

بررسی برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چند گونه رز بومی ایران به تنش کم آبی

ندا جلالی^۱، روح‌انگیز نادری^{۲*} و عزیزاله خندان میرکوهی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استاد و استادیار، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷)

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل محدود کننده توسعه فضای سبز می‌باشد. به منظور بررسی پاسخ چهار گونه رز وحشی (*Rosa canina*، *R. persica* و *R. orientalis*، *R. beggeriana*) به تنش کم آبی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل گونه‌های رز و عامل دوم تنش کم آبی با سه سطح (شاهد (۰/۰۳)، ۰/۸- (متوسط) و ۱/۵- (شدید) مگاپاسکال پتانسیل آب خاک) انجام شد. گیاهان یکساله حاصل از پاجوش‌های گونه‌های مذکور تحت تیمار تنش کم آبی قرار گرفتند. براساس نتایج وزن برگ در واحد سطح (LMA) بین گونه‌ها متفاوت بود و تنش کم آبی بر آن اثری نداشت. تنش کم آبی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ (RWC)، شاخص عملکرد (PI)، مقدار کلروفیل و افزایش مقدار نشت یونی و مقدار مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در *R. persica* شد. در گونه *R. canina* تنش کم آبی موجب کاهش RWC، PI و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) و افزایش مقدار نشت یونی و MDA شد. در گونه *R. beggeriana* تنش کم آبی سبب افزایش نشت یونی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد و در بقیه صفات تفاوت نامحسوس بود. در گونه *R. orientalis* تنش کم آبی موجب تغییرات چندانی در صفات مورد بررسی نشد. بر اساس نتایج *R. orientalis* و سپس *R. beggeriana* به شرایط تنش کم آبی متحمل تر هستند.

واژه‌های کلیدی: خشکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کلروفیل، مالون‌دی‌آلدهید.

Study of some physiological and biochemical reactions in some Iranian native roses to water deficit stress

Neda Jalali¹, Rohangiz Naderi^{2*} and Azizollah Khandan-Mirkohi³

1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Professor and Assistant Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jan. 07, 2020- Accepted: Mar. 07, 2021)

ABSTRACT

Drought stress is one of limitation factors in landscape expansion. In order to investigate response of four wild roses species (*Rosa canina*, *R. beggeriana*, *R. orientalis* & *R. persica*) to water deficit, a factorial experiment was carried out in a completely randomized block design with two factors *Rosa* species and water deficit at three levels (control (-0.03), -0.8 (moderate) & -1.5 (Severe) MPa). One year old plant obtained from mentioned rose sucker were subjected to water deficit treatment. Based on the results, leaf mass area (LMA) was different between species and water deficit had no effect on that. Water deficit caused decreased relative leaf water content (RWC), performance index (PI), chlorophyll content and increased electric leakage (EL) and malondialdehyde (MDA) in *R. persica*. In *R. canina* RWC, PI and free radical scavenging capacity (DPPH) decreased and EL and MDA increased. In *R. beggeriana* EL and DPPH increased and in other characteristics difference was invisible. In *R. orientalis* water deficit had no dramatic effect on traits. Based on the results *R. orientalis* and then *R. beggeriana* are more tolerable to drought stress.

Keywords: Antioxidant capacity, chlorophyll, drought, malondialdehyde.

* Corresponding author E-mail: rnaderi@ut.ac.ir

مقدمه

فضای سبز یک قسمت حیاتی از محیط شهری می‌باشد که سلامت محیط زیست و انسان، اثرات مثبت روانی در جامعه و اقتصاد را فراهم می‌کند (Lee *et al.*, 2015). کمبود آب و کیفیت پایین آب از مشکلات اساسی باغبانی و فضای سبز در بسیاری از نقاط دنیا می‌باشد که رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی موجب رقابت بیشتر برای مصرف آب در کشاورزی، صنعت و استفاده‌های شهری شده است (Lea-Cox & Ross, 2001).

کمبود آب یکی از معمول‌ترین تنش‌هایی است که در فضای سبز با آن مواجه می‌شویم که خشکی استقرار، بقا، رشد و عملکرد درختان و درختچه‌ها در محیط‌های فضای سبز شهری را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Amisshah *et al.*, 2015). یکی از استراتژی‌های بهبود فضای سبز می‌تواند انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی باشد (Niu *et al.*, 2008). شناسایی آستانه مقاومت گیاهان زینتی به کم‌آبی، به صنایع سبز، فضای سبز و استفاده کنندگان خانگی در افزایش کارایی آبیاری با زمان‌بندی آبیاری و مقدار آب آبیاری مورد نیاز واقعی کمک خواهد کرد (Niu *et al.*, 2006).

کشورمان ایران با میانگین بارش سالیانه کم (۲۵۰ میلی‌متر در سال) جز مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود که همین میزان بارندگی نیز در سطوح بارشی محدود می‌باشد به طوری که ۷۰ درصد بارندگی در ۲۵ درصد کشور صورت می‌گیرد. بنابراین مشکل تامین آب یک مسئله پایدار و دائمی است که از زمان شروع کشاورزی در ایران همیشه وجود داشته است (Farzam, 2009).

در ایران، گونه‌های رز تقریباً در تمام نقاط به جز مناطق جنوبی پراکنده می‌باشند (Rechinger, 1982). رزهای هیبرید ارقام باغی بوسیله پیوند جوانه تکثیر می‌شوند و پیوند جوانه یک روش تجاری شناخته شده تکثیر رزها در سراسر دنیا می‌باشد (Gault & Synge, 1987). اکثریت ارقام جدید رزی که به فروش می‌رسند، پایه‌هایی هستند که از طریق پیوند جوانه ازدیاد یافته‌اند (Halevy, 1986). رزهای وحشی در گلکاری جایگاه ویژه‌ای به عنوان پایه برای پیوند یا اصلاح گونه‌های رز

مورد کشت و کار دارند (Tkalec *et al.*, 2012). امروزه، اصلاح‌گران بر اهمیت استفاده دوباره از ژرم پلاسما گونه‌های وحشی و ارقام قدیمی برای رسیدن به اهداف اصلاحی خاص تاکید می‌کنند. شمار زیادی از گونه‌های رز که ممکن است دارای صفات ارزشمندی باشند، مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند. خصوصیات قابل توجهی در گونه‌های وحشی رز مشاهده شده است که می‌توان مقاومت زیاد به شرایط نامساعد محیطی، دارا بودن عطر فراوان و خار کم، میزان ویتامین C زیاد در هیپانتیوم و مقاومت بالا به بیماری‌ها را نام برد. این صفات مطلوب که در گونه‌های وحشی رز و ارقام قدیمی‌تر وجود دارند، می‌توانند جهت انتقال به درون ارقام مدرن مورد بهره‌برداری بیش‌تری قرار گیرند (Zlesak, 2007).

در دهه‌های گذشته مطالعات بسیاری پاسخ‌های فیزیولوژیکی، مولکولی و بیوشیمیایی گیاهان به کم‌آبی را گزارش کرده‌اند. اندازه‌گیری برخی شاخص‌ها با کمبود آب ارتباط دارند مانند مقدار کلروفیل، محتوای نسبی آب (RWC) و نشت یونی (EL) که به عنوان معیارهای قابل توجهی در گیاه محسوب می‌شوند. رنگیزه‌های فتوسنتزی به گیاه اجازه جذب انرژی نورانی را می‌دهند، بنابراین مقدار کلروفیل قسمت سبز گیاه یک عامل کلیدی است که عملکرد فتوسنتز گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Taiz & Zeiger, 1998). فتوسنتز از فرآیندهای اولیه برای تولید بیوماس گیاه است و یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی به تنش‌های محیطی می‌باشد (Farooq *et al.*, 2009). بنابراین توانایی نگه داشتن یک میزان قابل قبول فتوسنتز تحت شرایط تنش می‌تواند یک نشانگر سازگاری گیاه باشد (Niu & Rodriguez, 2009). مقدار نسبی آب نیز یک میانگین مفید برای تعیین وضعیت آب فیزیولوژیکی گیاه است. مقدار نسبی آب نشانگر درجه تنش خشکی است (Ahmadizadeh, 2013). Niu & Rodriguez (2009) گزارش کردند که مقدار فتوسنتز در رز رقم 'Dr. Huey'، *R. multiflora* و *R. odorata* با سرعت در طی دوره کم‌آبی کاهش یافت و فتوسنتز در 'Dr. Huey' و *R. fortuniana* با مقدار RWC برگ همبستگی نزدیکی داشت در صورتی که این همبستگی

با توجه به وجود تنوع بالا و گسترش وسیع گونه‌های مختلف رز وحشی در ایران، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به تنش در مورد گونه‌های رز بومی ایران محدود بوده و مطالعه پاسخ رزها به تنش‌های محیطی دارای اهمیت افزاینده در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد، چرا که علاوه بر امکان کاربرد آنها به عنوان پایه در رزهای فضای سبز، شناسایی مکانیسم‌های پاسخ این گونه‌ها اطلاعات مفیدی را برای اصلاح‌گران در ایجاد ارقام جدید یا بهبود ارقام رز فراهم می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تنش کم‌آبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی در چهار گونه رز بومی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فضای باز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج در سال ۱۳۹۴ به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول گونه‌های رز شامل چهار سطح رز وحشی شامل *Rosa canina* L. (گونه‌ای که کاربرد تجاری به عنوان پایه برای رز فضای سبز هم دارد)، *R. orientalis* Dupont ex *R. persica* Michx. و *R. beggeriana* Schrenk. Ser ex Juss. و عامل دوم تنش کم‌آبی شامل سه سطح تنش کم‌آبی شاهد (۰/۰۳- مگاپاسکال)، تنش متوسط (۰/۸- مگاپاسکال) و تنش شدید (۱/۵ مگاپاسکال) به منزله فاکتور دوم بودند. اطلاعات محل جمع‌آوری گونه‌ها در جدول ۱ آمده است. پس از شناسایی محل پراکنش گونه‌های مذکور با استفاده از فلور ایرانیکا و مطالعات سایر محققین (Samiei et al., 2010) پاجوش‌های آنها در اسفند ۱۳۹۲ جمع‌آوری و به گروه علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال داده شد.

