

## پاسخ صفات مورفوفیزیولوژیکی در چهار گونه بابونه در شرایط دیم و تنش خشکی در شرایط گلخانه

پروین صالحی شانجانی\*<sup>۱</sup>، لیلا رسولزاده<sup>۲</sup>، لیلا فلاح حسینی<sup>۲</sup>، معصومه رضوانی یگانه<sup>۲</sup>، حمیده جوادی<sup>۳</sup>، محمود امیرخانی<sup>۲</sup>

محمدرضا پهلوانی<sup>۲</sup> و سید اسماعیل سیدیان<sup>۲</sup>

\*<sup>۱</sup>- نویسنده مسئول مکاتبات، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بانک ژن منابع طبیعی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران \* پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: psalehi@rifr-ac.ir

<sup>۲</sup>- پژوهشگران بخش تحقیقات بانک ژن منابع طبیعی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۳</sup>- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بانک ژن منابع طبیعی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۴

### چکیده

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده حیات و رشد گیاهان در نواحی مختلف ایران است. در این پژوهش ویژگی‌های مورفولوژی بوته‌های حاصل از بذرهاى چهار گونه بابونه چندساله *Matricaria recutita*، *Anthemis tinctoria*، *Tanacetum parthenium* و *Tripleurospermum sevanense* موجود در بانک ژن منابع طبیعی ایران در شرایط دیم مزرعه تحقیقاتی البرز کرج (مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور) ارزیابی شدند. نتایج نشان دادند که در شرایط دیم، گونه *M. recutita* نسبت به سه گونه بابونه دیگر بیشترین سطح پوشش، ارتفاع، تعداد گل و وزن خشک بوته را داشته و در مدت زمان کوتاه‌تری به گلدهی کامل رسید. در آزمایش گلخانه به‌منظور مطالعه سازوکارهای فیزیولوژیکی پاسخ به شرایط کم‌آبی، گیاهان تحت چهار تیمار خشکی شامل آبیاری کافی (شاهد)، تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش خشکی متوسط (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی) قرار گرفتند. تغییرات محلول‌های محافظ اسمزی (پرولین و قندهای محلول)، محتوای آب نسبی (RWC)، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) و پیگمان‌های گیاهان تحت تنش بررسی گردید. بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی پاسخ به شرایط کم‌آبی گونه‌های بابونه در شرایط گلخانه نشان داد که *M. recutita* نسبت به سه گونه بابونه دیگر به علت ظرفیت بالاتر تنظیم اسمزی تحمل بیشتری به تنش خشکی شدید داشته، در حالی که سه گونه *T. A. tinctoria*، *T. parthenium* و *sevanense* تحمل خوبی به شرایط تنش متوسط نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، بابونه، تنش خشکی، کلروفیل، مورفولوژی.

### مقدمه

است (Srivastava et al., 2010; Singh et al., 2011). ولی بابونه به‌طور کلی به تعدادی از گیاهان گفته می‌شود که از خانواده گیاهی کمپوزیته (*Compositae*) و تیره فرعی *Radiceae* ولی از جنس‌ها و گونه‌های مختلف و متفاوت

جنس بابونه (*Anthemis*) یکی از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی شناخته شده در جهان و از معدود گیاهانی است که استفاده از آن جنبه صنعتی پیدا کرده

تنش محافظت نموده و ساختار و فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را تثبیت می‌نمایند. در شرایط تنش خشکی، گیاه برای گریز از پلاسمولیز و حفظ تورژسانس سلول، مولکول‌های درشت مانند نشاسته را به ساکارز و بعد مولکول‌های کوچکتری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند که موجب منفی‌تر شدن قابلیت آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Fetri et al., 2014).

در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی بر روی اثر تنش خشکی بر متابولیسم گیاهان انجام شده است. با وجود مطالعات فراوان در گیاهان زراعی اطلاعات روی واکنش گیاهان دارویی به تنش خشکی محدود است (Gharibi et al., 2016; Alizadeh et al., 2016; Salehi Shanjani et al., 2015). در آزمایش دیگری (Hornok ۱۹۹۲) میزان بهینه آبیاری را برای تولید بیشترین محصول بابونه تعیین کرده است. تحقیقات نشان دادند که با افزایش تنش خشکی، وزن خشک گل *Matricaria recutita* کاهش می‌یابد (et al., 2006). در مطالعه مشابهی مشخص شد که وزن تر و خشک گل بابونه آلمانی بر اثر خشکی کاهش می‌یابد (Lebaschy & Ashoorabadi, 2004). مطالعات نشان داده‌اند اکوتیپ‌های وحشی بابونه آلمانی نسبت به ارقام زراعی بابونه رشد مناسب‌تری در شرایط استرس خشکی دارند (Baczek-Kwinta et al., 2009). بر اساس مطالعات انجام شده بر روی بابونه آلمانی و *Tripleurospermum* *servans* کمبود آب باعث ممانعت بسیاری از پارامترهای رویشی می‌گردد (Alizadeh et al., 2016; Arazmjo et al., 2010). تأثیر خشکی بر درصد اسانس و عملکرد اسانس بابونه آلمانی متفاوت است، به طوری که تنش خشکی ملایم (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به ترتیب باعث افزایش و کاهش کمی و کیفی اسانس بابونه می‌گردد (Arazmjo et al., 2010).

در حال حاضر استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی یکی از مهمترین روش‌های مؤثر در بهره‌برداری و افزایش عملکرد هکتاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. با توجه به اهمیت شناسایی گونه‌های مقاوم به

می‌باشند که با وجود اختلافاتی که در بین آنها وجود دارد از نظر شکل ظاهری تا حدودی شبیه به هم هستند (Grdiner, 1999). عدم وجود دستورالعمل بهره‌برداری به همراه عدم آگاهی کافی بهره‌برداران و در نهایت برداشت‌های بی‌رویه و نامحدود، موجب کاهش تدریجی بعضی از گونه‌های بابونه از عرصه‌های طبیعی و رویشگاه‌ها شده که در نهایت فرسایش ژنتیکی و انقراض این گونه‌ها را به دنبال خواهد داشت. در این رابطه با هدایت و تشویق بهره‌برداران و دست‌اندرکاران گیاهان دارویی به کاشت و تولید این گیاهان می‌توان قدم‌های مؤثری در جلوگیری از انقراض این گونه‌ها و تخریب منابع طبیعی برداشت. بابونه از جمله گیاهانی است که از نظر رطوبتی بسیار کم توقع بوده و پراکنش زیادی در بسیاری از نقاط ایران دارد. ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزء نواحی تحت تنش خشکی است (Kordvaei, 1987). تنش کم‌آبی یکی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران محسوب می‌شود. انتخاب و توسعه گونه‌های مقاوم و متحمل به خشکی بهترین روش برای مقابله با این معضل است که با شناخت واکنش‌های زیستی گیاهان مختلف در تنش خشکی به دست می‌آید (Rampino et al., 2006; Cicevan et al., 2016).

یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد، نمو و پراکنش گیاهان در بیوسفر تنش خشکی است (Basu et al., 2016). تنش خشکی به نوعی باعث کاهش قابلیت آب خاک شده و در چنین شرایطی گیاه به منظور حفظ و ادامه جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند (Farooq et al., 2012). تنظیم اسمزی به وسیله انباشت محلول‌های سازگار یک سازوکار فیزیولوژیکی مهم گیاهان برای مقاومت در برابر تنش خشکی است (Fathi & Tariet, 2016). تنظیم اسمزی جذب آب از خاک را تسهیل نموده و فشار تورگور سلول و رشد در محیط‌های خشک را امکان‌پذیر می‌نماید. قندهای محلول و پرولین دو نوع از محلول‌های سازگار بسیار مهم در گیاهان هستند که علاوه بر تنظیم اسمزی، غشاهای سلولی را از آسیب‌های ناشی از

کامل، صفات قطر کوچک و قطر بزرگ بوته (سانتی‌متر) برای تعیین سطح پوشش گیاه، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد گل، وزن تر بوته (گرم)، وزن خشک بوته (گرم)، تعداد روز تا آغاز گل و گل‌دهی کامل ثبت گردید.

روش مطالعه تأثیر خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط آزمایشگاهی

برای مطالعه اثر تنش خشکی، بذرهاى هر گونه در گلخانه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در شرایط استاندارد در گلدان‌های حاوی ۱۷۰۰ گرم خاک خشک با بافت لوم شنی کشت شدند. آبیاری گلدان‌ها تا استقرار کامل گیاهان (۶۰ روز) هر دو روز یکبار انجام شد. چهار تیمار ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۷۵ درصد، ۵۵ درصد و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی (به ترتیب سطح طبیعی یا شاهد، تنش کم، متوسط و شدید) با روش وزنی بر روی گلدان‌ها اعمال گردید. روش وزنی به این صورت بود که ابتدا به هر گلدان وزن مشخصی از خاک (۱۷۰۰ گرم خاک خشک با بافت لوم شنی) ریخته شد. آنگاه برای تعیین مقدار رطوبت موجود در خاک ریخته شده به گلدان یا به عبارتی به منظور تعیین وزن خاک خشک گلدان، ۱۰ نمونه از خاک مورد نظر تهیه شد. نمونه‌ها پس از توزین به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و با استفاده از میانگین وزن نمونه‌ها، وزن خشک هر گلدان مشخص شد. سپس به هر گلدان به قدری آب داده شد تا به درجه اشباع برسد. ۲۴ ساعت پس از آبدهی کامل گلدان‌ها، نمونه‌های ده‌تایی دوباره در آون و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و مقدار آب ظرفیت زراعی گلدان‌ها مشخص شد (Romano & Santini, 2002).

برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک از رابطه

$$DM\% = 100 - [(Wf - Wd) / Wd] \times 100$$

و محتوای نسبی آب برگ از رابطه (Ritchie et al., 1990) استفاده شد.

هدف از این تحقیق (۱) مطالعه ویژگی‌های مورفولوژی چهار گونه بابونه در شرایط دیم و (۲) بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه بابونه در شرایط خشکی آزمایشگاهی است.

## مواد و روش‌ها

بذرهای چهار گونه بومی بابونه شامل گونه *A. tinctoria* (گیاه علفی دائمی با نام عمومی بابونه زرد)، *Matricaria* (*M. chamomilla = recutita*) (گیاه علفی یکساله با نام عمومی بابونه آلمانی)، *Tripleurospermum servans* (گیاه علفی یکساله و دوساله با نام عمومی بابونه کاذب) و *Tanacetum parthenium* (گیاه علفی دائمی با نام عمومی بابونه گاوی یا کبیر) از بانک ژن منابع طبیعی ایران تهیه گردید.

روش مطالعه مورفولوژیکی گیاهان در شرایط دیم

بذرهای چهار گونه مورد بررسی در گلدان‌های پلاستیکی در دی‌ماه ۱۳۸۹ در گلخانه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور کشت گردیدند. گیاهچه‌ها بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ماه اسفند ۱۳۹۰ به مزرعه منتقل شدند. مزرعه واقع در مجتمع تحقیقاتی البرز- کرج (با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۲۰ متری از سطح دریا) بود. این منطقه از نظر اقلیمی نیمه‌خشک محسوب می‌شود. متوسط بارندگی منطقه حدود ۲۴۵ میلی‌متر، کمینه دما ۲۰- درجه سانتی‌گراد و بیشینه دمای آن ۳۸ درجه سانتی‌گراد بود (Sharifi Ashoorabadi, 2009). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است. ردیف‌های کشت شامل خطوطی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بودند. در هر خط ۱۵ عدد گیاه مربوط به گونه با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کشت انجام شد ولی در ادامه فقط از نزولات آسمانی استفاده گردید. گل‌دهی کامل از اواسط اردیبهشت تا اواسط خرداد بود. پس از گل‌دهی

اساس آمار توصیفی (میانگین و اشتباه معیار) انجام شد. اطلاعات بررسی‌های چهار سطح تنش خشکی (شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) به تفکیک هر گونه در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مقایسه گردید. علاوه بر این همبستگی بین صفات به تفکیک هر گونه انجام شد. برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۶/۱۲ استفاده شد.

### نتایج

مطالعه صفات مورفولوژیکی گیاهان در شرایط دیم نتایج تجزیه آماری صفات مزرعه‌ای، در هر یک از گونه‌های (*Matricaria recutita* *Anthemis tinctoria* و *Tanacetum sevanense* *Tripleurospermum sevanense* *parthenium*) در جدول ۲ درج گردید. بررسی مقادیر میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که گونه *M. recutita* نسبت به سه گونه بایونه دیگر در شرایط دیم، بیشترین سطح پوشش، ارتفاع، تعداد گل و وزن خشک بوته را داشته و در مدت زمان کوتاه‌تری گل می‌دهد (در حدود ۱۳۱ روز) (جدول ۲). در حالی که سه گونه دیگر *A. tinctoria* و *T. sevanense* در صفات سطح پوشش، تعداد گل و وزن خشک بوته به یکدیگر شباهت داشته و در طی ۱۴۰-۱۴۸ روز گل‌دهی آنها آغاز شده و در طی ۱۶۱-۱۶۶ روز به گل‌دهی می‌رسند.

$$\%RWC = [(Wf - Wd) / (Wt - Wd)] \times 100$$

Wf: وزن تر: سه برگ انتهایی هر گیاه توزین گردید.  
Wt: وزن تورگور: برگها را در داخل آب مقطر بمدت چهار ساعت قرار داده و پس از خشک کردن آب روی برگها، وزن توگور برگها اندازه‌گیری شد.  
Wd: وزن خشک: برگها را به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن شدند.

سنجش پرولین از روش نین‌هیدرین ( Bates et al., 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر، قندهای محلول از روش آنترون (Yemm & Willis, 1954) در طول موج ۶۲۵ نانومتر، پروتئین‌های کل از روش برادفورد ( Bradford, 1976) در طول موج ۵۹۵ نانومتر، فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش گایوکل (Fu & Huang, 2001) در طول موج ۴۳۶ نانومتر و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز از روش (Fu & Huang, 2001) در طول موج ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. استخراج کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها از بافت برگ توسط حلال استون ۸۰٪ (Lichtenthaler, 1987) انجام شد. میزان جذب نوری کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید.

