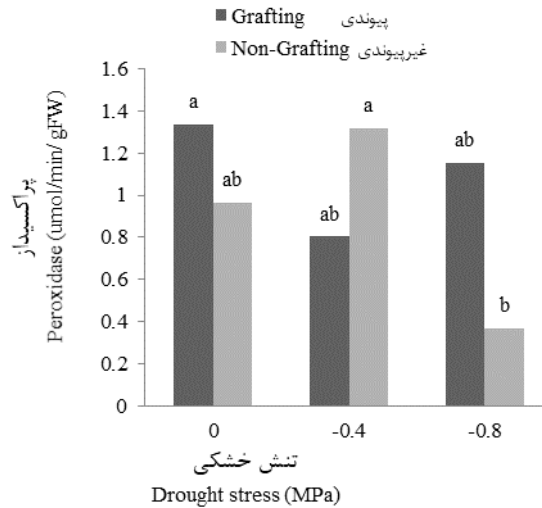


شکل ۹- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی (a) و پروتئین کل برگ (b) خیار

Figure 9- Interaction effect of drought stress × grafting on photosynthetic water use efficiency (a) and total protein leaf (b) rates of cucumber. (LSD,  $p < 0.05$ )

غیرپیوندی و حداقل مقدار با ۶۰ درصد کاهش نسبت به شاهد غیرپیوندی در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال غیرپیوندی مشاهده شد. سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۱۰).

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت. فعالیت پراکسیداز روند مشخصی را نشان نداد. حداکثر مقدار فعالیت پراکسیداز در تیمارهای شاهد پیوندی و ۰/۴- مگاپاسکال ×



شکل ۱۰- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ خیار

Figure 10- Interaction effect of drought stress ×grafting on peroxidase activity of cucumber leaf. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

پیوندی توانایی تنظیم پتانسیل اسمزی نیز کاهش یافته و به دنبال آن پتانسیل آب برگ نیز کاهش می‌یابد. در پژوهش انجام گرفته اثرات ساده پیوند بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، میزان فنول، پروتئین کل و محتوای پرولین برگ‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد این امر می‌تواند به دلیل توانایی پایه فرو در تولید این مواد سازگار و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی باشد. پایه های مورد استفاده می‌تواند اثرات متفاوتی را در میزان القا مقاومت داشته باشند همانند نتایج به دست آمده در پژوهشی دیگر نیز غلظت مواد سازگار و قندهای محلول در خیارهای پیوند شده تحت تأثیر پایه قرار نگرفت (۲۹) اما در پیوند خیار بر روی پایه کدو برگ‌انجیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت که برخلاف نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌باشد که این امر ناشی از تفاوت پایه‌ها می‌باشد (۱۳). طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحت تأثیر پیوند و اثرات متقابل پایه و پیوندک قرار می‌گیرند. برخی از این ویژگی‌ها سبب بهبود روابط آبی گیاه و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش می‌گردد (۱۴).

به‌طور کلی در این تصاویر زرد شدن و اضمحلال بیش‌تر تخمدان را در تیمارهای پیوند شده بیش از تیمارهای غیر پیوندی می‌توان مشاهده نمود (شکل ۱۱).