در *R. odorata* وجود نداشت. و بطور کلی در رطوبت کم *R. odorata* مقدار فتوسنتز کمتری از سایر پایه‌ها نشان داد. Gholami & Rahemi (2010) نیز کاهش معنی‌دار مقدار RWC را در رز مینیاتور رقم مشکین- جان بعد از ۲۱ روز از کم‌آبی مشاهده کردند که ۶۴/۵ درصد نسبت به قبل کاهش یافت و بعد از آبیاری دوباره مقدار آن به شاهد نزدیک شد.

انتشار فلورسنس کلروفیل به عنوان یک نشانگر فتوشیمیایی اولیه از فتوسنتز شناخته شده است و برای اثبات وجود تنش‌ها به کار می‌رود. فلورسنس کلروفیل همچنین اطلاعاتی در مورد چرخه احیای کربن فراهم می‌کند. متابولیسم کربن از طریق مصرف ATP و NADPH، شیب پروتون، وضعیت اکسایش-کاهش پذیرنده اولیه الکترون در فتوسیستم II و به دنبال آن عملکرد فلورسنس را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ogren, 1990).

در مورد کلروفیل فلورسنس در رزها De Dauw et al. (2013) جمعیت F_1 دیپلوئید رزهای حاصل از تلاقی *Rosa* 'Yesterday' × *Rosa wichurana* را برای تحمل به کم‌آبی غربالگری کردند و مقدار شاخص عملکرد کوآنتومی موثر فتوسیستم II (Y(II)) را اندازه‌گیری کردند. بین دو گروه گیاهان تنش دیده و شاهد نتایج مشابهی دیده شد و شاخص (Y(II)) برای تمایز رزها در آن مطالعه شاخص قابل اعتمادی نبود. ذخیره آبی محدود تحت شرایط کم‌آبی، تنش اکسیداسیونی را با تولید فوق‌العاده گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (ROS) تحریک می‌کند. کاهش جریان CO_2 با بسته شدن روزنه‌ها یا فعالیت معیوب آنزیم‌ها و آسیب دستگاه‌های فتوسنتزی تحت تنش آبی منجر به تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر مانند O_2^- ، H_2O_2 ، RO و OH- می‌شود (Flexas & Medrano, 2002; Lawlor & Cornic, 2002).

جدول ۱. محل جمع‌آوری نسترن‌های ایرانی و شناسایی گونه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Collection site of Iranian rose and identification of studied species.

Number	Province	Collection site	Species
1	Karaj	Collection of Faculty of Agriculture	<i>R. canina</i> L.
2	Tehran	Emamzadeh Davood	<i>R. orientalis</i> Dupont ex Ser.
3	Semnan	Shahroud	<i>R. beggeriana</i> Schrenk
4	Semnan	Tash	<i>R. persica</i> Michx. ex Juss.

قرار گرفتند. اعمال تنش بصورت قطع آبیاری انجام شد بطوری که تنش در گروه دوم تا ۰/۸- مگاپاسکال و دسته سوم تا ۱/۵- مگاپاسکال اعمال شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک از دستگاه رطوبت سنج TDR (Spectrum, FieldScout) استفاده شد. در زمان رسیدن به سطح تنش مورد نظر از گیاهان نمونه برگ‌ری تهیه شد سپس گیاهان تنش دیده مجدداً آبیاری شدند تا قابلیت برگ‌گشت‌پذیری گونه‌ها بررسی شود، به این منظور یک روز و یک هفته بعد از آبیاری مجدداً نمونه‌برداری‌ها تکرار شد.

صفات مورد ارزیابی

وزن برگ در واحد سطح (LMA)

برای اندازه‌گیری این صفت، ابتدا سطح هر برگ کامل (هفت برگچه) جمع‌آوری شده با استفاده از دستگاه سطح سنج (Delta T, England) اندازه‌گیری شد و سپس به آن ۸۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند و بعد از خشک شدن کامل، وزن خشک (DW) برگ‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه (۱) وزن برگ در واحد سطح محاسبه شد.

$$LMA = (DW/LA) \quad (1)$$

محتوای نسبی آب (RWC) برگ

محتوای نسبی آب برگ با روش (Turner 1981) انجام شد. وزن تر برگ‌های کامل (FW) اندازه‌گیری شده و سپس هر برگ جداگانه درون ظرف آزمایشگاهی قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند، پس از آن دوباره وزن شدند و وزن تورژسانس (TW) اندازه‌گیری شد سپس به آن ۸۰ درجه سانتی‌گراد انتقال یافته بعد از خشک‌شدن وزن خشک (DW) آنها ثبت شد. RWC با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$RWC\% = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (2)$$

تعداد ۱۵۰ عدد پاجوش از هر گونه در گلدان‌های پلاستیکی سیاه با حجم ۱۰ لیتر کشت شدند. از یک لایه سنگریزه برای ایجاد زهکش در کف گلدان‌ها استفاده گردید. بستر مورد استفاده در گلدان‌ها مخلوطی از خاک باغچه، ماسه و خاکبرگ به نسبت ۱:۱:۲ بود. برای جلوگیری از نفوذ ریشه گیاهان به خاک و عدم انسداد زهکش، گلدان‌ها روی سطح غیرقابل نفوذ قرار داده شدند. گلدان‌های حاوی پاجوش‌های تازه کشت شده در فضای باز قرار داده شدند و به مدت یک سال نگهداری و رسیدگی شدند. تا قبل از انجام تیمارهای تنش کم‌آبی به خوبی مستقر شده و رشد نمایند. هر ماه یکبار محلول پاشی برگ‌ری با کود کامل NPK ۲۰-۲۰-۲۰ حاوی عناصر ریزمغذی انجام شد. حذف علف‌های هرز گلدان‌ها به صورت دستی انجام گرفت. به منظور تعیین خصوصیات مخلوط بستر استفاده شده، از بستر گلدان‌ها نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه آبیاری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال داده شدند. تعیین ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری انجام شد (جدول ۲).

در سال دوم گیاهان هم اندازه که به خوبی استقرار یافته بودند و رشد مناسبی داشتند انتخاب شده و برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. قبل از شروع آزمایش به منظور کاهش اثر دما و تابش نور خورشید بر تبخیر آب از سطح خاک و نیز افزایش دقت آزمایش، خاک گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شدند (Gholami et al., 2012). برای انجام آزمایش از هر گونه رز وحشی (چهار گونه) مورد بررسی، سه دسته گلدان ۲۰ تایی انتخاب شد. گروه اول تا ظرفیت مزراع‌ای آبیاری و به عنوان شاهد محسوب شدند گروه دوم و سوم دسته‌هایی بودند که تحت تنش خشکی

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 2. Physical and chemical characteristics of used soil.

Soil composition	Soil Texture	pH	EC (ds m ⁻¹)	Field capacity (FC)	Permanent wilting point (PWP)
Garden soil, sand and leaf compost 2:1:1	Sandy loam	7.8	2.65	30.41%	11.84%

$$Fv/Fm = (Fm - F_0) / Fm \quad (۴)$$

F_0 : فلورسانس اولیه، Fm : فلورسانس حداکثر، Fv : فلورسانس متغییر

$$PI = RC / ABS \quad (۵)$$

RC : مرکز واکنش فتوسیستم II، ABS : جریان جذب انرژی.

مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری کلروفیل a ، b ، کل و کاروتنوئیدهای برگ با استفاده از روش Lichtenthaler (1987) انجام گرفت و بر اساس روابط (۶) محاسبه شد.

$$Chl_a = 12.25 \times A_{663} - 2.79 \times A_{645} \quad (۶)$$

$$Chl_b = 21.50 \times A_{645} - 5.10 \times A_{663}$$

$$Chl_{a+b} = 7.15 \times A_{663} + 18.71 \times A_{645}$$

$$C_{x+c} = (1000 \times A_{470} - 1.82 \times Chl_a - 85.02 \times Chl_b) / 198$$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌ها از راه خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۱،۱-دی‌فنیل-۲-پیکریل‌هیدرازیل) با روش Falchi *et al.* (2006) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر انجام و با استفاده از رابطه (۷) محاسبه گردید.

$$DPPH\% = 100 - [(A_{517} / A_0) \times 100] \quad (۷)$$

A_0 : جذب DPPH بدون نمونه

A_{517} : جذب DPPH با نمونه

نتایج و بحث

وزن برگ در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی بر LMA تاثیر معنی‌داری نداشت، اما این صفت بین گونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۳). بیشترین مقدار LMA در گونه *R. beggeriana* مشاهده شد و کمترین میانگین در *R. persica* به دست آمد (شکل ۱). هر چند تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین *R. orientalis* و *R. canina* با *R. beggeriana* نبود. وزن و سطح برگ دو ویژگی مختلف از اندازه برگ هستند و در حالت عادی برگ‌های بزرگ‌تر به بیومس بیشتری احتیاج دارند (Huang *et al.*,

نشت یونی (EL)

برای سنجش میزان آسیب به غشا و مقدار نشت یونی، مقدار سه گرم از نمونه برگی تهیه و به قطعات یک سانتی‌متری خرد شدند. پس از سه بار شستشو، درون فالكون‌های ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شدند و ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه به هر فالكون اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر آزمایشگاهی قرار داده شدند و پس از آن، هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) توسط EC متر (Metrohm 644) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شدند و بعد از خنک شدن EC آنها مجدداً اندازه‌گیری شد (EC_2). مقدار EL طبق رابطه‌ی (۳) محاسبه شد (Eugenia *et al.*, 2003).

$$EL = (EC_1 / EC_2) \times 100 \quad (۳)$$

مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

اندازه‌گیری مقدار پراکسیداسیون لیپیدها با روش Hodges *et al.* (1999) انجام شد. یک میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کربوکسیلیک اسید به ۰/۱ گرم نمونه برگ تازه اضافه شد ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت و بعد از سرد کردن در حمام یخ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۰ دقیقه در سانتی‌فیوژ ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه گذاشته شد و با اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160, Japan) طول موج‌های ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد.

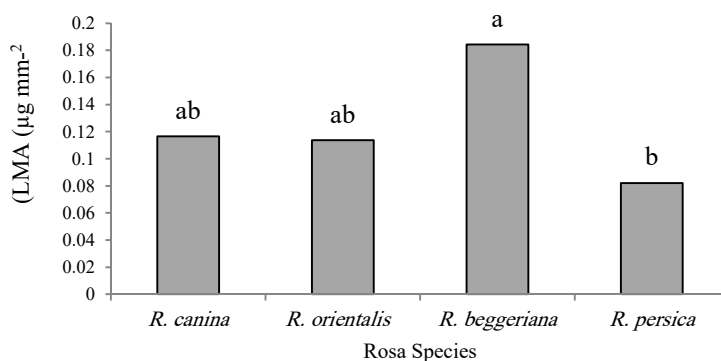
PI و Fv/Fm

با استفاده از دستگاه فلوریمتر قابل حمل (Hansatech Instruments, Handy PEA, Norfolk, UK) اندازه‌گیری‌های فلورسانس کلروفیل a انجام شد. اندازه‌گیری در تمام دوره آزمایش در ساعت بین ۱۰ تا ۱۲ قبل از ظهر صورت گرفت و دوره‌سازی تاریکی به مدت ۲۰ دقیقه در بخشی از پهنک برگچه که از گرد و غبار پاک شده بود انجام شد. صفات شاخص عملکرد (PI) و حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) با روابط ۴ و ۵ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار تنش و گونه و اثر متقابل آنها بر RWC اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). تنش ملایم در همه گونه‌های رز تغییر معنی‌داری در مقدار RWC نسبت به شاهد ایجاد نکرد. در تنش شدید *R. canina* با ۳۰ درصد و بعد آن *R. persica* با ۲۱/۲۸ درصد کاهش نسبت به شاهد بیشترین مقدار کاهش RWC را نسبت به سایرین داشتند و کمترین مقدار تاثیرپذیری از تنش کم‌آبی در *R. orientalis* دیده شد. همه گونه‌ها بعد از آبیاری مجدد از همان یک روز بعد، در هر دو تنش ملایم و شدید توانستند تقریباً به سطح RWC گیاهان شاهد برگردند (شکل ۲).

2019). مقدار LMA بالاتر با طول عمر بیشتر برگ، حفظ مواد غذایی و حفاظت از خشکیدگی مرتبط است. LMA بالاتر احتمالاً به دلیل شرایط انطباقی برگ‌های مناطق خشک با این شرایط همچنین به علت تراکم بالاتر برگ‌ها است (Riva et al., 2016). در این بررسی مقدار بالاتر LMA مشاهده شده در *R. beggeriana* احتمالاً به دلیل تراکم بالاتر برگ‌ها (داده‌ها ارائه نشده) است که موجب LMA بالاتر می‌شود. در مورد *R. orientalis* مسئله متفاوت بود و با وجود تراکم کم برگ‌ها نسبت به سایرین، وزن خشک (برگ‌های ضخیم با کوتیکول زیاد) بیشتر موجب افزایش LMA گردید. با توجه به اینکه دوره مواجهه با تنش کم‌آبی کوتاه بوده است تغییر مهمی در ساختار گیاه ایجاد نشده و اثر آن بر LMA معنی‌دار نبود.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر گونه بر وزن برگ بر واحد سطح (LMA) رز وحشی.

Figure 1. Mean comparison effect of species on leaf mass per unit area (LMA) of wild rose.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و گونه بر شاخص‌های مورد ارزیابی رز وحشی.

Table 3. Results of variance analysis effect of water deficit and species on studied parameters of wild rose.

Mean of squares							
Source of variation	df	LMA	RWC	EL	MDA	Fv/Fm	
Water deficit (W)	6	1.44 ns	458.82**	21215.01**	240.3**	0.023**	
Species (S)	3	3.89*	102.91*	14557.61**	404.98**	0.034**	
W×S	18	1.22 ns	86.25**	5931.1**	86.98**	0.012**	
Error	54	1.31	36.54	1211.84	18.41	0.003	
CV (%)		29.28	7.91	22.07	7.18	7.67	
Mean of squares							
Source of variation	df	PI	Chl a	Chl b	Total Chl	Carotenoids	DPPH
Water deficit (W)	6	12.31**	14.79**	2.04**	26.79**	1.55**	175.55*
Species (S)	3	17.11**	24.31**	18.82**	78.06**	11.83**	2351.25**
W×S	18	6.9**	5.89**	1.15**	11.78**	1.30**	725.75**
Error	54	2.28	1.67	0.19	2.93	0.45	35.07
CV (%)		9.16	8.14	7.65	7.94	13.57	8.72

* و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. (مخفف صفات به ترتیب: LMA وزن برگ در واحد سطح، RWC محتوای نسبی آب، EL نشت یونی،

MDA مالون دی آلدئید، Fv/Fm حداکثر کارایی کوآنزیمی فتوسیستم II، PI شاخص عملکرد فتوسنتزی، Chl مقدار کلروفیل، DPPH ظرفیت آنتی اکسیدانی کل)

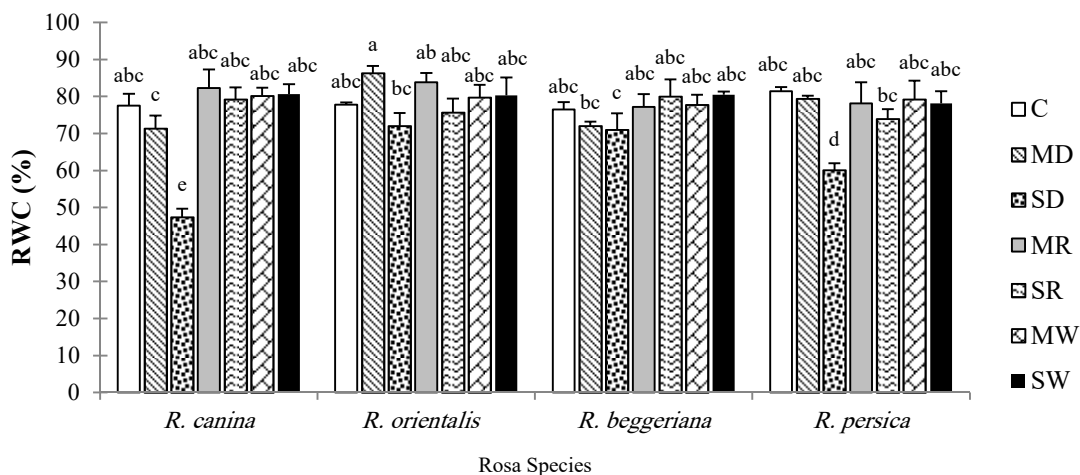
** : Significant difference at 5% and 1% probability level; respectively. (Traits abbreviations: LMA, leaf mass per unit area; RWC, relatively water content; EL, electric leakage; MDA, malondialdehyde; Fv/Fm, maximum quantum efficiency of photosystem II; PI, performance Index; Chl, chlorophyll; DPPH, free radical scavenging capacity).

