

اثر اصلاح کننده‌های خاک بر گیاهان ختمی (*Alcea rosea* L.) تحت تنش خشکی

تکتم اورعی، محمود شور*، علی تهرانی فر، سیدحسین نعمتی، عطیه اورعی

گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹)

چکیده

بقاء گیاهان زینتی به‌عنوان بخش حیاتی فضای سبز در اثر تغییرات اقلیمی و تنش خشکی به مخاطره افتاده است. به‌منظور بررسی اثر اصلاح کننده‌های خاک بر رشد دو اکوتیپ ختمی زینتی تحت تنش خشکی، در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، آزمایشی طراحی شد. تیمارهای آزمایش شامل دو اکوتیپ (مشهد، تهران)، سه سطح تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی) و چهار بستر کشت (خاک، خاک+ کود دامی، خاک+ شلتوک برنج، خاک+ کاه و کلش گندم) بودند. عناصر ماکرو (نیترژن، فسفر و پتاسیم) برگ، صفات فیزیولوژیکی گیاه نظیر (کلروفیل کل، پروتئین، و فعالیت آنزیم‌ها) و صفات مورفولوژیکی (ارتفاع، قطر ساقه، تعداد برگ، گل، غنچه و سطح برگ) اندازه‌گیری شد. همچنین اثر زمان بر تعداد گل و برگ ختمی تحت تنش خشکی نیز به ثبت رسید. تمامی صفات فیزیولوژیکی و رشدی گیاهان ختمی تحت تیمارهای آزمایش قرار گرفتند و بیشترین میزان صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل) و شاخص‌های رشدی در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی در بستر خاک+ کود دامی به ثبت رسید. اثرات متقابل سه‌گانه اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت بر میزان پروتئین، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، و آسکوربات پراکسیداز معنی‌داری نبود، اما فعالیت آنزیم‌ها با افزایش تنش خشکی روندی صعودی داشت. همچنین صفات تعداد برگ و گل با افزایش تنش خشکی روندی نزولی داشتند. نتایج نشان داد که، کاربرد کود دامی همراه با خاک با فراهم نمودن عناصر ماکرو اثرات منفی تنش خشکی را در ختمی کاهش داد و سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی در دو اکوتیپ شد.

کلمات کلیدی: ختمی، بستر کشت، اکوتیپ، عناصر غذایی

مقدمه

کرده‌اند که تا پایان قرن اخیر دمای کره زمین ۳ تا ۹ درجه سانتی‌گراد با اثرات گسترده‌ای می‌تواند افزایش یابد و خصوصاً باعث افزایش خشکی زمین‌های قابل کشت می‌شود (Hermans and McLeman, 2021).

از سوی دیگر، متوسط پتانسیل تبخیر سالانه در جهان ۷۰۰ میلی‌متر و در ایران برابر با ۲۱۰۰ میلی‌متر است و این موضوع نشان می‌دهد که تبخیر سالانه ایران سه برابر متوسط تبخیر سالانه جهانی است. از یک سو متوسط میزان بارندگی ایران

در طبیعت گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی هستند که می‌توانند اثر منفی بر رشدونمو و زنده‌مانی آنها داشته باشد. در بین فاکتورهای محیطی از جمله شوری، دمای بالا و تغذیه نامتعادل و ... خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد در بسیاری از مناطق موردتوجه است. طبق آمار موجود بیش از ۴۵٪ از زمین‌های قابل کشت جهان در معرض خشکی مداوم و یا متوالی هستند (Chandra et al., 2021). دانشمندان پیش‌بینی

*نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: shoor@um.ac.ir

کمتر از متوسط بارندگی جهان است و از سوی دیگر پتانسیل متوسط تبخیر سالانه ایران سه برابر متوسط تبخیر جهان است که این موضوع نشان می‌دهد که محدودیت و کمبود منابع آبی در ایران نسبت به جهان بسیار حاد و جدی‌تر است (Shahraki et al., 2021). در واقع در سرزمین ایران نقاط وسیعی وجود دارد که از نظر طبقه‌بندی می‌توان آن‌ها را در دسته مناطق خشک قرارداد. مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در حدود ۱۰۰ میلیون هکتار برآورد شده است که ۶۴ درصد از سطح کشور را شامل می‌شود. باتوجه به محدودیت شدید منابع آبی، در اکثر مناطق کشور ما تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش تأثیرگذار به گیاهان معرفی شده است (Emadodin et al., 2019).

باتوجه به افزایش دمای کره زمین به میزان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد (IPCC, 2018) و کاهش میانگین بارندگی در ایران به میزان ۰/۶۴ میلی‌متر (Nazari et al., 2020)، انتخاب گیاهانی با تحمل بالا به تنش خشکی به‌منظور تضمین بقا و پایداری فضای سبز از اهمیت فراوانی برخوردار است. با بررسی توزیع و پراکنش زمانی بارندگی در ایران مشاهده شده است که این بارش‌ها از توزیع مناسبی برخوردار نیستند که این امر سبب تشدید کمبود آب در فضای سبز شده است. در چنین شرایطی علاوه بر مهارت و دقت کاربرد و مصرف این منابع آبی، بررسی و توصیه گیاهان متحمل و تعیین مرحله حساس به شرایط محیطی اهمیت و ضرورت بیشتری یافته است. تولید گیاهان بستری برای فضای سبز تجاری و مسکونی یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت گلکاری (Ahmad et al., 2020) و دارای پتانسیل سودآوری بالایی می‌باشد. با وجودی که قابلیت تولید در تمام سال بسیار ارزشمند است، اما پتانسیل تولید گیاهان با کیفیت تحت تأثیر گونه، رقم، اکوتیپ و شرایط محیطی قرار گرفته و در شرایط نامطلوب امکان ایجاد تأثیرات زیان‌باری وجود دارد (Lutatenekwa et al., 2020).

ختمی (*Alcea rosea* L.) یکی از گیاهان کم‌توقعی است که در سواحل ماسه‌ای زمین‌های کم‌ویش شور و مرطوب رشد می‌نماید و در ایران در کنار چشمه‌ها و نهرها رشد می‌نماید. به‌عنوان گیاه باغچه‌ای، با کاشت بذر آن در پاییز، در بهار سال

بعد گل داده و گلدهی آن از اواخر اردیبهشت تا اواسط پاییز ادامه دارد. این گیاه به دلیل حضور رنگ‌دانه‌ها و به‌منظور تولید مواد رنگی بسیار مورد توجه است (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۹۱). از گل‌های این گیاه به‌منظور تولید چای دارویی استفاده می‌شود. از طرفی خاصیت‌های ضدباکتریایی (Ahmed et al., 2016)، آنتی‌اکسیدانی (Hussain et al., 2014)، ضدافسردگی، دهان‌شویه، توقف خستگی، بهبود جریان خون (Burt and Reinders, 2003) این گیاه به اثبات رسیده است. این گیاه برای درمان سرفه در سرماخوردگی، خلط‌آور و نرم‌کننده مجاری تنفس، برای سوختگی خفیف و نیش حشرات نیز توصیه شده است (Seyyednejad et al., 2011).

گیاهان زینتی به‌منظور رشد در شرایط محیطی نیاز به مواد غذایی دارند، از طرفی، انتقال و جذب عناصر غذایی به میزان رطوبت خاک بستگی دارد (Briat et al., 2020). کاربرد کودهای آلی همراه با کمترین میزان آب که منجر به بالاترین عملکرد گیاهان شود، یکی از اجزای مدیریت کشاورزی به حساب می‌آید. این کودها می‌تواند جایگزینی برای کودهای شیمیایی محسوب شوند زیرا این کودها قیمت بالایی دارند و سبب آلودگی محیط می‌شوند (Murugan and Swarnam, 2019; Lin et al., 2013). از آنجا که مدیریت خاک از عوامل اصلی در رسیدن به کشاورزی پایدار است، لذا جایگزینی کودهای شیمیایی خصوصاً نیتروژن و فسفر با کودهای آلی، می‌تواند بشر را در دستیابی به تولید پایدار محصولات کشاورزی یاری نماید (Bi et al., 2020). در بسیاری از نظام‌های کشاورزی پایدار از کودهای آلی جهت بهبود حاصلخیزی خاک و نیز پیشگیری و کنترل آفت و امراض گیاهی استفاده می‌شود (Toungos and Bulus, 2019; Ullah et al., 2019).