## بحث

با توسعه بحران‌های آب و کاهش منابع آبی تنش خشکی از جمله تنش‌های تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان می‌باشد. تلاش‌های زیادی جهت القا مقاومت از طریق اصلاح کلاسیک و حتی روش‌های مدرن انتقال ژن و تولید گیاهان تریپخته مورد استفاده قرار گرفته است (۷)، اما موفقیت تولیدات تجاری از این روش‌ها قابل توجه نبوده است. پیوند سبزی‌ها می‌تواند یکی از روش‌های تجاری تولید گیاهان مقاوم به تنش با هزینه‌های پایین‌تر باشد (۱۲). در راستای نتایج زو و همکاران (۳۰) که افزایش مقاومت به تنش و تولید توده زنده بیش‌تر با افزایش جذب و توسعه ریشه‌ها در خیارهای پیوند شده بر روی پایه هندوانه را مشاهده کردند، در پژوهش حاضر نیز پیوند سبب افزایش وزن‌تر و خشک در ریشه‌ها و شاخساره گردید. برخلاف نتایج به دست آمده از این پژوهش که محتوای پتاسیم در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی کاهش یافت در پژوهش زو و همکاران (۳۰) مقاومت به تنش با افزایش محتوای پتاسیم برگ‌ها رابطه مستقیم داشت که این امر می‌تواند ناشی از تفاوت توانایی پایه‌در جذب یون پتاسیم از خاک باشد. در پژوهشی دیگر وضعیت یون‌ها و به دنبال آن پتانسیل آب برگ‌ها در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر پیوند قرار نگرفت (۹) در پژوهش حاضر نیز احتمالاً به دلیل کاهش توانایی جذب پتاسیم در گیاهان



شکل ۱۱- تغییرات گل خیار تحت تاثیر تنش خشکی و پیوند. ND0: غیر پیوندی و خشکی صفر مگاپاسکال، ND1: غیر پیوندی و خشکی ۰/۴- مگاپاسکال، ND2: غیر پیوندی و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال، GD0: پیوندی و خشکی صفر مگاپاسکال، GD1: پیوندی و خشکی ۰/۴- مگاپاسکال، GD2: پیوندی و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال

Figure 11- Flowers changes under grafting and drought stress in cucumber. ND0: Non-grafting and arought 0 MPa, ND1: Non-grafting and Drought -0.4 MPa, ND2: Non-grafting and drought -0.8 MPa, GD0: grafting and drought 0 MPa, GD1: grafting andd -0.4 MPa, GD2: grafting and drought -0.8 MPa

کاهش پتانسیل آب و در هر دو تیمار خشکی از محتوای آن در گیاه کاسته شد که این امر ممکن است ناشی از کاهش توانایی جذب و انتقال این عنصر باشد (۱۷). درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول کل تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفت اما میزان پرولین در هر دو تیمار خشکی به یک‌میزان نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهشی نشان داده‌شده است که پرولین یکی از مواد سازگار جهت تعادل پتانسیل اسمزی و به دنبال آن جذب آب بیش‌تر در گیاه می‌باشد که می‌تواند یکی از مکانیسم‌های سازگاری گیاه به شرایط تنش باشد (۱۷). در پژوهش حاضر شاخص‌های تبادلات گازی از قبیل فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز تحت تأثیر سطوح خشکی اعمال شده قرار نگرفتند اما بالاترین مقدار شاخص سبزیگی با ۳۲ درصد افزایش نسبت به شاهد در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده گردید. قابل ذکر است که افزایش فتوسنتز به دو دلیل عوامل فتوسنتزی و محیطی می‌باشد با توجه به اینکه در این تحقیق با وجود افزایش میزان کلروفیل فتوسنتز کاهش داشته، نشان می‌دهد که عوامل محیطی تحت تنش خشکی بر کاهش میزان فتوسنتز بیشتر تأثیر داشته است. این پدیده ممکن است به دلیل کافی نبودن سطوح خشکی برای تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدانی در گیاهان باشد. در مقایسه