رفتن زیاد آب و حفظ RWC بیشتر شده است. محتوای نسبی آب برگ به طور نزدیکی با فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه و وضعیت آب خاک همبستگی دارد (Ozkur *et al.*, 2009) و یک ویژگی قابل اعتماد برای غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به کم‌آبی به حساب می‌آید (Rachmilevitch *et al.*, 2006).

نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید

تنش کم‌آبی، گونه‌های رز و اثرمتقابل آنها تفاوت معنی‌داری در مقدار EL داشتند (جدول ۳). بیشترین مقدار EL در تنش کم‌آبی شدید در گونه *R. canina* و *R. persica* به ترتیب با مقادیر ۴۰/۱۱ و ۴۱/۳۸ درصد بود که نشان دهنده تحمل کمتر آنها نسبت به کم‌آبی است و در گونه *R. beggeriana* هم مقدار نشت یونی (۳۱/۰۴) در تنش شدید نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت. مقدار نشت یونی در گونه *R. orientalis* وضعیت متفاوتی داشت و مقدار آن در تنش ملایم نسبت به شاهد کاهش داشت و در تنش کم‌آبی شدید مقدار آن با شاهد از نظر آماری یکسان شد. در همه گونه‌ها آبیاری مجدد سبب برگشت و ترمیم مجدد گیاهان گردید.

Gholami & Rahemi (2010) کاهش معنی‌دار مقدار RWC نسبت به شاهد بعد از قطع آب در رز مینیاتور رقم مشکین جان را گزارش کردند. Niu & Rodriguez (2009) گزارش کردند که در تنش شدید کم‌آبی RWC در پایه‌های رز کاهش یافت. آنها مشاهده کردند که در پایه‌ی 'Dr. Huey' در مقایسه با سایر پایه‌ها RWC با سرعت بیشتری کاهش یافت. Handerson-Cole & Davies (1993) گزارش کردند که مقدار RWC در دو رقم رز فضای آزاد با نیاز نگهداری کم نسبت به دو رقم رز با نیاز به نگهداری بالا بیشتر حفظ شد. آنها علت را با سطح تبخیر شونده کمتر، اندازه برگ منفرد کوچکتر با لایه سطحی مقاوم‌تر و در نتیجه کاهش نیاز به تبخیر مرتبط دانستند. RWC برگ یک شاخص متداول و قابل اعتماد برای تشریح مقدار حساسیت گیاهان به از دست دادن آب می‌باشد (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). در بین گونه‌های رز وحشی مورد بررسی در مطالعه حاضر *R. orientalis* دارای لایه کوتیکول و سطح ضخیم‌تری نسبت به سایر گونه‌ها بود و به نظر می‌رسد این لایه به عنوان یک سد عمل کرده و مانع از دست

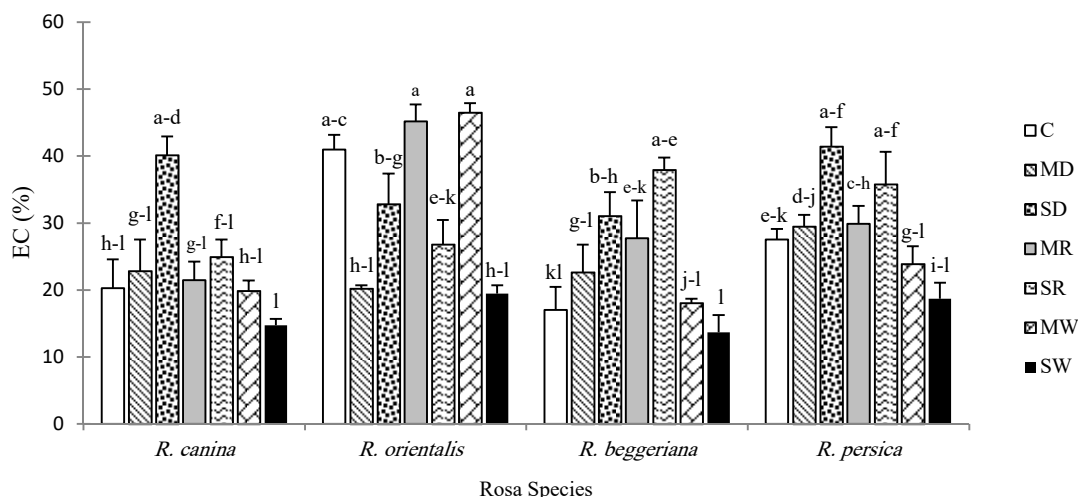


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تنش کم‌آبی بر محتوای نسبی آب رز وحشی (C، شاهد، MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 2. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on relatively water content of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress; MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

(2004) Dhanda *et al.* (Premachandra *et al.*, 1989) بیان کردند که ثبات غشای سلولی قسمت‌های برگ از مهمترین خصوصیات برای غربالگری ژرم پلاسما در تنش کم‌آبی می‌باشد. در زمان کم‌آبی، مقاوم‌سازی دیواره سلولی اتفاق می‌افتد که ظرفیت بسط سلولی را برای حفظ فشار آماس و مهار رشد افزایش می‌دهد (Neuman, 1995). در گیاهان تنش دیده کاهش نشت یونی نشان دهنده تجمع بیشتر اسمولیت‌ها می‌باشد که پتانسیل اسمزی را کاهش و ظرفیت نگه‌داری آب را افزایش می‌دهد (Sperdouli & Moustakas, 2012). کاهش نشت یونی احتمالا به فرآیندهایی که ثبات غشا را حفظ می‌کنند مربوط است و با تنظیم اسمزی و دیواره سلولی ارتباط دارد (Kocheva *et al.*, 2014). آسیب کمتر به غشا می‌تواند با افزایش ظرفیت تجمع قندها در برگ در طی تنش آبی ارتباط داشته باشد. قندها به ویژه دی ساکاریدهای احیا نشده مانند ساکاروز و تری هالوز با غشا سلولی برای افزایش ثبات لایه لیپیدی تماس دارند (در برخی گونه‌ها).

هرچند در *R. persica* و *R. beggeriana* یک روز بعد از تنش شدید نشت یونی باز هم بالا بود اما یک هفته بعد از آبیاری مجدد مقدار نشت یونی کاهش یافت (شکل ۳). غشاهای سلولی اولین هدف حمله در اکثر تنش‌های غیرزیستی می‌باشد. حفظ یکپارچگی و ثبات دیواره سلولی تحت شرایط تنش یک ویژگی گیاهان مقاوم به کم‌آبی می‌باشد (Bajji *et al.*, 2002b). در تنش خشکی بعضی بخش‌های فسفولیپیدهای دولایه‌ای غشا حالت شش وجهی و ساختار غشا منفذدار می‌شود در نتیجه نشت مواد داخل سلول رخ می‌دهد و در نتیجه تنش کم‌آبی سبب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پایداری غشای سلولی می‌شود (Mirjalili, 2005). در انگور رقم بی‌دانه سفید افزایش سطوح تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان نشت یونی شد (Soukhtesaraee *et al.*, 2017). پایداری دیواره سلولی در چمن کنتاکی بلوگراس نیز تحت شرایط تنش خشکی به سرعت کاهش یافت (Wang & Huang, 2004). مقاومت به تنش کم‌آبی با ارزیابی ثبات غشای سلولی بین کولتیوارهای مختلف تحت شرایط کم‌آبی تمایز ایجاد می‌کند و با کاهش در مقدار نسبی رشد تحت تنش همبستگی دارد



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تنش کم‌آبی بر نشت یونی رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه‌برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه‌برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

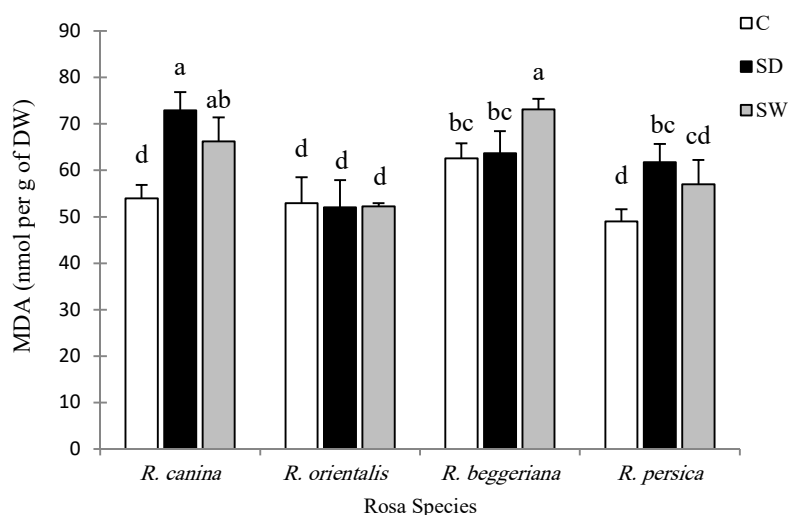
Figure 3. Mean comparison of interaction effects of species and water deficit on electric leakage (EL) of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress, MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

گونه‌های *R. beggeriana* و *R. orientalis* تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۴). افزایش مقدار MDA در برگ‌های گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش کم‌آبی گزارش شده است. ایشان بیان کردند که پراکسیداسیون لیپیدها یکپارچگی غشاهای سلولی را تخریب می‌کند و در نهایت سبب مرگ سلول می‌شود. در یک بررسی دیگر افزایش مقدار MDA در ژنوتیپ‌های حساس به کم‌آبی گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (Kusvuran & Dasgan, 2017). مقدار MDA در گیاهان حساس به تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد و این افزایش با تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ارتباط دارد و ژنوتیپ‌های مختلف در توانایی پاکسازی ROS و یا مقابله در برابر اکسیداسیون با یکدیگر متفاوتند (Mansori et al., 2015).