محاسبات آماری: با توجه به همگون نبودن گونه‌ها (به دلیل تعلق به جنس‌های متفاوت تیره کمپوزیته)، تجزیه واریانس به روش معمول انجام نشد و مقایسه بین گونه‌ها بر

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی متر)	بافت خاک	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی متر)	نیترژن (درصد)	کربن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۰ - ۱۵	شن، رس لومی	۱۹/۹٪	۸/۵	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۵۷	۲۵	۳۰	۴۵
۱۵ - ۳۰	شن، رس لومی	۸/۴	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۶۸	۲۱	۲۶	۵۳	

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار صفات مورفولوژی مورد مطالعه چهار گونه بابونه در مزرعه در شرایط دیم

گونه	آغاز گل دهی (روز)	زمان گل دهی (روز)	وزن خشک (گرم/بوته)	وزن تر (گرم/بوته)	تعداد گل در بوته	ارتفاع بوته (سانتی متر)	سطح پوشش بوته (سانتی متر مربع)
<i>Anthemis tinctoria</i>	۱۴۰±۷	۱۶۱±۷	۶۲۳/۳±۳۲	۷۵۵±۳۳	۴۳±۳	۳۲±۵	۱۱۷۰±۳۹
<i>Matricaria recutita</i>	۱۲۰±۷	۱۳۱±۷	۷۷۳/۳±۲۷	۹۵۸±۵۴	۴۸±۳	۸۵±۷	۴۲۷۴±۹۸
<i>Tripleurospermum sevanense</i>	۱۴۸±۷	۱۶۶±۷	۶۲۱/۷±۲۱	۱۵۸۰±۶۱	۶۶±۴	۴۹±۴	۱۵۲۵±۴۰
<i>Tanacetum parthenium</i>	۱۴۸±۷	۱۶۱±۷	۴۷۸/۳±۱۲	۱۰۴۳±۴۹	۵۹±۲	۴۳±۴	۱۸۱۱±۵۵

### مطالعه تأثیر خشکی بر ویژگی های فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط آزمایشگاهی

نتایج آنالیز واریانس چهار تیمار تنش خشکی (تیمار ۱۰۰، ۷۰، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) در گونه *A. tinctoria* نشان داد که اثر تیمار تنش خشکی برای صفات مقادیر پرولین، قندهای محلول، آنزیم های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز، پروتئین های کل، RWC و درصد وزن خشک گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). به عبارت دیگر بین سطوح مختلف تنش تفاوت معنی داری در این صفات وجود دارد. درحالی که پیگمان ها شامل مقادیر کلروفیل a، b و کل و مقدار کاروتنوئیدها در تنش های مختلف تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۳).

مقایسه میانگین مقادیر هر صفت در تنش های مختلف گونه *A. tinctoria* نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در تنش متوسط (۵۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۴). مقدار پرولین برگ با کاهش قابلیت آب از ۵۵ به ۳۵ درصد ظرفیت زراعی آب خاک، دوباره کاهش یافت. مقدار قندهای محلول برگ به عنوان دومین ماده تنظیم کننده اسمزی گیاهی به دنبال افزایش قابلیت آب خاک به استثناء کاهش که در تیمار تنش کم (۷۵ درصد) مشاهده شده قابل توجه نبود. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تنش متوسط (۵۵ درصد) کاهش یافت، درحالی که میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز برگ در تنش های کم و متوسط افزایش یافته بود. مقدار پروتئین برگ در تنش متوسط و شدید کاهش

قابل ملاحظه ای نشان داد. به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب (RWC) برگ و کمترین درصد ماده خشک در تیمار شدید حاصل شد (جدول ۴).

نتایج آنالیز واریانس گونه *M. recutita* در چهار تیمار تنش خشکی نشان داد اثر تیمار تنش خشکی برای صفات مقادیر پرولین، قندهای محلول، آنزیم های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز، پروتئین های کل، RWC و درصد وزن خشک گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۵). درحالی که پیگمان ها شامل مقادیر کلروفیل a، b و کل و مقدار کاروتنوئیدها در تنش های مختلف تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۵).

مقایسه میانگین مقادیر هر صفت در تنش های مختلف گونه *M. recutita* نشان می دهد که کاهش قابلیت آب خاک از شاهد به ۳۵ درصد ظرفیت زراعی، تغییر مهمی در مقدار پرولین برگ (افزایش در حدود ۳۰ برابر به میزان ۱۵۰۷ میکروگرم در گرم وزن تر) ایجاد کرد (جدول ۶). مقدار قندهای محلول برگ به عنوان دومین ماده تنظیم کننده اسمزی گیاهی به دنبال افزایش قابلیت آب خاک افزایش معنی داری نشان داده است (جدول ۶). براساس نتایج بیشترین میزان قندهای محلول برگ در تنش متوسط بود. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تنش متوسط (۵۵ درصد) کاهش یافت، درحالی که میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز برگ در تنش شدید افزایش یافت. مقدار پروتئین برگ و درصد ماده خشک با بروز اولین سطح تنش خشکی کاهش معنی داری

تنش خشکی نشان ندادند، مقدار کارتنوئیدها در تنش متوسط افزایش قابل توجهی نشان داد (جدول ۸).

نتایج آنالیز واریانس گونه *T. parthenium* در چهار تیمار تنش خشکی نشان داد اثر تیمار تنش خشکی برای صفات مقادیر پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز، پروتئین های کل، درصد وزن خشک گیاه و مقادیر کلروفیل b و کارتنوئیدها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۹). درحالی که مقادیر RWC و مقادیر کلروفیل a در تنش های مختلف تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۹).

مقایسه میانگین مقادیر صفات در تنش های مختلف گونه *T. parthenium* نشان داد که کاهش قابلیت آب خاک از شاهد به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، باعث افزایش مقدار پرولین برگ شد (جدول ۱۰). این افزایش تا تنش متوسط ادامه یافت ولی با شدید شدن تنش کاهش قابل ملاحظه نشان داد. مقدار قندهای محلول برگ نیز به دنبال بروز تنش شدید کاهش معنی داری نشان داد (جدول ۱۰). میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تنش شدید و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در تنش متوسط به حد بیشینه رسید. مقدار پروتئین برگ و درصد ماده خشک با بروز اولین سطح تنش خشکی کاهش معنی داری نشان دادند، به طوری که مقادیر هر دو صفت در تنش شدید به کمترین میزان رسید. محتوای نسبی آب (RWC) برگ در تنش خشکی تغییر معنی داری نشان نداد (جدول ۱۰). برخلاف مقدار کلروفیل a که در تنش های خشکی تغییری نشان ندادند، مقادیر کلروفیل b با بروز تنش کاهش و مقدار کارتنوئیدها افزایش معنی داری در طی تنش خشکی نشان دادند (جدول ۱۰).