همانند نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر که شاخص‌های تبادلات گازی همانند فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در گیاهان غیر پیوندی از گیاهان پیوندی پایین‌تر بود در پژوهشی دیگر نیز نرخ تثبیت کربن دی‌کسید در شرایط تنش در گیاهان پیوند نشده خیار به‌طور معنی‌داری از گیاهان پیوند شده کم‌تر بوده است که این کاهش را ناشی از توانایی پایین‌تر گیاهان غیر پیوندی در تنظیم روابط آبی گیاه دانسته‌اند. در پژوهش انجام‌گرفته وزن‌تر و خشک‌شاخساره و وزن خشک‌ریشه‌ها تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفت اما وزن‌تر ریشه در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال تا ۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت این امر می‌تواند ناشی از افزایش موقتی رشد ریشه‌ها در شرایط تنش برای جذب آب بیش‌تر و حفظ پتانسیل اسمزی در گیاه تحت شرایط تنش آبی باشد (۴). در پژوهش حاضر پتانسیل آب برگ در تیمار ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد اما در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بیش از ۸۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این امر می‌تواند نمایانگر این موضوع باشد که خیار می‌تواند تا حد پتانسیل آب ۰/۴- مگاپاسکال بدون ایجاد اختلالی در روابط آبی گیاه تحمل نماید. در پژوهشی دیگر کاهش پتانسیل آب را به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق و جذب آب دانسته‌اند (۲۰). از آنجایی که پتاسیم یک عنصر متحرک در گیاه می‌باشد و با جریان آب در آوند چوبی حرکت می‌کند در پژوهش حاضر با

میزان هدایت روزنه‌ای، تعرق و فتوستنتز در گیاهان غیرپیوندی بالاتر است؛ اما هدایت مزوفیلی تحت تأثیر پیوند و سطوح خشکی اعمال شده قرار نگرفت. کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب فتوستنتزی در تیمار شاهد غیرپیوندی با ۴۶ درصد کاهش نسبت به شاهد پیوندی مشاهده شد و در سایر تیمارهای این شاخص افزایش یافت. از آنجایی که کارایی مصرف آب فتوستنتزی حاصل تقسیم شدت فتوستنتز به تعرق می‌باشد این امر احتمالاً به این دلیل است که فتوستنتز آن‌چنان تحت تأثیر تیمارهای خشکی قرار نگرفته است (۱۵). در پژوهش حاضر پروتئین کل و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفتند. برخلاف آن‌ها فعالیت آنزیم پراکسیداز حداکثر فعالیت را در تیمارهای شاهد پیوندی و ۴/۰- مگاپاسکال × غیرپیوندی و حداقل مقدار با ۶۰ درصد کاهش نسبت به شاهد غیرپیوندی در خشکی ۸/۰- مگاپاسکال غیرپیوندی دیده شد. احتمالاً در پژوهش حاضر افزایش حفظ فتوستنتز بالاتری در گیاهان غیرپیوندی به دلیل فعالیت پراکسیداز می‌تواند باشد؛ زیرا در پژوهشی دیگر مشاهده شده است که تحت شرایط تنش با احیا بیش‌ازاندازه زنجیره انتقال الکترون آسیب‌های فتوستنتزی رخ می‌دهد و به دنبال آن چرخه ROS فعال می‌گردد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به حفظ فعالیت سیستم غشاها و فتوستنتز کمک می‌کند (۲).

### نتیجه‌گیری

در بسیاری از کشورهای آسیایی سال‌هاست که پیوند سبزی‌ها با موفقیت انجام می‌گیرد. در این پژوهش دیده شد که انتخاب پایه مناسب می‌تواند روشی کم‌هزینه و کارا در القا مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی باشد. می‌توان از پیوند به‌عنوان یک تکنیک کارآمد جهت افزایش مقاومت بوته‌های خیار نسبت به تنش خشکی (اعمال شده توسط پلی اتیلن گلیکول) استفاده کرد. بدیهی است پایه مناسب می‌تواند از طریق القای مقاومت به تنش سبب افزایش عملکرد اقتصادی خیار نیز گردد.