PI و Fv/Fm

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار تنش و گونه و اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری بر شاخص PI و Fv/Fm داشتند (جدول ۳). تیمارهای تنش کم‌آبی سبب کاهش مقدار PI در همه گونه‌ها شد، هرچند این کاهش تنها در *R. beggeriana* از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

مکانیسم حفاظتی این مواد حل‌شونده هنوز به درستی شناخته نشده است اما آنچه مشخص است، در خشکی، ملکول‌هایی که در حالت طبیعی با گروه سر فسفولیپیدها پیوسته هستند با فندها جایگزین می‌شوند و این موضوع می‌تواند از مرحله جانبی تغییر و تشکیل دامنه لیپیدی که توانایی تشکیل میسل‌های معکوس را دارند و موجب افزایش نشت یونی می‌شوند، جلوگیری کند (Bajji et al., 2002a). افزایش مقدار نشت یونی *R. orientalis* در تنش ملایم احتمالاً به همین دلایل مربوط است که مقاوم‌سازی دیواره سلولی در این مرحله با مواجهه با کم‌آبی انجام گرفته است. مالون‌دی‌آلدئید یکی از محصولات پراکسیداسیون لیپیدی است و یک نشانگر قابل توجه در تنش اکسیداسیونی می‌باشد، لذا مقدار MDA بیشتر با درجه تنش اکسیداسیونی بالاتر مرتبط است (Al Hassan et al., 2015). نتایج حاصل از بررسی نشان داد که تیمار تنش کم‌آبی و گونه اثر معنی‌داری بر MDA داشته‌اند (جدول ۳). مقدار MDA در تیمار تنش شدید در گونه‌های *R. canina* و *R. persica* نسبت به شاهد افزایش نشان داد و بعد از آبیاری مجدد روند نسبت به تنش کم‌آبی روند کاهشی داشتند هرچند تفاوتشان با شاهد معنی‌دار بود. در



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم‌آبیاری بر مالون دی‌آلدئید رز وحشی. (C، شاهد؛ SD، تنش شدید خشکی؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 4. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on malondialdehyde of wild rose. (C, control; SD, severe water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

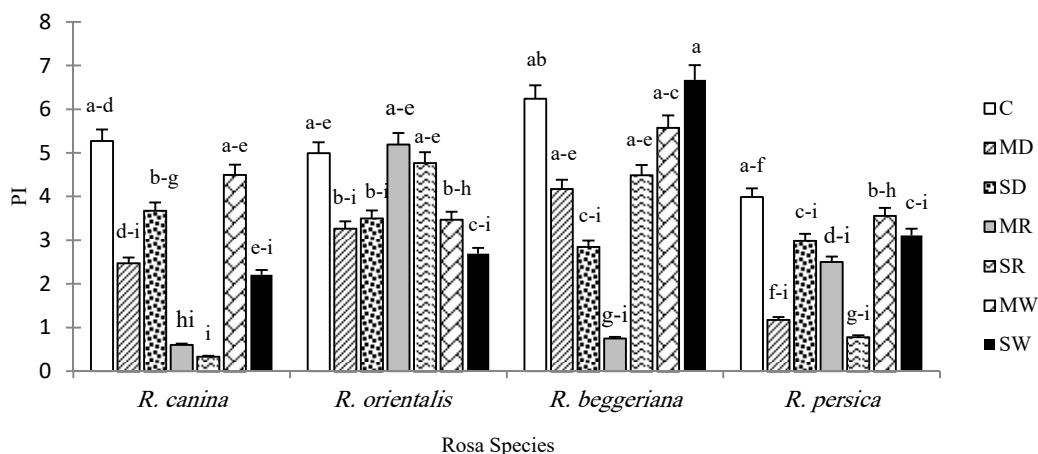
نشان می‌دهد (Rostamabadi *et al.*, 2016) بسیاری از پژوهشگران از جمله Kocheva *et al.* (2004) و Strauss *et al.* (2006) در مطالعات خود دریافتند که این شاخص به تغییرات محیطی چندان حساس نبوده و معیار معتبری برای گزینش ارقام در مقابله با تنش‌های محیطی بشمار نمی‌آید. اما شاخص عملکرد اجازه تجزیه همه جانبه عملکرد فتوسنتزی را فراهم می‌آورد. این صفت ارتباط بین کارایی جذب فوتون و تصرف انرژی برانگیخته در فتوسیستم II، تراکم تعداد مراکز واکنشی و احتمال انتقال الکترون به بعد از پلاستوکینون A توسط انرژی برانگیخته را نشان می‌دهد (Goncalves & Santos, 2005).

تغییرات رنگی‌های فتوسنتزی

تنش کم‌آبی و گونه‌های رز وحشی اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a، b، کل و مقدار کاروتنوئیدها نشان دادند همچنین اثرمتقابل تیمارها نیز تأثیر معنی‌داری بر آنها داشت (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد در همه گونه‌ها، مقدار کلروفیل a نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری طی تنش کم‌آبی نداشت.

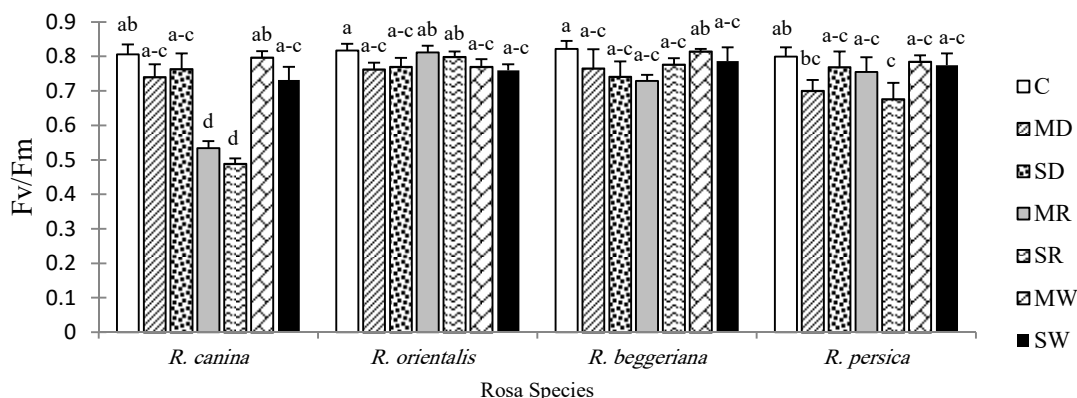
تغییرات PI در گونه *R. orientalis* در طول دوره آزمایش کمتر از سایر گونه‌ها بود و کمتر دستخوش تغییرات نسبت به شاهد شد. روند برگشت‌پذیری در گونه *R. canina* یک روز بعد از آبیاری مجدد پایین بود اما این روند بعد از یک هفته تغییر کرد و گیاه توانست تا حدودی عملکرد خود را نسبت به قبل بهبود بخشد تا حدی که در تنش ملایم شاخص عملکرد به مقدار شاخص عملکرد در شاهد بازگشت (شکل ۵).