گونه‌های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از مکانیسم‌های مقاومت به تنش خشکی را نشان می‌دهند که منجر به سازگاری‌های مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی می‌گردد. از آنجایی که جمعیت کشور ما رو به افزایش است برای بالا بردن سطح زندگی مردم، به‌ویژه با ایجاد محیطی سالم با احداث فضای سبز شهری، ایجاب می‌کند تا از گیاهان مناسب

به‌منظور کنترل دقیق میزان رطوبت خاک از دستگاه TDR استفاده شد. دو اکوتیپ به‌مدت یک ماه براساس روش احمدیان و همکاران (۱۳۸۹) با کمک فرمول زیر در معرض تنش خشکی قرار گرفتند.

$$Vw = \{(FC - \theta) (Bd \times D \times A)\}$$

FC: درصد وزنی ظرفیت زراعی، θ درصد وزنی رطوبت، D: عمق توسعه ریشه، Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، A (مساحت)

آب موردنظر تیمارهای آبیاری از طریق کنتور در اختیار گیاهان قرار گرفت. میزان نیتروژن، پتاسیم، و فسفر برگی در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد. برای تهیه نیتروژن برگ ۰/۲ نمونه برگ به همراه ۱۰ میلی‌گرم سولفوریک اسید و قرص مخلوط کاتالیزور، در دستگاه هضم تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده سپس با دستگاه کجلدال میزان نیتروژن اندازه‌گیری شد (Kjeldal, 1998) جهت تعیین میزان پتاسیم برگ به روش نشر شعله‌ای، نمونه‌های موجود در برگ به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شد، نیم گرم از نمونه‌ها به بوتله‌های چینی انتقال و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و به‌مدت ۴ الی ۱۲ ساعت به خاکستر تبدیل شد. خاکستر حاصل در ۲/۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید دو نرمال حل و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید بعد از صاف‌نمودن محلول با صافی، میزان پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد و میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (وانادات مولیبدات) با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۷۰ اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵).

استخراج و سنجش پروتئین: برای استخراج و سنجش پروتئین کل ابتدا ۵۰ میلی‌گرم از مواد ساییده‌شده توسط ازت مایع توزین و به فالكون‌های یک و نیم میلی‌لیتری منتقل شد. سپس ۵۰ میلی‌گرم پلی‌ونیل پلی‌پیرولیدون، ۴۹۵ مایکرولیتر محلول بافر استخراج (شامل: ۴۰ میلی‌مولار بافر تریس - کلرید هیدروژن، سدیم دودسیل سولفات دو درصد، گلیسرول ۲۰ درصد و ۶۰ میلی‌مولار دی تیوتریتول) و پنج مایکرولیتر فنیل متان سولفونیل فلوراید ۲۰۰ میلی‌مول به هر فالكون اضافه شد و به‌مدت ۸ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۵۰۰

با شرایط اقلیمی منطقه موردنظر و در نظر گرفتن تحمل گیاهان نسبت به خشکی استفاده شود؛ بنابراین ایجاب می‌کند که بررسی‌هایی جهت معرفی گونه‌های مقاوم به خشکی و عکس‌العمل‌های آنها در برابر این شرایط انجام گیرد، لذا این مطالعه باهدف شناخت آستانه تحمل به تنش خشکی ختمی در شرایط مزرعه، و شناخت بسترهای مختلف رشد بر تحمل به تنش خشکی ختمی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی سطح تحمل به تنش خشکی اکوتیپ‌های گیاه ختمی در بسترهای مختلف در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت آزمایش فاکتوریل (۲×۳×۴) بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. این آزمایش دارای ۲۴ تیمار و سه تکرار بود که عامل اول شامل سه تیمار خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل چهار بستر کشت (خاک مزرعه، خاک مزرعه و کود دامی، خاک مزرعه و شلتوک برنج کوبیده شده و خاک مزرعه و کاه و کلش گندم) بر روی دو اکوتیپ ختمی (مشهد و تهران) اجرا شد. ابتدا بذرها مردادماه در سینی‌های کشت محتوای مخلوط کوکوپیت، پرلایت و پیت در گلخانه با میانگین دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تحت فتوپریود ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی با شدت نور ۴۰۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه کشت شده و سپس تمامی گیاهچه‌ها در مرحله ۵-۶ برگی به گلدان‌هایی (ارتفاع ۱۸ و قطر ۸ سانتی‌متر) حاوی خاک مزرعه انتقال یافتند. سه ماه بعد، گیاهان به محتوی مخلوط خاکی حاوی چهار بستر متفاوت (خاک مزرعه، خاک مزرعه و کود دامی، خاک مزرعه و شلتوک و خاک مزرعه و کاه و کلش گندم) منتقل شدند (جدول ۱). گیاهان در مرحله ظهور گلدهی در ۱۵ خرداد تحت تنش خشکی توسط دستگاه TDR به‌مدت یک ماه قرار گرفتند. به‌منظور ایجاد تنش خشکی پیش از اجرای آزمایش از خاک مورد استفاده در گلدان‌ها نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

EC ds/m	pH	N (%)	K		P	بستر کشت
			(mg/kg)			
۱/۹۳	۷/۱۵	۰/۰۶۵	۲۳۵	۲۳	۲۳	خاک مزرعه
۲/۵۳	۷/۷۶	۰/۴۲	۳۴۳	۲۲۱۴	۲۲۱۴	خاک + کود دامی
۱/۷۷	۷/۲۶	۰/۲۳	۱۵۹۲	۲۷۱	۲۷۱	خاک + شلتوک برنج
۳/۱۳	۶/۶۸	۰/۲۱	۱۵۷۲	۱۱۷	۱۱۷	خاک + کاه و کلش گندم

و Asada (۱۹۸۱) استفاده شد. مخلوط واکنش شامل ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۷۷۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر آسکوربات اسید پنج میلی مولار و ۱۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۰/۱ میلی مولار بود. میزان جذب مخلوط واکنش در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۱۸۰ ثانیه توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. یک واحد آنزیمی معادل تجزیه یک میکرومول آسکوربات در مدت زمان یک دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است. فعالیت آنزیمی با استفاده از قانون بیر لامبرت و با ضریب خاموشی آسکوربات پراکسیداز $2/8 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ و با محاسبه و در نهایت برحسب میکرومول بر در دقیقه در میلی گرم پروتئین بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت

سوپراکسید دیسموتاز براساس روش Stewert و Bewley (۱۹۸۰) با اندکی تغییرات سنجیده شد. مخلوط واکنش آنزیمی شامل ۹۳۵ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار حاوی EDTAA ۰/۱ میلی مولار، متینین ۱۳ میلی مولار و نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میلی مولار، ۱۵ میکرولیتر ریبوفلاوین ۰/۱۲ میلی مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استخراج شده بود. پس از آماده سازی نمونه های کنترل (شاهد) و بلانک، به منظور اندازه گیری فعالیت آنزیمی، نمونه بلانک به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرارداد شد و نمونه های شاهد و عصاره آنزیمی، به مدت ۱۵ دقیقه در شیکر با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و دارای دو عدد لامپ فلورسنت ۲۰ وات با ۱۰۰ دور در دقیقه شیک شدند. سپس مقدار جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. مقداری از عصاره