اثرات متقابل پیوند و سطوح خشکی سطوح خشکی تفاوت معنی‌داری را در میزان وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر ریشه‌ها ایجاد نکردند اما پیوند سبب افزایش قابل‌توجهی در این شاخص‌ها گردید. در پژوهشی بر روی گوجه‌فرنگی‌های تحت شرایط تنش گیاهان پیوند شده با افزایش مقاومت گیاه عملکرد بیش‌تری را تولید کردند (۹). میزان وزن خشک ریشه‌های پیوندی به‌طور قابل‌توجهی از گیاهان غیرپیوندی بیش‌تر بود اما در خشکی ۸/۰- مگاپاسکال وزن خشک ریشه‌های غیرپیوندی با گیاهان پیوندی برابری کرده است که این امر ممکن است ناشی از رشد بیش‌تر ریشه‌های موئین به‌منظور جذب آب بیش‌تر توسط گیاه باشد. در گزارشی دیگر دلیل این امر را پایین بودن غلظت یون‌های موجود در شاخساره گیاهان غیرپیوندی تحت تنش دانسته‌اند که منجر به رشد بیش‌تر ریشه‌ها می‌گردد (۱۶). در پژوهش حاضر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی بیش‌تر بوده است و به نظر می‌رسد که مکانیسم افزایش تحمل به تنش خشکی از گیاهان پیوندی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولی نباشد. با افزایش معنی‌دار پرولین در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و همچنین افزایش بیش‌تر پتاسیم در خشکی ۸/۰- مگاپاسکال در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی به نظر می‌رسد که مکانیسم تحمل به خشکی اعمال شده پایه‌ها از طریق حفظ تعادل اسمزی و برقراری هموستازی پتاسیم می‌باشد که از این طریق پتانسیل درون گیاه را منفی‌تر از خاک کرده و به افزایش جذب آب از طریق ریشه‌ها کمک می‌نماید (۱۷ و ۱). بیش‌ترین مقدار پتانسیل اسمزی برگ‌ها در تیمار فاقد خشکی و ۴/۰- مگاپاسکال و در گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد و در سایر تیمارها کاهش یافت. احتمالاً به دلیل تیمار خشکی و تحت تأثیر قرار گرفتن جریان تبخیر و جذب آب توسط گیاه کاهش یافته و به دنبال آن پتانسیل آب برگ نیز کاهش می‌یابد (۱۴). هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن کاهش میزان کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ها فتوستنتز کاهش می‌یابد (۴) احتمالاً به همین دلیل و همچنین کاهش کم‌تر پتانسیل اسمزی در پژوهش حاضر تحت شرایط خشکی

### منابع

- 1- Albacete A., Martínez-Andújar C., Ghanem M.E., Acosta M., Sánchez-Bravo J., Asins M.J., Cuartero J., Lutts S., Dodd I.C., and Pérez-Alfocea F. 2009. Rootstock-mediated changes in xylem ionic and hormonal status are correlated with delayed leaf senescence, and increased leaf area and crop productivity in salinized tomato. *Plant Cell and Environment* 32: 928-938.
- 2- Ashraf M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances* 27: 84-93.
- 3- Bates L., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- 4- Chance B., and Maehly A.C. 1955. Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology* 2: 764-775.
- 5- Chaumont F., and Tyerman S.D. 2014. Aquaporins highly regulated channels controlling plant water relations. *Plant*