شاخص Fv/Fm هر چند اثر معنی‌داری نشان داد اما روند این اختلاف برای تمایز قائل شدن بین گونه‌ها کافی و مناسب نبود (شکل ۶). این نتایج با گزارشات De Dauw *et al.* (2013) مطابقت داشت آنها از این شاخص برای غربالگری بین جمعیت F₁ مقاوم به تنش کم‌آبی استفاده کرده بودند و این شاخص را پارامتر قابل اعتمادی در رزها ندانستند. در این بررسی نیز ثابت شد که شاخص حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری مقدار تنش در رزها نمی‌باشد. شاخص Fv/Fm مقدار تبدیل نور جذبی به انرژی شیمیایی را



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر شاخص عملکرد فتوسنتزی (PI) رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 5. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on performance index (PI) of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress, MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

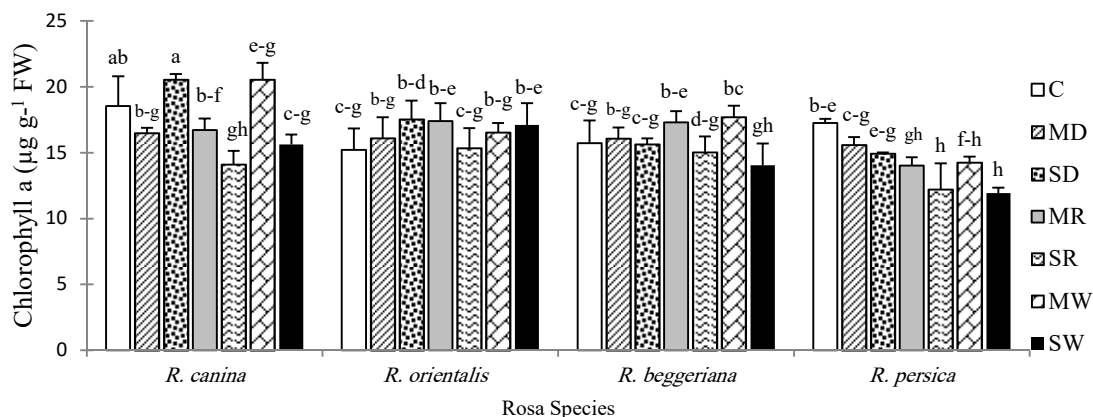
Figure 6. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress, MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

از اثرات تنش کم آبی کاهش تقسیم سلولی و کاهش اندازه سلول است که در نتیجه تعداد کلروپلاست در واحد سطح افزایش پیدا می‌کند و بنابراین مقدار کلروفیل هم زیاد می‌شود (Rahman, 2004). نتایج مشابهی در پاسخ گیاه ریحان و چمن آفریقایی به خشکی مشاهده شده است (Moghadam *et al.*, 2015; Taheri *et al.*, 2017). دلیل این امر تنش خشکی کوتاه مدت بوده که موجب افزایش مقدار کاروتنوئیدها و بنابراین حفاظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از تخریب کلروفیل‌ها شد و این موضوع افزایش مقدار کلروفیل با اعمال تنش را ایجاد کرد. حفظ کلروفیل در برگ تحت شرایط تنش از شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. عدم تغییر محسوس در مقدار کلروفیل تحت تنش کم آبی قبلا توسط Pérez *et al.* (2017) در *Carrizo citrange* و همچنین Toscano *et al.* (2014) در درختچه‌های زینتی شیشه شور، برگ بو، میخک ژاپنی، تونبرگیا و بداغ گزارش شده است و علت آن نیز دوره نسبتا کوتاه تنش کم آبی بیان شده است. در رقم *R. persica* در تنش کم آبی مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشت. کاهش مقدار کلروفیل در تنش کم آبی

در آبیاری مجدد *R. canina* در تنش شدید یک روز بعد از آبیاری روند کاهش شدیدی نشان داد که در یک هفته بعد مقدار کلروفیل بهبود یافت. در *R. persica* نیز طی آبیاری مجدد مقدار کلروفیل a باز هم کاهش داشت (شکل ۷). مقدار کلروفیل b در گونه‌های *R. orientalis* و *R. canina* در تنش شدید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. اما دو گونه دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. در آبیاری مجدد، مقدار کلروفیل b همه گونه‌ها به جز *R. persica* با مقدار آن در شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت و ترمیم انجام شد (شکل ۸). مقدار کلروفیل کل طی تنش شدید در *R. orientalis* و *R. canina* نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت و در آبیاری مجدد کاهش داشتند و به لحاظ آماری با شاهد برابر شدند و در *R. persica* و *beggeriana* تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در آبیاری مجدد *R. beggeriana* روند یکنواخت و بدون تغییر ادامه داشت اما در *R. persica* نسبت به شاهد کاهش دیده شد (شکل ۹). مقدار کاروتنوئید تنها در *R. canina* طی مراحل آزمایش تغییر کرد و در تنش شدید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت و در بالاترین سطح قرار گرفت (شکل ۱۰). یکی

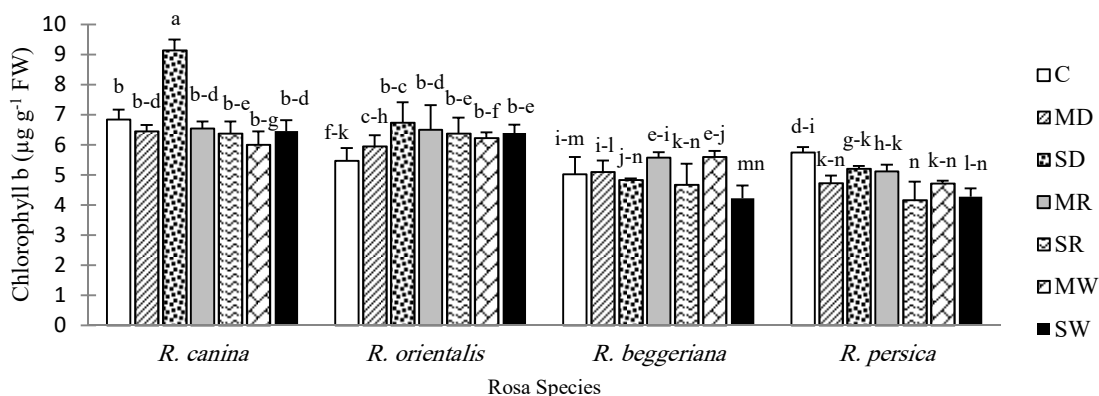
(1999). کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید می‌تواند یک پاسخ دفاعی به اثرات زیانبار تنش کم‌آبی باشد (Farooq *et al.*, 2009). گیاهانی که بعد از آبیاری مجدد احیا نمی‌شوند احتمالاً به دلیل عدم تحمل گیاه و تولید مواد مضر در حد توقف فتوسنتز است. البته تعریف دقیقی از درجه برگشت‌پذیری فتوسنتز تاکنون ارائه نشده است (Miyashita *et al.*, 2005).

در گیاهان زیادی از جمله *Vaccinium myrtillus* (Tahkokorpi *et al.*, 2007) چند رقم انگور (Soukhtesarace *et al.*, 2017)، گلرنگ (Jaleel *et al.*, 2008) و آفتابگردان (Kiani *et al.*, 2008) گزارش شده است. همچنین کاهش مقدار کلروفیل ممکن است به دلیل افزایش میزان آنزیم کلروفیل‌لاز و تجمع رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسیدکننده باشد (Loggini *et al.*, 2008).



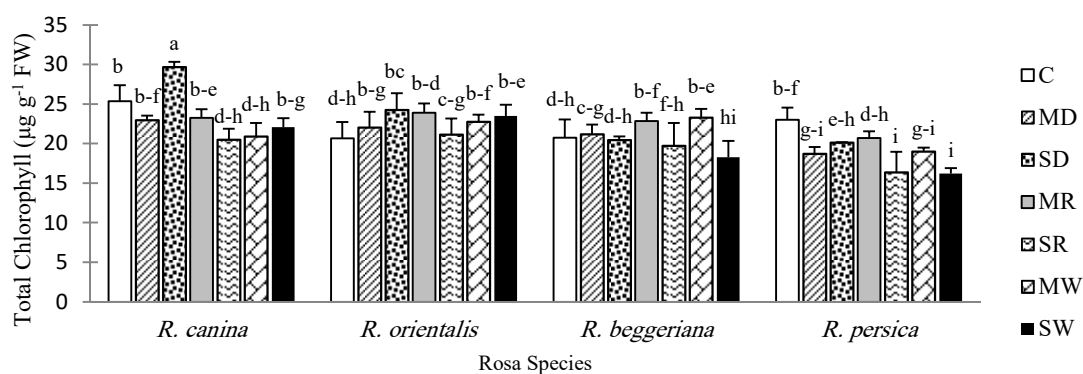
شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر کلروفیل a رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 7. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on chlorophyll a of wild rose (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress; MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).



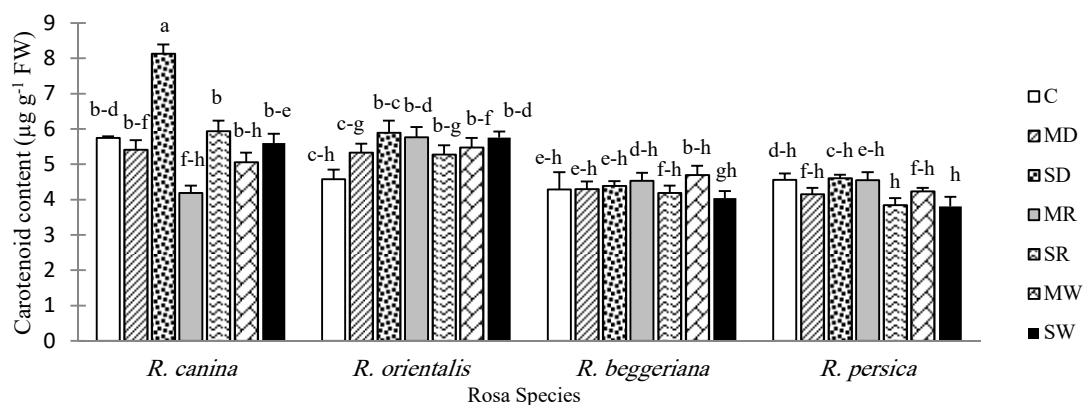
شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر کلروفیل b رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 8. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on chlorophyll b of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress; MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر کلروفیل کل رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 9. Mean comparison of interaction effect of species and water deficit on total chlorophyll of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress, MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).