نشان داد. در حالی که افزایش معنی دار محتوای نسبی آب (RWC) برگ فقط در تنش شدید مشاهده شد (جدول ۶). مقدار پیگمان های گیاهی شامل کلروفیل کل (کلروفیل a+b) و کارتنوئیدها در چهار سطح تنش تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۶).

نتایج آنالیز واریانس گونه *T. servans* در چهار تیمار تنش خشکی نشان داد اثر تیمار تنش خشکی برای صفات مقادیر پرولین، پلی فنل اکسیداز، پروتئین های کل، RWC، درصد وزن خشک گیاه و مقادیر کارتنوئیدها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۷). درحالی که مقادیر قندهای محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز و مقادیر پیگمان ها شامل مقادیر کلروفیل a و b در تنش های مختلف تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۷).

مقایسه میانگین مقادیر صفات در تنش های مختلف گونه *T. servans* نشان داد که کاهش قابلیت آب خاک از شاهد به ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی، تغییر مهمی در مقدار پرولین برگ (افزایش در حدود ۲۰ برابر) ایجاد کرد (جدول ۸). درحالی که مقدار قندهای محلول برگ به دنبال بروز تنش افزایش معنی داری نشان نداد (جدول ۸). میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در تنش کم و متوسط افزایش قابل ملاحظه ای یافته بود که با بروز تنش شدید کاهش نشان داد. مقدار پروتئین برگ و درصد ماده خشک با بروز اولین سطح تنش خشکی کاهش معنی داری نشان دادند، به طوری که مقادیر هر دو صفت در تنش شدید به کمترین میزان رسید. محتوای نسبی آب (RWC) برگ در تنش متوسط افزایش معنی داری نشان داد ولی با افزایش میزان تنش محتوای نسبی آب (RWC) برگ دوباره کاهش یافت (جدول ۸). برخلاف مقدار کلروفیل a و b که تغییر معنی داری در طی



جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه گونه *A. tinctoria* در چهار سطح تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	کلروفیل کل
تیمار	۳	۵۷۰۲۶۰/۶۲**	۳/۳۷*	۴۲/۲۲**	۱/۶۸**	۱۴۳/۱۶**	۸۴/۷۷**	۶۰/۶۶**	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۵
خطا	۹	۲۹۵۱/۲۶	۰/۵۵	۲/۰۵	۰/۱۷	۵/۰۷	۱۱/۶۳	۳/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳
ضریب تغییرات		۱۴/۰۴	۱۶/۳۵	۱۸/۷۰	۷/۵۴	۱۵/۷۱	۴/۷۲	۱۱/۵۹	۱۳/۳۹	۱۵/۴۵	۱۰/۲۰	۱۳/۹۸

\*\* و \* : معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۴- میانگین و انحراف معیار صفات مورد مطالعه گونه *A. tinctoria* در چهار سطح تنش خشکی

(تیمار ۱۰۰، ۷۰، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی که به ترتیب سطح شاهد، تنش کم، متوسط و شدید را نشان می دهد).

تیمار	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	کلروفیل کل
۳۵	۶۳۰/۴± ۱۲۷/۳b	۲/۹۶± ۰/۸۱a	۱۰/۰۹± ۱/۹۶a	۵/۱۶± ۰/۷۱b	۸± ۱/۶۳b	۷۸/۰۶± ۲/۶۶a	۱۰/۹۳۷± ۰/۸۲c	۰/۷۵± ۰/۲۶a	۰/۵۶± ۰/۰۴a	۰/۴۴± ۰/۰۲a	۱/۳۱± ۰/۲۹a
۵۵	۷۸۸/۱± ۳۱/۳a	۳/۶۵± ۰/۸۲a	۲/۸۸± ۰/۲۸b	۶/۰۱± ۰/۱۳a	۱۰/۶± ۴/۱۱b	۷۳/۶۲± ۰/۳۷ab	۱۴/۶۷± ۲/۰۶b	۰/۷۱۷± ۰/۱۸a	۰/۵۰± ۰/۱۲a	۰/۴۰± ۰/۰۵a	۱/۲۲± ۰/۲۶a
۷۵	۸۰± ۱۴/۱۴c	۱/۵۱± ۰/۳۵b	۸/۶۳± ۲/۱۵a	۵/۹۵± ۰/۴۸a	۱۸± ۱/۶۳a	۶۸/۲۵± ۴/۹۴b	۱۶± ۲/۱۶b	۰/۸۴± ۰/۱۱a	۰/۴۹± ۰/۰۷a	۰/۴۴± ۰/۰۲a	۱/۳۲± ۰/۱۸a
۱۰۰	۵۰± ۱۴/۱۴c	۳/۱۵± ۰/۶۱a	۹/۰۶± ۰/۵۰a	۴/۶۷± ۰/۲۴b	۲۰/۶۹± ۲/۰۱a	۶۸/۷۹± ۲/۷۳b	۲۰/۳۷± ۰/۶۳a	۰/۸۸± ۰/۰۳a	۰/۶۱± ۰/۱۶a	۰/۴۵± ۰/۰۶a	۱/۴۹± ۰/۱۷a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نیستند.



جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه گونه *M. recutita* در چهار سطح تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتوتوئیدها	کلروفیل کل
تیمار	۳	۱۸۶۵۵۰۸/۵۵**	۵/۷۴*	۲۱۸/۸۶*	۹/۲۷*	۱۰۰/۳۵**	۱۴۴/۹۷*	۴۵/۹۹**	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴
خطا	۹	۶۰۱۷۲/۰۱	۱/۸۶	۳۶/۶۲	۱/۶۸	۶/۶۱	۲۷/۷۵	۵/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۱
ضریب تغییرات		۱۹/۰۹	۱۹/۱۲	۱۷/۴۷	۱۷/۰۵	۱۶/۵۷	۷/۴۹	۱۲/۹۸	۱۵/۹۹	۱۸/۱۴	۱۲/۵۲	۱۳/۰۳

\*\* و \* : معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۶- میانگین و انحراف معیار صفات مورد مطالعه گونه *M. recutita* در چهار سطح تنش خشکی (تیمار ۱۰۰، ۷۰، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی که به ترتیب سطح شاهد، تنش کم، متوسط و شدید را نشان می دهد).