دور قرار داد شدند. نمونه ها با دور ۸۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از فاز رویی همراه با ۹۰۰ میکرولیتر استون حاوی ۱۰٪ تری کلرو استیک اسید و ۰/۰۷٪ دی تیوترینول به آن اضافه شد و در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس نمونه ها با دور ۱۸۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و همراه با محلول استون حاوی ۲۰ میلی مولار دی تیوترینول ورتکس شدند و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد قرار داده شدند. در این مرحله فاز رویی دور ریخته شد و پس از خشک شدن پلیت، ۱۰۰ میکرولیتر بافر جذب به هر فالكون اضافه شد تا پروتئین استخراج شده به خوبی در این بافر حل شود و تا زمان سنجش پروتئین کل در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد (Wessel and Flugge, 1984). برای سنجش پروتئین کل از روش Bradford (۱۹۷۶) با اندکی تغییر استفاده شد. برای این منظور پروتئین های استاندارد با استفاده از آلبومین های سرم گاوی با غلظت های صفر، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۵، ۵۰ و ۷۰ میکروگرم در میلی لیتر تهیه شد. جهت سنجش غلظت پروتئین ده میکرولیتر از محلول پروتئین استخراج شده را با ۴۹۵ میکرولیتر آب در فالكون های ۱/۵ میلی لیتری مخلوط و ۱۰۰ میکرولیتر از این محلول با یک میلی لیتر محلول بردفورد مخلوط و ورتکس شدند. بعد از پنج دقیقه میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین کل نمونه ها با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میلی گرم بر میلی لیتر محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش Nakano

که بتواند احیاء نیتروبلوتراترازولیوم را ۵۰٪ بازداری کند معادل یک واحد آنزیمی در نظر گرفته می‌شود.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل: میزان کلروفیل موجود در برگ از جوان‌ترین برگ بالغ به روش پیشنهادی Arnon (۱۹۴۹) صورت گرفت. بدین ترتیب که ۰/۲ گرم برگ تر با ترازوی دیجیتال وزن و سپس در هاون چینی با بستن ۸۰ درصد به‌صورت تدریجی تا حصول یک محلول بی‌رنگ سائیده شد. سپس محلول شفاف رویی به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل گردید و حجم محلول با استن به ۲۵ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ گردید و سپس جذب نوری محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر خوانده شد. در نهایت میزان کل کلروفیل، کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم در گرم بافت تر برگ گزارش شد.

در آزمایشگاه، مساحت برگ‌های سبز توسط دستگاه سطح برگ‌سنج مدل DELTA-T اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای JMP 13.2 انجام و رسم شکل‌های مربوط به آن‌ها، توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات سه‌گانه اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ گیاهان معنی‌دار نبود (جدول ۲). میزان نیتروژن برگ به طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل اکوتیپ با تنش خشکی قرار گرفت، تفاوت معنی‌داری بین نیتروژن برگ اکوتیپ مشهد تحت تیمارهای تنش خشکی مختلف مشاهده نشد اما در اکوتیپ تهران با افزایش تنش خشکی از میزان نیتروژن برگی کاسته شد (شکل ۱a). از طرفی اثر متقابل بسترهای کشت و تنش خشکی بر میزان نیتروژن برگی معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی در نیتروژن برگی گیاهان کشت شده در بسترهای خاکی، خاک+کاه و کلش برنج تفاوت معنی‌داری

مشاهده نشد، اما در دو بستر دیگر با افزایش تنش خشکی از میزان نیتروژن کاسته شد (شکل ۲b). کاهش انتقال عناصر در گیاهان در شرایط تنش خشکی در خاک ثابت شده است (Getachew, 2014; Ghazi, 2017). مشاهدات He و Dijkstra (۲۰۱۴) نشان داد که غلظت نیتروژن (۳/۷۳ درصد) در برگ گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. از طرفی با افزایش تنش خشکی میزان نیتروژن برگ‌های ختمی کاسته شد که مطابق با نظرات Jabborova و همکاران، (۲۰۲۱) بود، آنها نشان دادند که تنش خشکی ۵۰٪ نسبت به شاهد میزان نیتروژن را در گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus*) کاهش داد. این نتایج مطابق با نتایج آزمایش حاضر بود که میزان جذب نیتروژن با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش انتقال آب، در هر دو اکوتیپ و در بسترهای کشت مختلف در برگ کاهش یافت. در برگ گیاهان ختمی، اکوتیپ مشهد توانست میزان نیتروژن برگی را در مقایسه با اکوتیپ تهران بالاتر نگه دارد، Al-Sayed و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که با افزایش عناصر ماکرو در بسترهای کشت گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) توسط کودهای آلی، این عناصر در برگ گیاهان نیز افزایش یافته است.

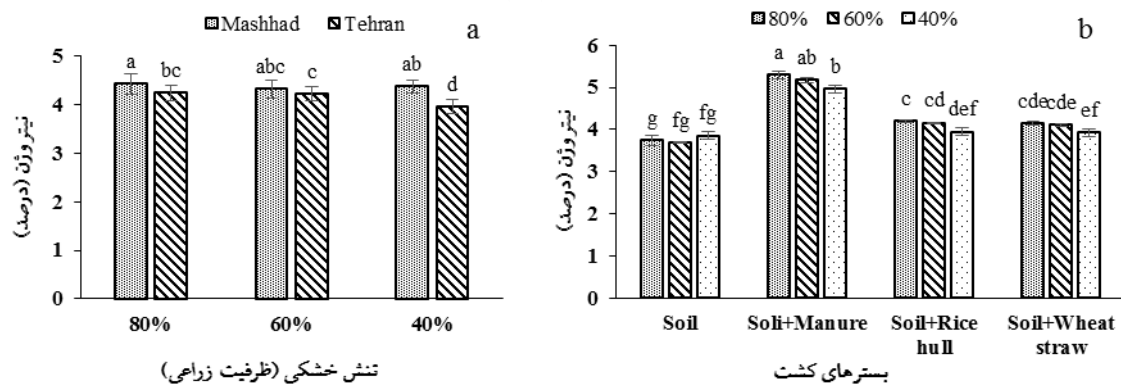
میزان پروتئین تحت اثرات متقابل اکوتیپ با بستر کشت، تنش خشکی با بستر کشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان پروتئین در اکوتیپ‌های مشهد و تهران با بستر کشت خاک+کود دامی (۳/۷۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) و کمترین میزان آن در بستر خاکی (۳/۱۹ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) به ثبت رسید (شکل ۲a). اثرات متقابل تنش خشکی و بستر کشت نشان داد که در بسترهای خاک+کود دامی، خاک+شلتوک برنج و خاک+کاه و کلش گندم با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۶۰٪ ظرفیت زراعی بر میزان پروتئین افزوده شد، اما در بستر خاکی تفاوت معنی‌داری بین تنش‌های خشکی مشاهده نشد (شکل ۲b).

اثرات متقابل سه‌گانه اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، و آسکوربات پراکسیداز معنی‌داری نبود (جدول ۲). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر عناصر و فعالیت آنزیم‌های برگ گیاهان ختمی تحت تنش

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیترژن برگ	فسفر برگ	پتاسیم برگ	کلروفیل کل	پروتئین	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز
اکوتیپ	۱	۰/۹۶۰۰**	۰/۰۰۰۶*	۰/۵۹۷۰ ^{ns}	۰/۳۶۰**	۰/۰۰۴*	۱۷**	۹۸۲*
خشکی	۲	۰/۱۷۴۰**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۱۱۰۰ ^{ns}	۱۲/۰**	۰/۱۳۹**	۱۷/۶۰۰**	۱۲۰۸۸*
بستر کشت	۳	۶/۶۲۰۰**	۰/۰۱۰۶**	۳۳/۹۰۰۰**	۴/۲۱۰**	۱/۰۵۰**	۱/۷۷۰ ^{ns}	۵۸۹۷**
اکوتیپ × خشکی	۲	۰/۱۵۳۰**	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۱۸۰ ^{ns}	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۵/۱۰۰**	۸۴۸ ^{ns}
اکوتیپ × بستر کشت	۳	۰/۰۲۷۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۳*	۰/۳۱۳ ^{ns}	۴۸۴۸ ^{ns}
بستر کشت × خشکی	۶	۰/۰۷۰**	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۹۸۰ ^{ns}	۰/۰۱۴**	۰/۰۲**	۰/۸۲۰ ^{ns}	۵۹۵۸ ^{ns}
اکوتیپ × خشکی × بستر کشت	۶	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۱۲۰ ^{ns}	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۶۸۱ ^{ns}	۳۲۳۴ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۱	۰/۲۳۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۷۰۵	۲۲۹
ضرب تغییرات		۱۳/۲	۴/۲۸	۱۶/۳	۲۳/۱	۶/۴۴	۴/۱۷	۶/۴۷