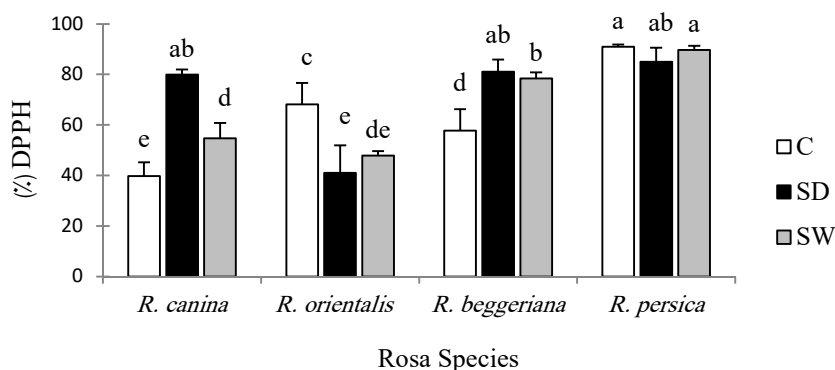
شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم آبیاری بر کاروتنوئید در رز وحشی. (C، شاهد؛ MD، تنش خشکی متوسط؛ SD، تنش شدید خشکی؛ MR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SR، نمونه برداری یک روز پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید؛ MW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی متوسط؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 10. Mean comparison of interaction effect of species and water deficit on carotenoid of wild rose. (C, control; MD, mild water stress; SD, severe water stress; MR, sampling one day after re-watering in mild water stress; SR, sampling one day after re-watering in severe water stress, MW, sampling one week after re-watering in mild water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

R. persica در طی دوره پژوهش تغییر معنی داری نداشت و نسبت به بقیه میزان بالاتری داشت. مقدار DPPH در *R. orientalis* در تنش شدید نسبت به شاهد کاهش داشت. همه گیاهان در یک هفته بعد از آبیاری مجدد روند کاهشی داشتند هرچند مقدار آنها به مقدار شاهد نرسید (شکل ۱۱).

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (DPPH)

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل بطور معنی داری تحت تاثیر تنش کم آبی و نوع گونه رز قرار گرفت. اثر متقابل بین آنها نیز معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار DPPH در *R. canina* در تنش شدید و *R. beggeriana* در تنش شدید مشاهده شد. در حالی که مقدار DPPH در گونه



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کم‌آبیاری بر مقدار DPPH رز وحشی. (C، شاهد؛ SD، تنش شدید خشکی؛ SW، نمونه برداری یک هفته پس از آبیاری مجدد در تنش خشکی شدید).

Figure 11. Mean comparison interaction effect of species and water deficit on DPPH of wild rose. (C, control; SD, severe water stress; SW, sampling one week after re-watering in severe water stress).

مرکبات مشاهده کردند که کمترین مقدار DPPH در پرتقال 'Valencia' با کمترین فاصله آبیاری به دست آمد. همچنین پرتقال واشنگتن ناول و نارنگی 'Kinow' در دور آبیاری با فاصله بیشتر مقدار DPPH بیشتری داشتند. آنها اظهار داشتند که تغییرات ژنتیکی سازگاری و واکنش به تنش آبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در مطالعاتی که به فنوتیپ‌های مختلف مرتبط است این تغییرات دیده می‌شود. همچنین Mishra & Gupta (2006) توضیح دادند که مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به مقدار زیادی به نوع کولتیوار، رژیم استرسی، مرحله رشدی و تنش‌های محیطی بستگی دارد.

با توجه به نتایج این بررسی به نظر می‌رسد که مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گونه‌های حساس رز که تنش بیشتری را متحمل شده و رادیکال‌های بیشتری در آنها تولید شده بود بالاتر است و با توجه به نتایج سایر شاخص‌ها گونه *R. orientalis* که مقدار DPPH کمتری دارد که ممکن است به دلیل عدم نیاز بیشتر و مقاومت بالاتر و کمتر قرار گرفتن تحت تنش باشد. گونه *R. persica* هم که مقدار بالایی از DPPH را نسبت به سایر گونه‌ها نشان داد تفاوت معنی‌داری در تنش کم‌آبی با شاهد نشان نداد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش کم‌آبی بر گونه‌های *R. canina* و *R. persica* اثر تخریب‌کننده بیشتری

افزایش مقدار DPPH با درجه مقاومت گیاه در تنش رابطه دارد (Weidner *et al.*, 2009). در بسیاری از گیاهان به منظور پاکسازی آثار مخرب رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش، سیستم آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود این رویکرد نشان دهنده ساز و کار تحمل در برابر تنش می‌باشد. هرچه میزان ترکیبات موثر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه بیشتر باشد، توانایی گیاه برای خنثی‌سازی اثر مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پراکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و حتی اسیدهای نوکلئیک و در پایان تحمل به تنش بیشتر است (Samieiani *et al.*, 2013). آزمایش DPPH معمولاً برای ارزیابی توانایی پاکسازی رادیکال‌های آزاد توسط یک مولکول آنتی‌اکسیدان انجام می‌شود (Mishra *et al.*, 2012). در اینجا مسئله مهم فهم تفاوت بین مفهوم فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی است. این دو اصطلاح معمولاً در جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی به یک واکنش ثابت بین آنتی‌اکسیدان و یک اکسیدانت اشاره دارد در حالی که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به مقدار معین رادیکال‌های آزاد گرفته شده با یک آنتی‌اکسیدان نمونه گفته می‌شود (Santos-Sánchez *et al.*, 2019). تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها برای پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال و حفاظت از لیپیدهای غشا از تنش اکسیداسیونی در گیاهان تحت تنش کم‌آبی تایید شده است (Zhu *et al.*, 2009). Arabzadeh *et al.* (2017) در تنش کم‌آبی در درختان

کم‌آبی دارد. هرچند به بررسی‌های بیشتر در دوره‌های کم‌آبی طولانی‌تر نیاز می‌باشد. همچنین قرار گرفتن این گونه در برنامه‌های اصلاحی برای تحقیقات ژنتیکی و بررسی به عنوان پایه رزهای فضای سبز در بررسی‌های آینده توصیه می‌شود.

نسبت به *R. orientalis* داشت. *R. beggeriana* نیز در حدواسط گونه‌های دیگر در برخی صفات قرار گرفت. *R. orientalis* مقاومت جالب توجهی به کم‌آبی نشان داد و بنظر می‌رسد این گونه بیشتر از اینکه از خود مقاومت نشان دهد ذاتاً آستانه تحمل بالاتری نسبت به تنش

REFERENCES

- Ahmadzadeh, M., (2013). Physiological and agro-morphological response to drought stress. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13, 998-1009.
- Al Hassan, M., Martínez Fuertes, M., Ramos Sánchez, F.J., Vicente, O. & Boscaiu, M. (2015). Effects of salt and water stress on plant growth and on accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in cherry tomato. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1), 1-11.
- Amissah, L., Mohren, G.M.J., Kyereh, B. & Poorter, L. (2015). The effects of drought and shade on the performance, morphology and physiology of Ghanaian tree species. *Plos One*. 10(4), 1-22.
- Arabzadeh, E., Fotouhi Ghazviny, R., Rahmani, M. & Saadatian, M. (2017). Effects of irrigation period on biochemical changes of some citrus species. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 82(1), 33-38.
- Bajji, M., Kinet, J.M. & Lutts, S. (2002a). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36(1), 61-70.
- Bajji, M., Kinet, J.M. & Lutts, S. (2002b). Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany*, 80, 297-304.
- De Dauw, K., Van Labeke, M.C, Leus, L. & Van Huylenbroeck, J. (2013). Drought tolerance screening of a Rosa population. *Acta Horticulturae*. 990, 121-128.
- de la Riva, E.G., Olmo, M., Poorter, H., Ubersa, J.L. & Villar, R. (2016). Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 mediterranean woody species along a water availability gradient. *Plos One*, 11, 1-18.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S. & Behl, R.K. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 6-12.
- Eugenia, M., Nunes, S. & Ray Smith, G. (2003). Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. *Crop Science*, 43, 1349-1357.
- Falchi, M., Bertelli, A., Lo Scalzo, R., Morassut, M., Morelli, R., Das, S., Cui, J. & Das, D.K. (2006). Comparison of cardioprotective abilities between the flesh and skin of grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 6613-6622.
- Farooq, M., Wahid, A., Lee, D., Ito, O., & Siddique, K.H.M. (2009). Advances in drought resistance of rice. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28, 199-217.
- Farzam, M., (2009). *Study of challenges ahead agriculture (Water challenge)*. Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute (APERDRI). (In Farsi).
- Flexas, J. & Medrano, H. (2002). Energy dissipation in C3 plants under drought. *Functional Plant Biology*, 29, 1209-1215.
- Gault, S.M. & Syngé, P.M. (1987). *The dictionary of roses in colours*. Published on collaboration with the Royal Horticultural Society and The National Rose Society
- Gholami, M. & Rahemi, M. (2010). Effect of water stress and recovery on the water status and osmotic adjustment of miniature rose Meshkinjan. *Research Journal of Environmental Science*. 4, 288-293.
- Gholami, M., Rahemi, M. & Rastegar, S. (2012). Use of rapid screening methods for detecting drought tolerant cultivars of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 143, 7-14.
- Goncalves, J.F.C. & Santos, U.M. (2005). Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environment of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 307-313.
- Halevy, A.H. (1986). Rose research- current situation and future needs. *Acta Horticulturae*, 189, 11-20.
- Handerson-Cole, J. & Davies, F. (1993). Drought response of low and high maintenance landscape roses. *Journal of Environmental Horticulture*, 11(2), 59-63.
- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F., & Prange, R.K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, 604-611.