تیمار	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتوتوئیدها	کلروفیل کل
۳۵	۱۵۰۷/۸۵±۵۱۲/۴۸a	۴/۱۱±۱/۴۰ab	۲۴/۰۳±۹/۴۸ab	۵/۶۶±۰/۷۷a	۹/۳۳±۲/۴۹c	۷۷/۵۸±۴/۳۲a	۱۴/۴±۲/۴۱b	۰/۷۴±۰/۲۶a	۰/۵۵±۰/۱۴a	۰/۴۴±۰/۰۳a	۱/۲۹±۰/۳۲a
۵۵	۷۸۰±۸۸/۳۲b	۶/۱۴±۱/۰۲a	۱۰/۷۳±۱/۷۴c	۸/۸۲±۱/۳۱ab	۱۵/۰۴±۲/۳۹b	۷۲/۸۲±۲/۳۴ab	۱۵/۶±۰/۷۳b	۰/۷۹±۰/۲۱a	۰/۵۹±۰/۱۳a	۰/۴۳±۰/۰۱a	۱/۳۸±۰/۳۰a
۷۵	۱۰۹/۴۹±۵۰/۲۹c	۵/۱۲±۰/۷۴ab	۱۵/۵۱±۶/۵۴bc	۷/۱۷±۱/۸۹b	۱۶/۱۴±۲/۶۴b	۶۴/۴۹±۶/۲۳b	۱۷/۸۳±۲/۳۳b	۰/۹۳±۰a	۰/۶۱±۰/۰۸a	۰/۴۹۵±۰/۰۱a	۱/۵۴±۰/۰۹a
۱۰۰	۵۰±۲۸/۲۸c	۳/۳۹±۱/۶۱b	۲۶/۶۵±۲/۵۰ab	۵/۶±۰/۶۲b	۲۱/۵۵±۱/۴۸a	۶۶/۳۴±۵/۱۵b	۲۲/۱±۲/۰۲۲a	۰/۸۲±۰/۱۴a	۰/۶۱±۰/۲۶a	۰/۴۱±۰/۰۹a	۱/۴۳±۰/۴۰a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نیستند.

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه گونه *T. servans* در چهار سطح تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	کلروفیل کل
تیمار	۳	۷۳۵۷۷۳/۰۶**	۰/۴۴	۳۶/۹	۷/۰۵**	۱۷۶/۱۲**	۱۱۰/۶۰*	۸۷/۱۳**	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱*	۰/۰۲
خطا	۹	۲۲۸۸/۴۴	۱/۱۶	۴۱/۲۸	۰/۵۳	۱۳/۷۱	۲۲/۱۶	۱/۶۸	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۷
ضریب تغییرات		۱۱/۰۷	۱۸/۶۲	۱۸/۲۲	۱۲/۱۵	۱۷/۷۰	۶/۷۱	۸/۰۹	۱۶/۹۹	۱۷/۵۶	۱۰/۱۱	۱۹/۰۷

\*\* و \* : معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۸- میانگین و انحراف معیار صفات مورد مطالعه گونه *T. servans* در چهار سطح تنش خشکی

(تیمار ۱۰۰، ۷۰، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی که به ترتیب سطح شاهد، تنش کم، متوسط و شدید را نشان می دهد).

تیمار	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	کلروفیل کل
۳۵	۸۲۵/۶۸±۷۸/۹۷a	۳/۶۳±۰/۴۱a	۲۶/۸۶±۷/۷a	۴/۵۲±۰/۲۹b	۶±۱/۶۳c	۷۰/۶۰±۷/۴۴ab	۱۱±۰/۸۵d	۰/۶۹±۰/۱۸a	۰/۵۱±۰/۰۶a	۰/۴۲±۰/۰۱ab	۱/۱۹۵±۰/۲۱a
۵۵	۷۸۰±۶۴/۸۱a	۴/۱۱±۱/۵۰a	۲۳±۵/۶۶a	۶/۹±۱/۰۸a	۱۰/۳۸±۱/۷۲bc	۷۶/۷۵±۲/۳۲a	۱۴/۳۳±۱/۷۰c	۰/۷۷±۰/۲۰a	۰/۵۲±۰/۱۰a	۰/۴۵±۰/۰۴a	۱/۲۹۷±۰/۲۵a
۷۵	۷۸/۶۵±۳۹/۲۳b	۳/۳۶±۰/۸۹a	۱۹/۷۷±۸/۹۳a	۷/۳۲±۰/۸۹a	۱۵/۷۷±۷/۱۳ab	۶۹/۲۵±۳/۲۷ab	۱۶/۶±۱/۸۲b	۰/۸۱±۰/۱۳a	۰/۵۲±۰/۱۹a	۰/۳۷±۰/۰۶b	۱/۳۳±۰/۳۲a
۱۰۰	۴۳/۵۶±۱۲/۴۲b	۳/۹۴±۰/۹۰a	۲۱/۴۵±۴/۱۵a	۵/۲۶±۰/۶۲b	۲۱/۳۱±۲/۵۲a	۶۳/۹۵±۲/۸۰b	۲۲/۱±۰/۷۰a	۰/۸۶±۰/۰۳a	۰/۵۱±۰/۱۳a	۰/۴±۰/۰۱ab	۱/۳۶±۰/۱۳a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نیستند.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه گونه *T. parthenium* در چهار سطح تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوییدها	کلروفیل کل
تیمار	۳	۵۲۲۷۶/۲۶**	۱/۰۶*	۱۶۰/۲۷**	۶/۷۲**	۲۵۲/۵۰**	۳۹/۱۳	۳۳/۱۷**	۰/۰۲	۰/۰۷*	۰/۰۱*	۰/۱۵*
خطا	۹	۱۱۵۷/۳۳	۰/۲۸	۱۲/۸۱	۰/۶۱	۱۳/۴۴	۱۳/۹۹	۲/۷۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۳
ضریب تغییرات		۱۱/۲۹	۱۴/۲۲	۱۶/۸۳	۱۲/۷۴	۱۷/۸۷	۵/۲۲	۱۰/۲۶	۱۴/۲۷	۱۵/۷۰	۹/۲۰	۱۲/۵۵

\*\* و \* : معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۱۰- میانگین و انحراف معیار صفات مورد مطالعه گونه *T. parthenium* در چهار سطح تنش خشکی

(تیمار ۱۰۰، ۷۰، ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی که به ترتیب سطح شاهد، تنش کم، متوسط و شدید را نشان می دهد).

تیمار	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پروتئین کل	RWC	وزن خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوییدها	کلروفیل کل
۳۵	۲۸۳/۲۴±۳۶/۸۳b	۳/۰۹۵±۰/۵۴b	۲۳/۴۱±۴/۸۳a	۵/۶۵±۰/۷۶b	۹/۷۷±۶/۸۰c	۷۵/۰۱±۴/۰۸a	۱۲/۶۷±۱/۷۰c	۰/۷۴±۰/۲۷a	۰/۴۵±۰/۱۳b	۰/۴۴±۰/۰۴ab	۱/۱۹۵±۰/۱۶b
۵۵	۴۵۰±۲۴/۴۹a	۴/۰۳±۰/۷۸a	۹/۰۵±۲/۵۱c	۷/۹۹±۱/۰۹a	۱۳/۲۶±۰/۸۰c	۷۳/۶۱±۲/۵۷a	۱۵/۸±۱/۴۰b	۰/۸۱±۰/۲۳a	۰/۴۶±۰/۰۳b	۰/۴۹±۰/۰۴a	۱/۲۷±۰/۲۲b
۷۵	۳۰۰±۴۸/۹۹b	۴/۲۱±۰/۲۴a	۱۵/۵۴±۳/۴۴b	۵/۷۷±۰/۶۳b	۱۹/۳۳±۰/۹۴b	۶۸/۶۴±۲/۴۴a	۱۶/۶۷±۱/۲۵b	۰/۷۶±۰/۰۹a	۰/۴۹±۰/۱۹b	۰/۳۹±۰/۰۲b	۱/۲۵±۰/۱۳b
۱۰۰	۱۷۱/۸۱±۳۵/۰۱c	۳/۴۶±۰/۳۳ab	۲۰/۷۴±۱/۴۰ab	۵/۰۳±۰/۰۸b	۲۷/۹۱±۱/۸a	۶۹/۳۸±۳/۸۲a	۱۹/۶۷±۱/۷۰a	۰/۸۹±۰/۰۴a	۰/۷۳±۰/۱۶a	۰/۴۵±۰/۰۴ab	۱/۶۲±۰/۱۶a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نیستند.