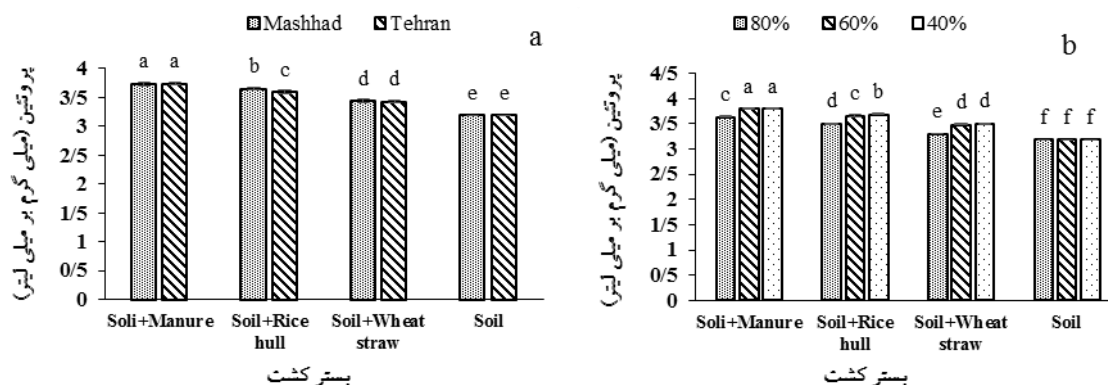
ns و ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.



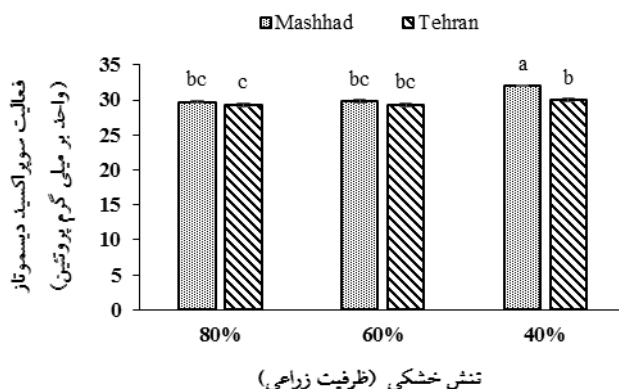
شکل ۱- اثر اکوتیپ و تنش خشکی (a)، بسترهای کشت و تنش خشکی (b) بر نیترژن برگ. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).

افزایش فعالیت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان جای ترش (Sanayei et al., 2021)، پنبه (Dogan et al., 2021) و همیشه‌بهار (Soroori et al., 2021) تحت تنش خشکی به ثبت رسیده است که مطابق با نتایج آزمایش حاضر است. ارقام مختلف گیاهان پاسخ‌های متفاوتی به تنش خشکی نشان می‌دهند. در گیاه بامیه، با گذشت زمان سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاهان تحت تنش خشکی فعال شد، به‌نحویکه فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتیون ردوکتاز، آسکوربات

تنها تحت اثرات دوگانه اکوتیپ با تنش خشکی قرار گرفت. در مقایسه دو اکوتیپ در تیمار آبیاری ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش تنش خشکی در ۴۰٪ ظرفیت زراعی اکوتیپ مشهد بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را به خود اختصاص داد (شکل ۳). آنزیم آسکوربات پراکسیداز تحت اثرات ساده اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت قرار گرفت، به‌نحویکه بیشترین فعالیت در اکوتیپ مشهد، تنش خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی و بستر خاک+کود دامی مشاهده شد.



شکل ۲- اثر بسترهای کشت بر میزان پروتئین اکوتیپ‌های ختمی (a) و اثرات تنش خشکی بر میزان پروتئین در بسترهای مختلف (b). میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).



شکل ۳- اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ اکوتیپ‌های ختمی. میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی) و اکوتیپ (مشهد و تهران).

(مشهد) بیشتر بود، از طرفی میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها همبستگی مثبت با عناصری نظیر نیتروژن و پتاسیم در برگ داشت (جدول ۴)، گیاه برای حفظ فعالیت آنزیم‌ها و سنتز پروتئین به k^+ نیاز دارد زیرا ساختار پروتئین و فعالیت پروتئین‌ها به مقدار بالای k^+ در سیتوسل نیاز دارد (Taiz and Zeiger, 2002; Cherel, 2004). در گیاهان تحت تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی در بستر خاک+کود دامی با بالاتر بودن عنصر نیتروژن، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز روندی صعودی داشت.

براساس نتایج تجزیه واریانس، کلروفیل کل گیاهان به‌طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل تنش خشکی، اکوتیپ و بستر

پراکسیداز در روز هفتم در گیاهان تحت تنش خشکی به بالاترین میزان خود رسیدند (Puthiyottil et al., 2021).

کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی در نعنا (*Mentha piperita* L.)، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز را به‌عنوان سیستم آنزیمی که اثرات منفی تنش را کاهش می‌دهند، در دو سال متوالی افزایش داد. همبستگی بین صفات رشدی و فعالیت این آنزیم‌ها تحت تنش نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش با افزایش جذب عناصر غذایی منجر به افزایش تحمل به تنش خشکی شده است (Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021). در آزمایش حاضر نیز فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در اکوتیپ متحمل‌تر

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر صفات رویشی گیاه ختمی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	قطر ساقه	تعداد برگ	تعداد گل	تعداد غنچه	مساحت برگ
اکوتیپ	۱	۹۸۶**	۰/۲۶۹**	۱۶۵**	۷۲**	۴۵/۱**	۱۴۴۰۰۶**
خشکی	۲	۴۲۴۴**	۱/۴۴**	۲۵۸**	۷۲/۸**	۷/۷۶**	۷۶۶۴۲**
بستر کشت	۳	۵۷۰**	۰/۳۵۹**	۷۶/۶**	۲۵/۱**	۱۸/۷**	۶۲۱۲۵۳**
اکوتیپ × خشکی	۲	۱۲۵**	۰/۲۰۲**	۴/۸۴**	۱۲/۱۰**	۳/۲۹**	۶۲۰۹*
اکوتیپ × بستر کشت	۳	۴۲/۶**	۰/۰۲۷**	۱۲/۲**	۲/۳۴**	۰/۸۲۹**	۴۲۰۴ ^{ns}
بستر کشت × خشکی	۶	۶۵/۲**	۰/۲۸۴**	۷/۶۸**	۳/۵۲**	۲/۴۴۹**	۱۵۲۴۱**
اکوتیپ × خشکی × بستر کشت	۶	۸/۸۲**	۰/۰۵۰**	۳/۳۸**	۱/۲۷**	۰/۴۹۵*	۷۸۷۶**
خطا	۴۸	۰/۸۵	۰/۰۰۱	۰/۵۶۹	۰/۲۷۸	۰/۱۸۱	۱۶۱۷
ضرب تغییرات		۱۲/۶	۸/۲۶	۱۰/۹	۲۰/۵	۱۶/۳	۵/۹