- Physiology 113: 233791.
- 6- 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.
  - 7- Cuartero J., Bolarin M.C., Asins M.J., and Moreno V. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. *Journal of Experimental Botany* 57: 1045-1058.
  - 8- Ding L., Gao C., Li Y., Zhu Y., Xu G., Shen Q., Kaldenhoff R., Kai L., and Guo Sh. 2015. The enhanced drought tolerance of rice plants under ammonium is related to aquaporin (AQP). *Plant Science* 234: 14-21.
  - 9- Estan M.T., Martinez-Rodriguez M.M., Perez-Alfocea F., Flowers T.J., and Bolarin M.C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany* 56: 703-712.
  - 10- Ganjali A., Porsa H., and Bagheri A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. *Agricultural Water Management* 98: 1477-1484.
  - 11- García-Sánchez F., Syvertsen J., Gimeno V., Botía P., and Perez-Perez J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum* 130: 532-542.
  - 12- Goreta S., Bucevic-Popovic V., Selak G.V., Pavela-Vrancic M., and Perica S. 2008. Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. *The Journal of Agricultural Science* 146: 695-704.
  - 13- Huang Y., Tang R., Cao Q., and Bie Z. 2009a. Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. *Scientia Horticulturae* 122: 26-31.
  - 14- Huang Y., Zhu J., Zhen A., Chen L., and Bie Z.L. 2009b. Organic and inorganic solutes accumulation in the leaves and roots of grafted and ungrafted cucumber plants in response to NaCl stress. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 703-708.
  - 15- Karaba A., Dixit S., Greco R., Aharoni A., Trijatmiko K.R., Marsch-Martinez N., Krishnan A., Nataraja K. N., Udayakumar M., and Pereira A. 2007. Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerant gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 15270-15275.
  - 16- Martinez-Rodriguez M.M., Estan M.T., Moyano E., Garcia-Abellan J.O., Flores F.B., Campos J.F., Al-Azzawi M.J., Flowers T.J., and Bolarin M.C. 2008. The effectiveness grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany* 63: 392-401.
  - 17- Munns R., and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
  - 18- Roupheal Y., Cardarelli M., Colla G., and Rea E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Horticultural Science* 43: 730-736.
  - 19- Sanders P.L., and Markhart A.H. 1992. Interspecific grafts demonstrate root system control of leaf water status in water-stressed Phaseolus. *The Journal of Experimental Botany* 43: 1563-1567.
  - 20- Satisha J., Prakash G.S., Bhatt R.M., and Sampath Kumar P. 2007. Physiological mechanisms of water use efficiency in grape rootstocks under drought conditions. *International Journal of Agricultural Research* 2: 159-164.
  - 21- Schwarz D., Roupheal Y., Colla G., and Venema J.H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae* 127: 162-171.
  - 22- Serraj R., and Sinclair T.R. 1996. Processes contributing to N<sub>2</sub>-fixation insensitivity to drought in the soybean cultivar Jackson. *Crop Science* 36: 961-968.
  - 23- Sharp R.E., Poroyko V., Hejlek L.G., Spollen W.G., Springer G.K., Bohnert H.J., and Nguyen H.T. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *The Journal of Experimental Botany* 55: 2343-2351.
  - 24- Sing R.P., Chidambara Murthy K.N., and Jayaprakash G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using in vitro models. *The Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 81-86.
  - 25- Tanji K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. p. 537-582. In ED. k. k. TANji.(ed). *Agricultural Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers, New York.
  - 26- Turner N.C. 2003. Adaptation to drought: lessons from studies with chickpea. *Indian Journal of Plant Physiology* 11-17. (Special Issue)
  - 27- Uhrts R. 1974. Effect of the osmotic Pressure on water absorption germination of alfalfa seeds. *American Journal of Botany* 33: 278-285.
  - 28- Yu L., Haley S., Perret J., Harris M., Wilson J., and Qian M. 2002. Free radical scavenging properties of wheat extracts. *Agricultural and Food Chemistry* 50: 1619-1624.
  - 29- Zhong Y.Q., and Bie Z.L. 2007. Effects of grafting on the growth and quality of cucumber fruits. *Acta Horticulturae* 761: 341-347.
  - 30- Zhu J., Bie Z.L., Huang Y., and Han X.X. 2008. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. *Soil Science and Plant Nutrition* 54: 895-902.