## همبستگی بین صفات

بررسی ضرایب همبستگی بین محلول‌های محافظ اسمزی (پرولین و قندهای محلول)، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و RWC در چهار گونه مورد بررسی (جدول ۱۱) نشان داد که در گونه *A. tinctoria* تغییرات پرولین با قندهای محلول، پراکسیداز و RWC؛ قندهای محلول با پراکسیداز و RWC و پلی‌فنل‌اکسیداز با پراکسیداز و RWC به صورت مثبت و معنی‌داری با هم ارتباط دارند. در گونه *M. recutita*

همبستگی بین صفات مختلف کاملاً مشابه با گونه *A. tinctoria* بود. در گونه *T. servanes* تغییرات پرولین با قندهای محلول و RWC؛ قندهای محلول با RWC و پلی‌فنل‌اکسیداز با پراکسیداز به صورت مثبت و معنی‌داری باهم ارتباط داشتند. در گونه *T. parthenium* به استثناء تغییرات پراکسیداز که با RWC همبستگی نشان نداد، سایر ویژگی‌های مورد بررسی به صورت مثبت و معنی‌داری باهم ارتباط داشتند (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف بیوشیمیایی مورد بررسی به تفکیک چهار گونه با بونه

نام گونه	نام صفات	پرولین	قندهای محلول	پراکسیداز	پلی‌فنل‌اکسیداز
<i>A. tinctoria</i>	قندهای محلول	۰/۹۴**			
	پراکسیداز	۰/۶۷**	۰/۸۰**		
	پلی‌فنل‌اکسیداز	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۶۸**	
	RWC	-۰/۹۳**	-۰/۹۵**	۰/۴۵	-۰/۵۷*
<i>M. recutita</i>	قندهای محلول	۰/۷۷**			
	پراکسیداز	۰/۸۰**	۰/۹۴**		
	پلی‌فنل‌اکسیداز	-۰/۰۶	۰/۴۹	۰/۵۴*	
	RWC	-۰/۸۱**	-۰/۹۶**	۰/۵۶*	-۰/۵۵*
<i>T. servanes</i>	قندهای محلول	۰/۹۶**			
	پراکسیداز	۰/۱۷	-۰/۰۷		
	پلی‌فنل‌اکسیداز	-۰/۲۶	-۰/۳۸	۰/۷۷**	
	RWC	-۰/۸۲**	-۰/۹۳**	-۰/۷۶**	-۰/۲۱
<i>T. parthenium</i>	قندهای محلول	۰/۷۵**			
	پراکسیداز	۰/۹۲**	۰/۷۷**		
	پلی‌فنل‌اکسیداز	۰/۹۶**	۰/۵۷*	۰/۸۱**	
	RWC	-۰/۷۹**	-۰/۸۴**	۰/۳۲	-۰/۷۳**

\*\* و \* : معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

## بحث

بررسی میانگین صفات زراعی چهار گونه مورد بررسی نشان می‌دهد که مقادیر صفات سطح پوشش، تعداد گل و وزن خشک بوته در سه گونه *T. sevanense A tinctoria* و *T. parthenium* مشابه بوده و گل‌دهی آنها در طی ۱۴۰-۱۴۸ روز آغاز شده و در طی ۱۶۱-۱۶۶ روز به مرحله گل‌دهی می‌رسند. گونه *M. recutita* در شرایط دیم، بیشترین سطح پوشش، ارتفاع، تعداد گل و وزن خشک بوته را داشته و در مدت زمان کوتاه‌تری گل می‌دهد.

سازوکارهای فیزیولوژیکی پاسخ به شرایط کم‌آبی گیاه بایونه بوسیله بررسی تغییرات محلول‌های محافظ اسمزی (پرولین و قندهای محلول)، محتوای آب نسبی (RWC)، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) و پیگمان‌های گیاهان تحت تنش مطالعه گردید. بررسی مقادیر پرولین در سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد، تنش کم، متوسط و شدید) حکایت از انباشتگی بسیار زیاد پرولین در گونه‌های *A. tinctoria* (۷۸۸ میکروگرم در گرم تر گیاه در تنش متوسط)، *M. recutita* (۱۵۰۷ میکروگرم در گرم تر گیاه در تنش شدید)، *T. servanes* (۷۸۰ و ۸۲۵ میکروگرم در گرم تر گیاه به ترتیب در تنش متوسط و شدید) و *T. parthenium* (۴۵۰ میکروگرم در گرم تر گیاه در تنش متوسط) بود. بررسی چهار گونه تحت تنش شدید نشان داد که میزان پرولین در گونه *M. recutita* بسیار بیشتر از سه گونه دیگر بود. میزان پرولین گونه‌های *A. tinctoria* و *T. parthenium* از تنش متوسط به تنش شدید کاهش معنی‌داری نشان داد ولی در گونه *T. sevanense* تغییر معنی‌داری نکرد. این موضوع نشان می‌دهد که در گونه‌های *T. sevanense A tinctoria* و *T. parthenium* تنش شدید باعث آسیب‌های متابولیکی شده، به طوری که مقدار پرولین کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که گونه *M. recutita* ظرفیت بالاتری برای تنظیم اسمزی بوسیله انباشتگی پرولین در تنش شدید دارد که به این گیاه امکان می‌دهد که در شرایط

سخت محیطی به جذب آب ادامه دهد. در حالی که سه گونه *T. parthenium* و *T. sevanense A tinctoria* تحمل خوبی به شرایط تنش متوسط نشان دادند. نتایج قبلی مطالعه اثر تنش خشکی در بین جمعیت‌های مختلف گونه‌های *A tinctoria* و *T. sevanense* نشان داده که اگرچه مقادیر پرولین در این دو گونه افزایش می‌یابد ولی مقدار آن در بین جمعیت‌های مختلف به طور معنی‌داری متفاوت است (Salehi Shanjani et al., 2015).

بررسی مقادیر قندهای محلول گونه‌های *A. tinctoria* *M. recutita* و *T. servanes* در چهار سطح تنش نشان داد که به استثناء گونه *T. servanes*، تنش خشکی انباشتگی قندهای محلول را افزایش می‌دهد. با وجود این بیشترین انباشتگی قند در تنش متوسط مشاهده گردید. انباشت قندهای محلول در شرایط تنش علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی مهمی که از نظر تأمین انرژی و جلوگیری از مرگ حتمی ایفا می‌کنند، می‌توانند باعث کاهش قابلیت اسمزی شده و از طریق تنظیم اسمزی موجب بالاتر نگاه داشتن میزان آب نسبی شده و به این ترتیب در سازوکار تحمل به خشکی نقش مهمی دارند (Benhmimou et al., 2018).