***، ** و * : MS به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

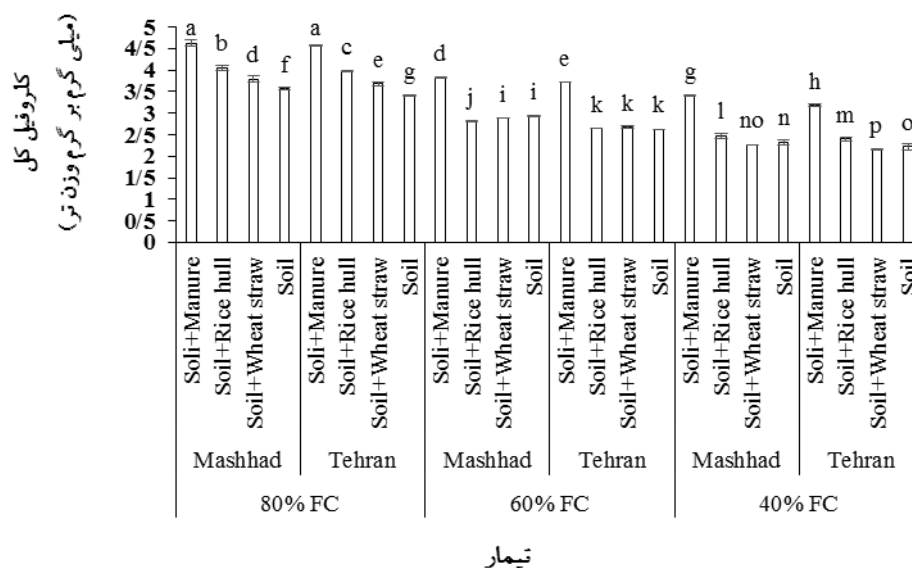
جدول ۴- همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده در گیاهان ختمی تحت تیمارهای مختلف

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱- نیتروژن برگ												
۲- فسفر برگ	۰/۴۱**											
۳- پتاسیم برگ	۰/۶۱**	۰/۶۰**										
۴- کلروفیل کل	۰/۴۷**	۰/۴۰**	۰/۳۱**									
۵- پروتئین	۰/۷۰**	۰/۴۹**	۰/۸۶**	۰/۰۶ ^{ns}								
۶- آسکوربات پراکسیداز	۰/۶۴**	۰/۵۰**	۰/۸۷**	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۷۴**							
۷- سوپراکسید دیسموتاز	۰/۳۰**	۰/۲۴*	۰/۳۷**	-۰/۳۱**	۰/۵۲**	-۰/۰۱ ^{ns}						
۸- ارتفاع	۰/۶۰**	۰/۴۵**	۰/۳۴**	۰/۷۹**	-۰/۰۴ ^{ns}	۰/۳۲**	۰/۰۱ ^{ns}					
۹- تعداد برگ	۰/۷۵**	۰/۶۰**	۰/۵۱**	۰/۸۱**	۰/۲۸*	۰/۲۴*	۰/۳۰**	۰/۰۰۱ ^{ns}				
۱۰- تعداد گل	۰/۶۰**	۰/۶۴**	۰/۴۰**	۰/۷۴**	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۲۴*	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۸۰**			
۱۱- تعداد غنچه	۰/۸۲**	۰/۶۲**	۰/۷۰**	۰/۶۳**	۰/۵۶**	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۵۳**	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۷۹**	۰/۸۱**		
۱۲- مساحت سطح برگ	۰/۷۴**	۰/۷۰**	۰/۹۰**	۰/۵۷**	۰/۵۳**	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۷۶**	۰/۲۶*	۰/۶۴**	۰/۷۰**	۰/۶۴**	

***، ** و * : MS به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

خاکی (۲/۲۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به ثبت رسید (شکل ۴). در گیاهان تحت تنش بیشتر، کمبود عناصر غذایی و کاهش منبع انرژی جذب نور خورشید منجر به آسیب به سیستم فتوسنتز و کلروفیل می‌گردد، زیرا عناصر غذایی نقش مهمی در سیستم انتقال الکترون و متابولیسم کربن دارند (Cakmak, 2005) که مطابق با نتایج آزمایش حاضر است زیرا کمترین

کشت قرار گرفت (جدول ۳). کلروفیل کل، با کاهش آبیاری از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی در اکوتیپ‌های مشهد و تهران در بستر حاوی خاک+کود دامی، ۲۶ و ۳۰ درصد کاهش یافت، اما در این دو اکوتیپ با کاهش آبیاری در بستر خاکی این شاخص، ۳۵ درصد کاهش یافت کمترین میزان این شاخص در اکوتیپ تهران تحت تیمار آبیاری ۴۰٪ ظرفیت زراعی در بستر



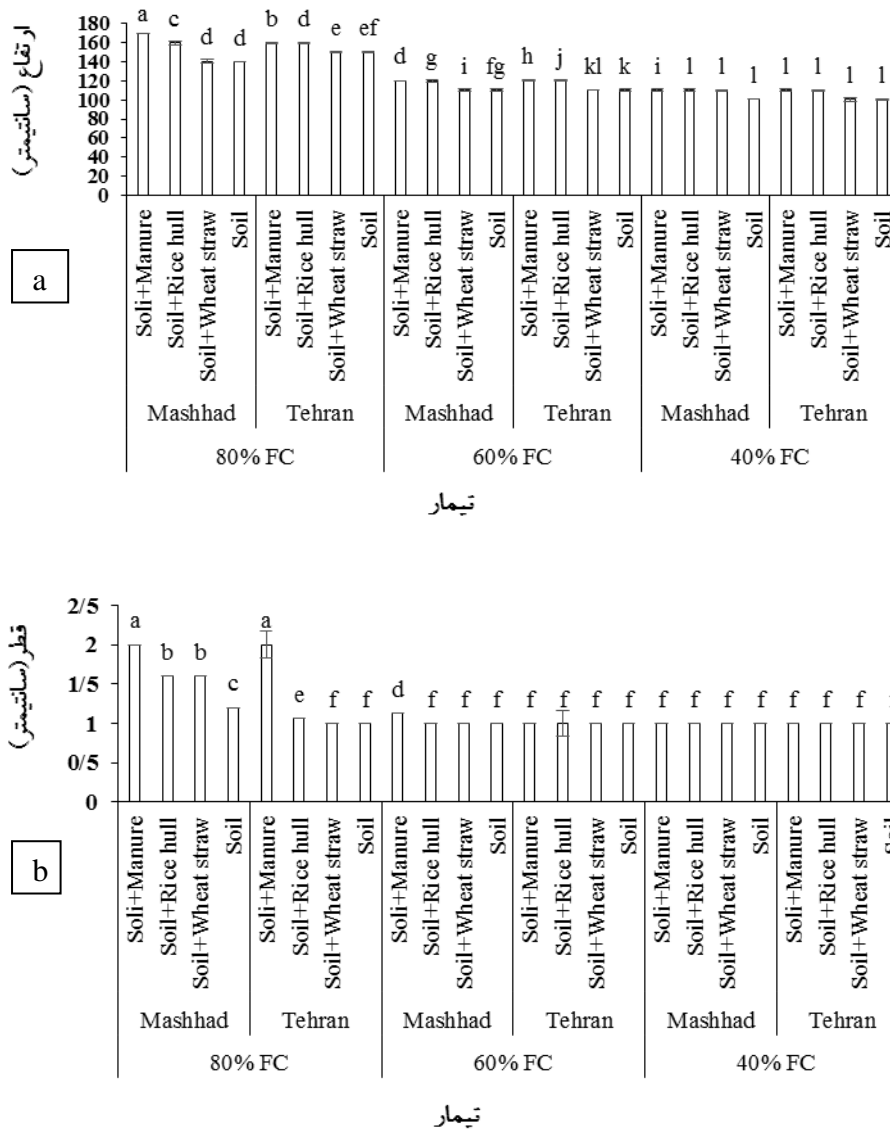
شکل ۴- اثرات تنش خشکی بر کلروفیل کل اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف در شرایط مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).