## Improving Physiological Characteristics of Grafted Cucumber under Drought Stress

M. Haghghi<sup>1\*</sup> - A. Sheibanirad<sup>2</sup>

Received: 26-06-2019

Accepted: 12-010-2020

**Introduction:** Plants are constantly faced with abiotic and biotic stresses during their whole life. Abiotic stresses are various adverse environmental factors, including drought, high salinity, heavy metals, cold or heat shock, and ozone. Resulting in dehydration and osmotic stress, drought has caused a dramatic reduction in crop production globally. Grafting can reduce the content of Malondialdehyde (MDA); prevent the accumulation of reactive oxygen species (ROS); increase activities of antioxidant enzymes; and maintain fresh and dry weights, grain yield, and relative water content in a variety of plants in response to drought stress. On the other hand, a range of abiotic and biotic elicitors can confer tolerance to drought stress in plants. Grafting of herbaceous fruit vegetables can reduce detrimental effects of biotic and abiotic challenges and cultural practices. Grafting can increase yield of cucurbits, initiate shoot growth, aid in resistance against nematodes and viruses, withstand high and low temperatures, improve nutrient and water absorption, resist against high concentration of salt, drought and waterlogging stresses. Grafting elite commercial cultivars onto selected vigorous rootstocks is a special method of adapting plants to counteract environmental stresses. Grafting is currently regarded as a rapid alternative tool to the relatively slow breeding methodology for increasing the environmental-stress tolerance of fruiting vegetables. Potential approach to reduce losses in production and improve water use efficiency under drought conditions in high-yielding genotypes would be to graft these varieties onto proper rootstocks capable of reducing the effect of water stress on the shoot and to increase tolerance to abiotic stresses. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the main greenhouse vegetable crops widely grown in Saudi Arabia. The total greenhouse area for cucumber production in 2013 was 2605 hectares produced 236,087 tons. Major factor influencing growth and yield of cucumber is water quantity. The effects of different rootstocks on plant growth, yield, fruit quality and water consumption in cucumber was studied. The highest yield was obtained from 9075 (19.02 kg m<sup>2</sup>), which was 24.5 and 23.5% higher than in the non-grafted and self-grafted treatments, respectively. The plant height also increased with the use of rootstocks. The increase in the dry weights of the leaves and fruits depended on rootstocks. They concluded that grafting improved plant growth and yield depending on the rootstock genotype. Grafting has the potential to be as a strategy to increase the tolerance of plants to promote water use efficiency (WUE). The present study was aimed to evaluate the grafting biochemical and physiological effects on inducing drought stress resistance in cucumber.

**Materials and Methods:** This experiment was conducted in complete randomized design with three replications and treatments are included grafted and ungrafted plants, and water potential level 0 (control), -0.4 and -0.8 MP. The Isfahan endemic cucumber species as a scion with the hole method grafted on Ferro rootstock. The physiological and growth traits were measured. Photosynthesis (stomata conductance, photosynthesis, water use efficiency), growth (root and stem growth), and antioxidants (SOD, POD, protein) parameters, and transpiration were measured.

**Results and Discussion:** Result indicated that grafting with increasing root nutrient absorption and its development drought stress resistance improved. Although, grafting reduced potassium content. Grafting and the interaction of rootstock × scion impressed many morphological and physiological characteristics. Under stress condition, some features improved plant water relationship, growth and development. Gas exchange indices like photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were lower in grafted plant compare to ungrafted plants. Proline content was significantly increased in grafted treatments compare to ungrafted ones. Higher potassium under -0.8 MP in grafted plants showed the maintenance osmotic stability and potassium homeostasis were the drought stress mechanism in resistant rootstocks.

**Conclusion:** Finally, grafting as an efficient method to increase cucumber yield and improve drought

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, respectively.

(\*- Corresponding Author: Email: mhaghghi@cc.iut.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.81113



resistance recommend. These results suggest that the use of drought tolerant *Cucurbita* rootstock can improve cucumber photosynthetic capacity under drought stress and consequently crop performance. The results revealed that grafted plants had better vegetative growth than ungrafted (control) ones. Furthermore, photosynthetic parameter, antioxidant activity and fresh and dry weight of stem and leaves were improved, but grafting had no significant effect on fruit quality and yield. In conclusion it is recommended that grafting procedure in some crops include cucumber should be done only after assuring the benefits and risks of grafted seedlings.

**Keywords:** Antioxidant enzyme, Gas exchange, Greenhouse vegetable