در این تحقیق مشاهده گردید که تنش‌های خشکی ملایم و متوسط باعث افزایش معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در سه گونه *M. recutita*، *T. servanes* و *T. Parthenium* شده، در حالی که تنش خشکی شدید باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های ذکر شده گردید که حکایت از تخریب عملکرد این دو آنزیم در استرس شدید دارد (Gharibi et al., 2016). در گونه *A. tinctoria* فعالیت دو آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نه تنها از گونه‌های دیگر کمتر بود، بلکه تغییرات افزایشی و کاهش معنی‌داری نیز نداشتند. بررسی‌ها نشان داده است که ارقام مقاوم به خشکی *Phaseolus acutifolius* (Türkan et al., 2005)، چای (Upadhyaya et al., 2008)، زیتون (Ben Liu) *Pyracabtha fortuneana* (Ahmed et al., 2009) و یونجه (Veisipoor et al., 2013) (et al., 2011).

پیگمان‌های کلروفیل a و کلروفیل b به‌عنوان سازوکار حفاظت نوری استفاده می‌شوند تا با کاهش جذب نور، از زنجیره فتوسنتزی گیاه حفاظت نمایند (Shahanshah & Isoda, 2010).

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان دادند که گونه *M. recutita* نسبت به سه گونه دیگر در شرایط دیم، بیشترین سطح پوشش، ارتفاع، تعداد گل و وزن خشک بوته را داشته و در مدت زمان کوتاه‌تری گل می‌دهد. بنابراین شرایط کم‌آبی را بهتر تحمل می‌کند. بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی پاسخ به شرایط کم‌آبی گونه‌های بابونه نشان داد که *M. recutita* نسبت به سه گونه بابونه دیگر به علت ظرفیت بالاتر تنظیم اسمزی تحمل بیشتری به تنش خشکی شدید داشته، در حالی که سه گونه *T. parthenium* تحمل خوبی به شرایط تنش متوسط نشان دادند.

### سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (به شماره ۹۰۰۰۱-۹۰۰۰۱-۰۹-۰۹-۱۲) می‌باشد. به این وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را اعلام می‌نمایم.

### منابع مورد استفاده

- Alizadeh, M.A., Yaryab, S., Jafari, A.A. and Salehi Shanjani P. 2016. Variation of morphological traits, shoot yield, essential oil yield and growing degree-days in the populations of pseudo chamomile (*Tripleurospermum sevasnense*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31: 967-976. (In Persian)
- Arazmjoo, E., Heidari, M. and Ghanbari A., 2010. Effect of water stress and type of fertilizer on yield and quality of chamomile (*Matricaria chamomile* L.). Iranian Journal of Agricultural Science, 12: 100-111. (In Persian)
- Aref, I., El Atta, H., El Obeid, M., Ahmed, A., Khan, P. and Iqbal, M., 2013. Effect of water stress on

*Aegilops* (Fabriki-Ourang and Shahidi, 2018; Taghipour et al., 2014)، آویشن (Tátrai et al., 2016) و برنج (Swapna & Shylaro, 2017) دارای فعالیت بالاتری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نسبت به ارقام حساس به خشکی هستند.

مقدار پروتئین‌های محلول چهار گونه مورد بررسی در سطوح مختلف تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان داد که می‌تواند ناشی از کاهش فراوانی پیش‌ماده‌های تولیدکننده پروتئین‌ها (مواد معدنی و آلی)، تجزیه پروتئین‌ها و کاهش تظاهر ژنها باشد (Omprakash et al., 2017).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که به‌استثناء گونه *T. parthenium* در سه گونه *M. recutita*، *A. tinctoria* و *T. servanes* با افزایش تنش خشکی، محتوای نسبی آب (RWC) برگ افزایش معنی‌داری یافت. این نتایج با یافته‌های سایرین در گونه‌های کنجد (Hassanzadeh et al., 2009) و *Stevia* (Benhmimou et al., 2018) مطابقت دارد. مقایسه بین ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی گیاه یونجه نشان داد که در شرایط تنش، میزان کاهش RWC ژنوتیپ مقاوم به خشکی بسیار کمتر از ژنوتیپ حساس است (Yarnia et al., 2001؛ Ghorbani Javid et al., 2006). RWC بالاتر نشان‌دهنده وجود سازوکار کارآمدتر کاهش دهنده تلفات آب از طریق روزنه‌هاست (Aref et al., 2014). طبق نتایج (Kaiser, 1989) هنگامی که RWC گیاه توتون بیش از ۳۰٪ کاهش یابد، کاهش غیرقابل برگشتی در ظرفیت فتوسنتزی بوجود می‌آید که ناشی از صدمه وارده به غشای کلروپلاست بوده و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌گردد.

بررسی مقدار پیگمان‌های گیاهی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها در چهار سطح تنش نشان داد که به‌استثناء گونه *T. parthenium* مقادیر پیگمان‌ها در گونه‌های *M. recutita*، *A. tinctoria* و *T. servanes* تفاوت معنی‌داری در مواجهه با تنش خشکی نشان ندادند. این موضوع نشان‌دهنده عدم تخریب پیگمان‌های گیاهی در گونه‌های یادشده است. در برخی گیاهان کاهش مقدار

- germination and seedling growth of Common Yarrow (*Achillea millefolium* L.) in laboratory conditions. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2: 383-391.
- Fu, J. and Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 105-114.
- Gharibi, S., Tabatabaei, B., Saeidi, G. and Goli, S., 2016. Effect of Drought Stress on Total Phenolic, Lipid Peroxidation, and Antioxidant Activity of *Achillea* Species. *Applied biochemistry and biotechnology*, 178: 796-809.
- Ghorbani Javid, M., Moradi, F., Akbari, G. and Dadi, I., 2006. The role of some metabolites on the osmotic adjustment mechanism in annual cutleaf medic (*Medicago laciniata* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 8: 90-103 (In Persian).
- Grdiner, P., 1999. Chamomile (*Matricaria recutita*, *Anthemis nobilis*). Longwood Herbal Task Force, pp: 1-21.
- Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Eshghi, A.G., Jamaati-e-Somarin, Sh., Saeidi, M. and Zabihi-e-Mahmoodabad, R., 2009. Evaluation of Drought Stress on Relative Water Content and Chlorophyll Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes at Early Flowering Stage. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3: 345-350.
- Hornok, L., 1992. Cultivation and Processing of Medicinal Plants. Akadémiai Kiadó. Budapest, 337p.
- Kaiser, W.M., 1989. Effect of water deficit on photosynthesis capacity. *Journal of Plant Physiology*, 71: 142-149.
- Kordvaei, B., 1987. Drought regions. Tehran University Publication, Tehran, 287p (In Persian).
- Lebaschy, M.H. and Ashoorabadi, E.S., 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants Research*, 20: 249-261 (In Persian).
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology*, 148: 350-382.
- Liu, C.C., Liu, Y.G., Guo, K., Fan D., Li, G.Q., Yu, L., Yang, R. and Zheng, Y., 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71: 174-183.
- Omprakash, R., Gobu, Prashant Bisen, Murlimanohar relative water and chlorophyll contents of *Juniperus procera* Hochst. in Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 10: 681-685.
- Baczek-Kwinta, R., Kozie, A., Tokarz, K. and Seidler-Lozykowska, K., 2009. Is the drought-response of the wild type and a cultivar of German chamomile dependent on plant growth pattern or genetic modification? *Acta Physiological Plant*, 31: 53-74.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M. and Ben Abdallah, F., 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental Experimental Botany*, 67: 345-352.
- Benhmimou, A., Ibriz, M., Al Faiz, C., Gaboun, F., Shaimi, N., Amchra, F. and Lage, M., 2018. Effects of water stress on growth, yield, quality and physiological responses of two stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) varieties in Rabat region, Morocco. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 6: 21-34.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A., 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, 5: 1554. doi: 10.12688/f1000research.7678.1.
- 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
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry*, 72: 248-254.
- Cicevan, R., Al Hassan, M., Sestras, A.F., Prohens, J., Vicente, O., Sestras, R.E. and Boscaiu, M., 2016. Screening for drought tolerance in cultivars of the ornamental genus *Tagetes* (Asteraceae). *Peer Journal*, 4: e2133.
- Fabriki-Ourang, S. and Shahidi, B., 2018. Evaluation of genetic diversity effects on morpho-physiological and antioxidant responses in different species of *Aegilops* under drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 26: 254-267. (In Persian)
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. and Siddique, K., 2012. Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress*. Springer, New York, 152p.
- Fathi, A. and Tari, D.B., 2016. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. *International Journal of Life Sciences* 10: 1-6.
- Fetri, M., Dargahikho, A. and Rajabi, M., 2014. Effect of drought and salinity tensions on