اثرات سه‌گانه اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۳). با کاهش آبیاری از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی ارتفاع هر دو اکوتیپ در بسترهای مختلف کاهش یافت، به‌نحویکه در اکوتیپ مشهد در بستر خاک+کود دامی و بستر خاک+شلتوک برنج به‌ترتیب، ۳۴، ۳۰ درصد کاهش یافت. بیشترین ارتفاع، در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی کشت‌شده در خاک+کود دامی (۱۳۶ سانتی‌متر) و کمترین میزان آن در اکوتیپ تهران تحت تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی کشت‌شده در هر دو اکوتیپ تحت تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی در تمامی بسترها به ثبت رسید (شکل ۵a). مقایسه میانگین داده‌های قطر ساقه گیاهان نشان داد که بیشترین میزان این شاخص در اکوتیپ مشهد و تهران تحت تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی با بستر کشت خاک+کود دامی ثبت شد. در اکوتیپ مشهد و تهران تحت تیمار آبیاری ۶۰ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی در بسترهای خاک+شلتوک برنج، خاک+کاه و کلش گندم و بستر خاکی تفاوت معنی‌داری از نظر قطر ساقه مشاهده نشد (شکل ۵b). با افزایش تنش خشکی از تعداد اندام‌های زایشی نظیر گل و غنچه در تمامی بسترهای کشت کاسته شد. مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه بر تعداد گل و غنچه نشان داد

میزان کلروفیل و شاخص نسبی کلروفیل در تیمار خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی در بستر خاکی به ثبت رسید. کاربرد کودهای آلی کمپوست و بیوجار با افزایش میزان نیتروژن گیاه چای ترش، بر افزایش کلروفیل این گیاهان مؤثر بودند (Liu et al., 2021)، زیرا افزایش نیتروژن بر تشکیل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از طریق پروتئین‌های تیلاکوئیدی و روزنه‌ای مؤثر هستند (Peng et al., 2021). خصوصیات بیوشیمیایی و بیوسنتزی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی علاوه بر نیتروژن به فسفر نیاز دارد؛ بنابراین کاهش فسفر سبب کاهش میزان پروتئین و محتوای کلروفیل می‌شود (Mohamed et al., 2021).

در آزمایش حاضر همبستگی مثبتی بین میزان نیتروژن و پتاسیم با میزان کلروفیل کل وجود داشت (جدول ۴) به‌نحویکه با کاربرد بستر خاکی همراه با کود دامی با افزایش میزان عناصر در خاک، در گیاهان تحت تیمار آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی میزان جذب این عناصر افزایش یافته است و به‌تبع آن این عناصر در برگ گیاهان تحت تیمار کود دامی در مقایسه با تیمارهای دیگر آبیاری بیشتر بوده است.

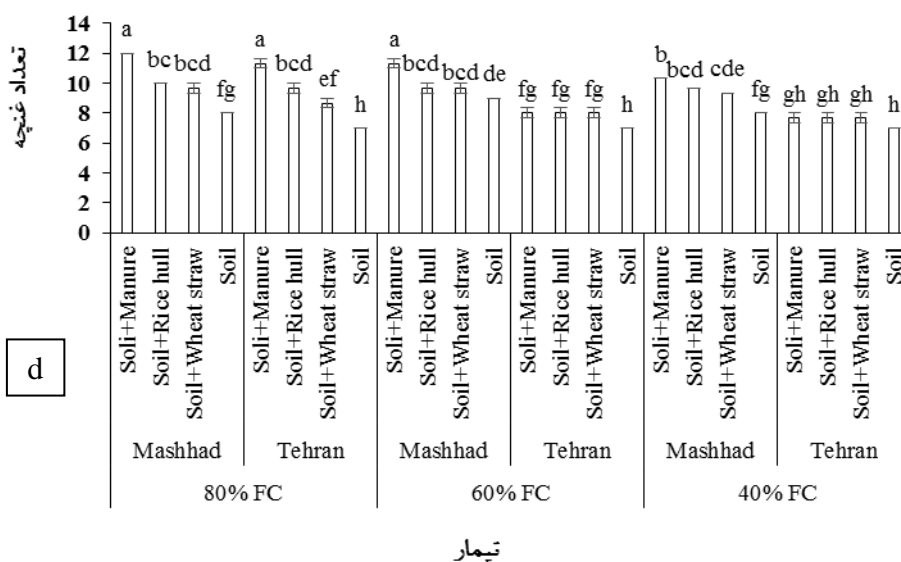
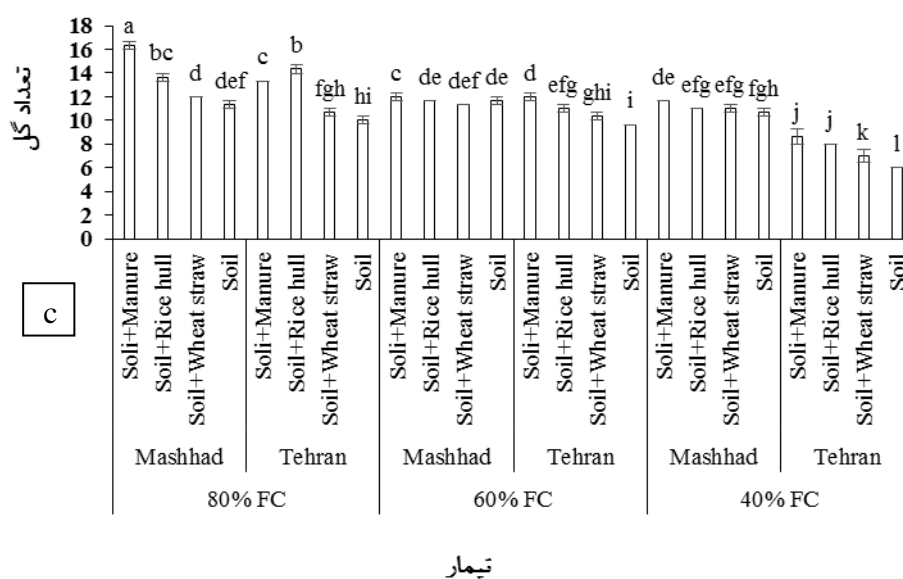
تمامی صفات رشدی نظیر ارتفاع، تعداد گل، غنچه، قطر ساقه، تعداد برگ، و سطح برگ گیاه به‌طور معنی‌داری تحت



شکل ۵- اثرات تنش خشکی بر ارتفاع (a) و قطر ساقه (b) اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف. میانگین‌های (n=3) دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).

در اکوتیپ تهران، ۲۵ درصد کاهش یافت. کمترین میزان این شاخص نیز در اکوتیپ تهران تحت تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی و بستر کشت، خاک+کاه و کلش و خاک زراعی (۳۰ عدد در گیاه) به ثبت رسید (شکل ۵a). در آزمایش حاضر، در تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی بین دو اکوتیپ در بسترهای کشت مختلف، بیشترین مساحت برگ در اکوتیپ مشهد با بستر خاک+کود دامی و کمترین در اکوتیپ تهران با بستر خاک مزرعه به ثبت رسید (به ترتیب، ۳۶۰۳ و ۲۷۹۳ سانتی متر مربع).

که در اکوتیپ مشهد با کاهش آبیاری از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی این شاخص‌ها در بستر کشت خاک+کود دامی به ترتیب، ۲۸ و ۱۴ درصد و در اکوتیپ تهران، ۳۵ و ۳۲ درصد کاهش یافت (شکل ۵d,c). تعداد برگ با کاهش آبیاری در هر دو اکوتیپ و در تمامی بسترها کاهش یافت، در اکوتیپ مشهد تحت تیمار آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی و بستر کشت خاک+کود دامی با کاهش آبیاری تا ۴۰٪ ظرفیت زراعی تعداد برگ، ۱۸ درصد کاهش یافت و