22. Huang, W., Ratkowsky, D.A., Hui, C., Wang, P., Su, J. & Shi, P. (2019). Leaf fresh weight versus dry weight: which is better for describing the scaling relationship between leaf biomass and leaf area for broad-leaved plants? *Forests*, 10, 1-19.
23. Jaleel, C.A., Gopi, R. & Panneerselvam, R. (2008). Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 272-277.
24. Karamanos, A.J. (1995). The involvement of proline and some metabolites in water stress and their importance as drought resistance indicators. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21(2-3), 98-110.
25. Kiani, S.P., Maury, P., Sarrafi, A. & Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, 175, 565-573.
26. Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. & Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 121-124.
27. Kocheva, K., Landjeva, S.P., & Georgiev, G.I. (2014). Variation in ion leakage parameters of two wheat genotypes with different Rht-B1 alleles in response to drought. *Journal of Biosciences*, 39(5), 753-759.
28. Kusvuran, S. & Dasgan, H.Y. (2017). Drought induced physiological and biochemical responses in *Solanum lycopersicum* genotypes differing to tolerance. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16(6), 19-27.
29. Lawlor, D.W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell and Environment*, 25, 275-294.
30. Lea-Cox, J.D. & Ross, D.S. (2001). A review of the federal clean water act and the Maryland water quality improvement act: The rationale for developing a water and nutrient planning process for container nursery and greenhouse operations. *Journal of Environmental Horticulture*, 19, 226-229.
31. Lee, A.C.K., Jordan, H.C. & Horsley, J. (2015). Value of urban green spaces in promoting healthy living and well being: prospects for planning. *Risk Management and Healthcare Policy*, 8, 131-137.
32. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
33. Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. & Navari Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology*, 119, 1091-1100.
34. Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsis- sou, D. & El Kaoua, M. (2015). Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, 27(4), 1689-1698.
35. Mirjalili, S.A., (2005). *Plants in stressful environments*. Noorbakhch Publication. (In Farsi).
36. Mishra, K., Ojha, H. & Chaudhury, N.K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, 130, 1036-1043.
37. Mishra, N. & Gupta, A.K. (2006). Effect of salinity and different nitrogen sources on the activity of antioxidant enzymes and indole alkaloid content in catharantus roseus seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 163, 11-18.
38. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53, 205-214.
39. Moghadam, M., Alirezaei Noghondar, M., Selahvarzi, Y. & Goldani, M. (2015). The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(3), 507-521. (In Farsi).
40. Neumann, P.M. (1995). The role of cell wall adjustments in plant resistance to water deficits. *Crop Science*, 35, 1258-1266.
41. Niu, G. & Rodriguez, D.S. (2009). Growth and physiological responses of four rose rootstocks to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(2), 202-209.
42. Niu, G., Rodriguez, D.S. & Mackay, W. (2008). Growth and physiological responses to drought stress in four oleander clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 188-196.
43. Niu, G., Rodriguez, D.S. & Wang, Y.T. (2006). Impact of drought and temperature on growth and leaf gas exchange of six bedding plant species under greenhouse conditions. *HortScience*, 41, 1408-1411.
44. Ogren, E. (1990). Evaluation of chlorophyll fluorescence as a probe for drought stress in willow leaves. *Plant Physiology*, 93, 1280-1285.
45. Ozkur, O., Ozdemir, F., Bor, M. & Turkan I. (2009). Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte *Capparis ovata* Desf. to drought. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 487-492.
46. Pérez-Pérez, J.G., Syvertsen, J.P., Botía, P. & García-Sánchez, F. (2007). Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized Carrizo citrange seedlings during drought stress and recovery. *Annals of Botany*, 100(2), 335-345.

47. Premachandra, G.S., Saneoka, H. & Ogata, S. (1989). Nutrio-physiological evaluation of polyethylene glycol test of cell membrane stability in maize. *Crop Science*, 29, 1287-1292.
48. Rachmilevitch, S, Lambers, H. & Huang, B. (2006). Root respiratory characteristics associated with plant adaptation to high soil temperature for geothermal and turf-type *Agrostis* species. *Journal of Experimental Botany*, 5, 623-631.
49. Rahman, M.U., Gul, S. & Ahmad, I. (2004). Effects of water stress on growth and photosynthetic pigments of corn (*Zea mays* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6, 652-655.
50. Rechinger, K.Y. (1982). *Flora Iranica*. No. 152. Rosaceae II– Rosa. Akademische Verlaganstalt, Graz, Austria. 6-30.
51. Rostamabadi, A., Jalilvand, H., Nematzadeh, G., Goodarzi, M. & Sayad, E. (2016). Gas exchange parameters and chlorophyll fluorescence yield in Iranian oak (*Quercus macranthera* F & M) seedling under srought stress in Golestan province. *Ecology of Iranian Forests*, 4, 41-50. (in Farsi)
52. Samiei, L., Naderi, R. & Khalighi, A. (2010). Genetic diversity and genetic similarities between Iranian rose species. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(3), 231-237.
53. Samiciani, E., Ansari, H., Azizi M., Hashemi-Nia S.M. & Salahvarzi, Y. (2013). Effects of drought stress on some biochemical indices of four groundcovers (*Lolium perenne*, *Potentilla spp*, *Trifolium repens* and *Frankenia spp*) with potential usage in landscape. *Journal of Science & Technology of Greenhouse Culture*, 4(15), 101-109. (In Farsi).
54. Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L. & Ruiz, J.M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178, 30-40.
55. Santos Sanchez, N.F., Salas-Coronado, R., Villanueva, C. & Hernandez-Carlos, B. (2019). Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. In: E.A. Shalaby (Ed.), *Antioxidants*. (pp. 1-28) Intech Open.
56. Soukhtesaraee, R., Ebadi, A., Salami, S.A. & Lesani, H. (2017). Evaluation of oxidative parameters in three grapevine cultivars under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(1), 85-98. (In Farsi).
57. Sperdouli, I. & Moustakas, M. (2012). Interaction of proline, sugars, and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 169, 577-585.
58. Strauss, A.J., Krüger, G., Strasser, R.J. & Van Heerden, P.D. (2006). Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 147-157.
59. Taheri, S., Arghavani, M. & Mortazavi, S.N. (2017). The study of morphological, biochemical and physiological of bermuda grass as affected by sodium nitroprosside under water deficit stress. *Journal of Crops Improvement*, 19(2), 417-430. (In Farsi).
60. Tahkokorpi, M., Taulavuori, K., Laine, K. & Taulavuori, E. (2007). After-effects of drought-related winter stress in previous and current year stems of *Vaccinium myrtillus* L. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 85-93.
61. Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.
62. Tkalec, M., Paradikovic, N., Zeljkovic, S. & Vinkovic, T. (2012). Influence of medium on growth and development of wild rose in vitro. In: Proceeding of *International Conference on BioScience: Biotechnology and Biodiversity*. 18-20 June, Novi Sad, Serbia, pp. 104-108.
63. Toscano, S., Scuderi, D., Giuffrida, F. & Romano, D. (2014). Responses of Mediterranean ornamental shrubs to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, 178, 145-153.
64. Turner, N. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58, 339-366.
65. Wang, Z. & Huang, B. (2004). Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science*, 44, 1729-1736.
66. Weidner, S., Kordala, E., Brosowska-Arendt, W., Karamać, M, Kosińska, A. & Amarowicz, R. (2009). Phenolic compounds and properties of antioxidants in grapevine roots (*Vitis vinifera* L.) under low-temperature stress followed by recovery. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 78, 279-286.
67. Zhu, Z., Liang, Z. & Han, R. (2009). Saikosaponin accumulation and antioxidative protection in drought-stressed *Bupleurum chinense* DCX. *Plants Environmental and Experimental Botany*, 66, 326-333.
68. Zlesak, D.C. (2007). Rosa. In: N.O. Anderson (Ed), *Flower breeding and genetics*. (pp. 695-740.) Springer Science.