- M.K., 2011. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): an overview. *Pharmacognosy reviews*, 5: 82.
- Srivastava, J. K., Shankar, E. and Gupta, S., 2010. Chamomile: A herbal medicine of the past with bright future. *Molecular medicine reports*, 3: 895.
- Swapna, S. and Shylaraj, K.S., 2017. Screening for Osmotic Stress Responses in Rice Varieties under Drought Condition. *Rice Science*, 24: 253-163.
- Taghipour, Z., Asghi-zakaria, R., Zare, N. and Sheikhzadeh, P., 2014. Evaluation of some physiological traits in populations of *Aegilops triuncialis* under drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 22: 55-66. (In Persian)
- Tátrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G., 2016. Morphological and Physiological Plant Responses to Drought Stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*, 10:1-8
- Türkan, I., Bor, M., Özdemir, F. and Koca, H., 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168: 223–231.
- Upadhyaya, H., Panda, S.K. and Dutta, B.K., 2008. Variation of physiological and antioxidative responses in tea cultivars subjected to elevated water stress followed by rehydration recovery. *Acta Physiologica Plant*, 30: 457–468.
- Veisipoor, A., Majidi, M.M. and Mirlohi, A., 2013. Response of physiological traits to drought stress in some populations of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 21: 87-102. (In Persian)
- Yarnia, M., Heydari Sharifabadi, F. and Rahimzadeh Khuii, F., 2001. Effects of adaptive metabolites on water relations of alfalfa cultivars at different salinity levels. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 3: 40-48 (In Persian).
- Yemm, E.W. and Willis, A.J., 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemistry Journal*, 57: 508–514.
- Baghel and Kumar Nishant Chourasia, 2017. resistance/tolerance mechanism under water deficit (drought) condition in plants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6: 66-78. doi: org/10.20546/ijcmas.2017.604.009
- Pirzad, A., Alyari, H., Skakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S. and Mohammadi, A., 2006. Essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. *Journal of Agronomy*, 5: 451-455.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G. and Perrotta, C., 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell Environment*, 22: 2143-2153.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Haloday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111.
- Romano, N. and Santini, A., 2002. Water retention and storage: Field. In: J.H., Dane and G.C., Topp (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods*, Soil Science Society of America, Madison, pp. 721-738.
- Salehi Shanjani P., Izadpanah M., Falah Hoseini L., Ramezani Yeganeh M., Rasoulzadeh L., Kavandi A., Sardabi F., Pahlevani M.R., Amirkhani M. and Seyedian S.E., 2015. Comparison of the effects of drought stress on pigments, peroxidase, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in different accessions of *Anthemis tinctoria* and *Tripleurospermum servanes* of Natural Resources Gene Bank of Iran. *Journal of Plant Researches*, 28: 126-139. (In Persian)
- Salehi Shanjani, P., Izadpanah, M. and Calagari, M., 2014. Effects of drought on osmotic adjustment, antioxidant enzymes and pigments in wild *Achillea tinctoria* populations. *Journal of Ethno-Pharmaceutical Products*, 6: 43-54.
- Shahenshah, S. and Isoda, A., 2010. Effects of Water Stress on Leaf Temperature and Chlorophyll Fluorescence Parameters in Cotton and Peanut. *Plant Production Science*, 13: 269-278. DOI: 10.1626/pp.13.269
- Singh, O., Khanam, Z., Misra, N. and Srivastava,

## Morpho-physiological responses of four chamomile species to rainfed conditions and drought stress under greenhouse conditions

P. Salehi Shanjani<sup>1\*</sup>, L. Rasoulzadeh<sup>2</sup>, L. Falah Hoseini<sup>2</sup>, M. Ramezani Yeganeh<sup>2</sup>, H. Javadi<sup>3</sup>, M. Amirkhani<sup>2</sup>, M.R. Pahlevani<sup>2</sup> and S.E. Seyedian<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Corresponding author, Assoc. Prof, Natural Resources Gene Bank, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, I.R. Iran. \*Corresponding author E-mail: psalehi@rifir-ac.ir

<sup>2</sup> Researchers, Natural Resources Gene Bank, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, I.R. Iran.

<sup>3</sup> Asist. Prof., Natural Resources Gene Bank, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, I.R. Iran.

Received: 01.01.2019

Accepted: 15.09.2019

### Abstract

Drought stress is one of the most important factors limiting the survival and growth of plant in different parts of Iran. In this study, the morphological characteristics of four perennial chamomiles species, *Anthemis tinctoria*, *Matricaria recutita*, *Tripleurospermum sevanense* and *Tanacetum parthenium*, were evaluated in rainfed and greenhouse conditions in Alborz research field, Research Institute of Forests and Rangelands, Iran. The results showed that *M. recutita* had the highest plant crown surface, height, flower number, plant dry weight; and early flowering date in rainfed conditions compared to the other three species. In the greenhouse experiment in order to study the physiological mechanisms of response to water deficit, the four species were subjected to four drought treatments including well-watered (control), mild drought stress (75% of field capacity (FC)), moderate drought stress (55% of FC), and severe drought stress (35% of FC). Changes in compatible solutes (proline and soluble sugars), relative water content (RWC), antioxidant enzymes (peroxidase and polyphenol oxidase) and pigments of stress plants were investigated. The result of the physiological response of the chamomile species in greenhouse condition showed that *M. recutita* was the most tolerant species to severe drought stress conditions due to its the higher osmotic regulation capacity, while the other three species *A. tinctoria*, *T. servanes* and *Tanacetum parthenium* showed good tolerant to moderate stress conditions.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Chamomile, Drought stress, Chlorophyll, Morphology.