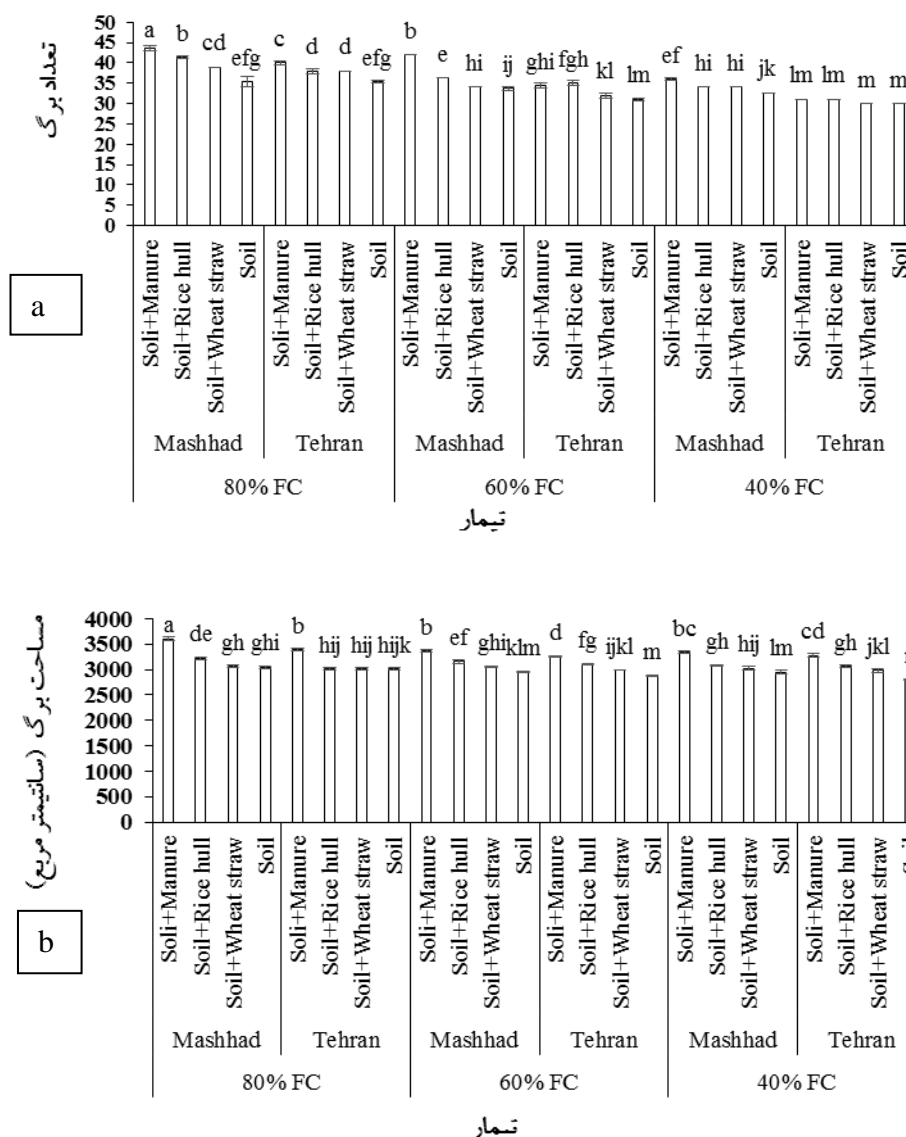


ادامه شکل ۵- اثرات تنش خشکی بر تعداد گل (c) و تعداد غنچه (d) اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف. میانگین‌های (n=۳) دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۴۰، ۶۰، ۸۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).

قرار می‌گیرند (Sarshad et al., 2021; Seleiman et al., 2021). کاربرد کودها سبب تخفیف اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی می‌شود به‌نحویکه، Sharifi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) نشان دادند که بیشترین عملکرد گل (۲۷۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۵۰ میلی‌متر

افزایش تنش خشکی در اکوتیپ مشهد و تهران با بسترهای کشت مختلف از مساحت برگ گیاهان کاسته شد، به‌نحویکه با کاهش آبیاری از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی از مساحت برگ در بستر خاک+کود دامی به‌ترتیب، ۷ و ۳ درصد کاسته شد (شکل ۶b).

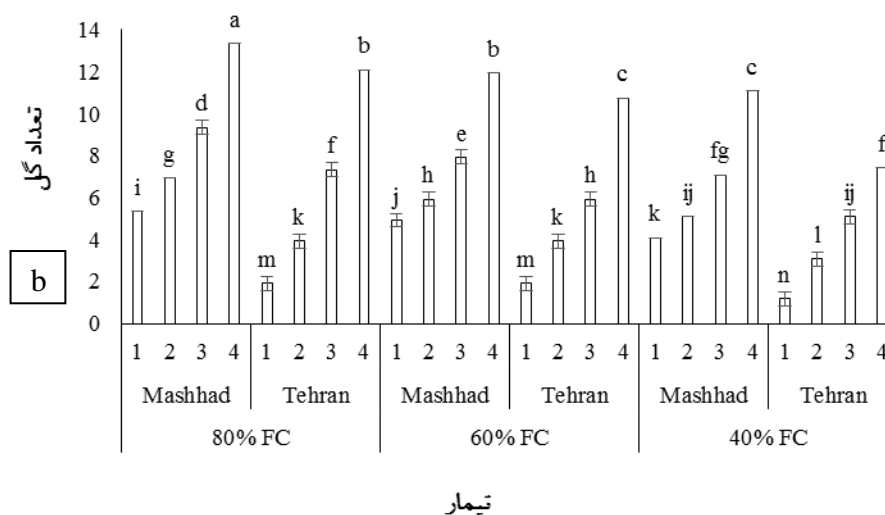
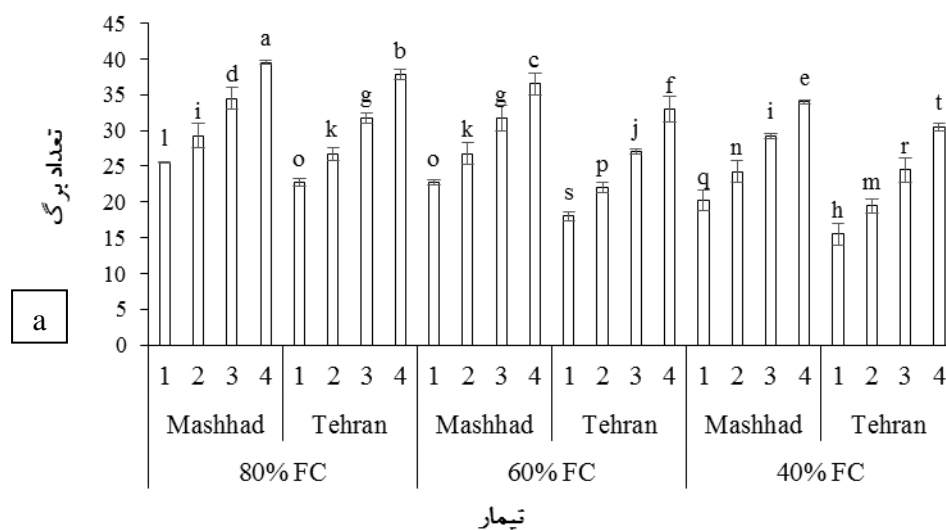
شاخص‌های رشدی به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تنش خشکی



شکل ۶- اثرات تنش خشکی بر تعداد برگ (a) و مساحت برگ (b) اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف در مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک+کود دامی، خاک+شلتوک، خاک+کاه و کلش گندم و خاک مزرعه).

احمدیان و همکاران (۱۳۸۹) کاربرد کودهای شیمیایی، گاو و کمپوست را بر تعداد گل‌های گیاه بابونه در شرایط تنش خشکی بررسی نمودند و نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی از ۹۰ به ۵۰٪ ظرفیت زراعی تعداد گل‌ها را از ۱۵۸ به ۹۱ کاهش داد و در صورت کاربرد تیمارهای کودی بر تعداد گل‌ها در شرایط تنش خشکی افزوده شد. کاربرد کودهای حاوی پتاسیم نیز شاخص‌های رشدی را نظیر ارتفاع گیاه مریم‌گلی (Soltanbeigi *et al.*, 2021) و تعداد برگ و قطر

تبخیر از تشتک تبخیر و در بین تیمارهای کودی، بیشترین عملکرد گل (۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰ تن در هکتار کود به ثبت رسید. کاربرد کود گاو در شرایط تنش خشکی سبب افزایش صفات رشدی و شیمیایی این گیاه شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی تیمارهای خشکی بیشترین تعداد گل در تیمار کودی ۱۰ تن در هکتار و کمترین تعداد گل در تیمارهای بدون کودی به ثبت رسید. با افزایش تنش خشکی با کاربرد تیمار کودی بر تعداد گل افزوده شد.



شکل ۷- اثرات تنش خشکی بر تعداد برگ (a) و تعداد گل (b) اکوتیپ‌های ختمی در طول زمان. میانگین‌های دارای حروف مشابه بر- اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰، ۴۰٪ ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و زمان (هفته اول، دوم، سوم و چهارم).

آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی و بستر کشت خاک + کود دامی به دلیل جذب بیشتر عنصر نیتروژن رشد اندام‌های رویشی نیز افزوده شده است زیرا Wang و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که کاربرد کودهای حاوی نیتروژن همراه با کاه در گیاه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و میزان نیتروژن برگ‌گی شد. تنش خشکی سبب کاهش تمامی صفات مورد بررسی نظیر: ارتفاع، تعداد برگ و قطر ساقه دو اکوتیپ شد. اما این کاهش در اکوتیپ مشهد نسبت

ساقه اکالیپتوس لیمویی (Lopo de Sa *et al.*, 2014) گیاهان تحت شرایط خشکی را افزایش داد. در آزمایش حاضر برگ گیاهان در شرایط تنش خشکی شدید ریزش یافت بدین منظور سطح برگ نسبت به شرایط رطوبت کافی کاهش یافت و این ممکن است تطابق مثبت در جهت خونم‌ودن به شرایط کم‌آبی باشد (Kozłowski and Pallardy, 2002). صفات رویشی گیاه توسط کاهش آبیاری، کاهش یافت اما این کاهش در اکوتیپ مشهد نسبت به تهران کمتر بود. در

افزایش تنش خشکی از صفات رشدی گیاه کاسته شد اما این روند نزولی در اکوتیپ تهران بیشتر بود که کاهش صفات رشدی تحت تنش خشکی در بسیاری از تحقیقات به دلیل افزایش نشت الکترولیت، تغییرات آنتی اکسیدانی و فتوسنتز به ثبت رسیده است (Sankar et al., 2008; Jabborova et al., 2021)، اما نتایج همچنین نشان دهنده این مطلب است که گیاه ختمی در شرایط کم آبیاری شدید نیز تا ۴۰٪ ظرفیت زراعی قادر به ادامه رشد می باشد.

نتیجه گیری

در مورد نوع گیاهان زینتی که در مناطق خشک و نیمه خشک کشت می شوند باید تجدیدنظر شود. همچنین برخی گیاهان با نیاز آب زیاد باید گیاهانی با نیاز آبی کم جایگزین شوند. از آنجا که ختمی گیاهان کم توقعی هستند می توانند در مناطق خشک به خوبی رشد کنند، بنابراین می توانند به عنوان گونه های مناسب برای کشت در فضای سبز در نظر گرفته شوند و می توانند شرایط خشکسالی را تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در خاک اصلاح شده تحمل کنند. همچنین کاربرد کودهای دامی در بستر کشت با افزایش عناصر غذایی و افزایش صفات رشدی سبب افزایش مقاومت این گیاهان به تنش خشکی می شود.

به تهران کمتر بود. از طرفی بیشترین میزان این شاخص ها در بسترهای حاوی کودهای حیوانی ثبت شد، به نحویکه با بررسی های برگ، بیشترین عنصر نیتروژن مورد بررسی در برگ این گیاهان حضور داشت. اثر این عنصر در بسترهای خاک+کود دامی، تنش خشکی را در این گیاهان تخفیف داد به طوریکه این نتایج مطابق با نتایج Rohbakhsh (۲۰۱۳) بود.

نتایج نشان داد که اثرات متقابل اکوتیپ، خشکی و زمان بر تعداد برگ معنی داری در سطح یک درصد معنی دار بود، به نحویکه بیشترین تعداد برگ در اکوتیپ مشهد تحت تیمار آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی در هفته چهارم (۳۹ برگ در بوته) به ثبت رسید. در اکوتیپ مشهد و تهران به ترتیب با کاهش آبیاری از ۸۰ تا ۴۰٪ ظرفیت زراعی در هفته چهارم، تعداد برگ به ترتیب، ۱۴ و ۲۰ درصد کاهش یافت (شکل Va). تعداد گل نیز تحت اثرات سه گانه خشکی، اکوتیپ و زمان قرار گرفتند. در هر دو شاخص با کاهش سطح آبیاری از تعداد اجزای زایشی کم شد به نحویکه، در اکوتیپ مشهد و تهران با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی تعداد گل به ترتیب، ۱۷ و ۳۸ درصد کاهش یافت. بیشترین تعداد گل در اکوتیپ مشهد تحت آبیاری ۸۰٪ ظرفیت زراعی در هفته چهارم به ثبت رسید (شکل Vb). نتایج نشان داد که با گذشت زمان بر تعداد برگ و گل گیاه ختمی افزوده شد هر چند که با

منابع

احمدیان، الف.، قنبری، الف.، سیاهسر، ب.، حیدری، م.، رمرودی، م. و موسوی نیک، س. م. (۱۳۸۹) اثر بقایای کود شیمیایی، دامی و کمپوست بر عملکرد، اجزای عملکرد، برخی خصوصیات فیزیولوژیک و میزان اسانس بابونه تحت شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش های زراعی ایران ۸: ۶۷۶-۶۶۸.

امامی، الف. (۱۳۷۵) روش های تجزیه گیاهی. جلد اول. نشریه فنی شماره ۹۸۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران.

قاسمی قهساره، م. و کافی، م. (۱۳۹۱) گلکاری علمی و عملی. جلد اول. ناشر مؤلف.

Ahmad, I., Saeed, H. A. U. R. and Khan, M. A. S. (2020) Ornamental horticulture: Economic importance, current scenario and future prospects. In Etiology and Integrated Management of Economically Important Fungal Diseases of Ornamental Palms. Pp. 3-40. Springer, Cham.

Ahmed, B., Roy, C. D., Subramaniam, S. A., Ganie, D., Kwatra, D., Dixon, D., Anant, A., Zarqar, M. A. and Umar, S. (2016) An ornamental plant targets epigenetic signaling to block cancer stem cell driven colon carcinogenesis. Carcinogenesis 37: 385-396.

Al-Sayed, H. M., Hegab, S. A., Youssef, M. A. And Khalafalla, M. Y. (2019) Integrated effect of inorganic and organic nitrogen sources on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Assiut Journal of Agricultural Sciences 50: 164-183.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

- Bi, Q. F., Li, K. J., Zheng, B. X., Liu, X. P., Li, H. Z., Jin, B. J., Ding, K., Yang, X. R., Lin, X. Y. and Zhu, Y. G. (2020) Partial replacement of inorganic phosphorus (P) by organic manure reshapes phosphate mobilizing bacterial community and promotes P bioavailability in a paddy soil. *Science of The Total Environment* 703: 134977.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Briat, J. F., Gojon, A., Plassard, C., Rouached, H. and Lemaire, G. (2020) Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. *European Journal of Agronomy* 116: 126069.
- Burt, S. A. and Reinders, R. D. (2003) Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157: H7. *Letters in Applied Microbiology* 36: 162-167.
- Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition* 168: 521-530.
- Chandra, P., Wunnava, A., Verma, P., Chandra, A. and Sharma, R. K. (2021) Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: A review. *Pedosphere* 31: 496-509.
- Cherel, I. (2004) Regulation of K⁺ channel activities in plants, from physiological to molecular aspects. *Journal of Experimental Botany*, 55: 337-351.
- Dogan, M., Odabasioglu, C., Kilincoglu, N. and Copur, O. (2021) The effect of different nitrogen doses and water levels on enzyme activities in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plant grown under harran plain conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 30: 5676-5685.
- Emadodin, I., Reinsch, T. and Taube, F. (2019) Drought and desertification in Iran. *Hydrology* 6: 66.
- Getachew, M. (2014) Influence of soil water deficit and phosphorus application on phosphorus uptake and yield of Soybean (*Glycine max* L.) at Dejen, North-West Ethiopia. *American Journal of Plant Sciences* 5: 1889-1906.
- Ghazi, D. A. (2017) Impact of drought stress on maize (*Zea mays*) plant in presence or absence of salicylic acid spraying. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* 8: 223-229.
- He, M. and Dijkstra, F. A. (2014) Drought effect on plant nitrogen and phosphorus, a metaanalysis. *New Phytologist* 204: 924-93.
- Hermans, K. and McLeman, R. (2021) Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 50: 236-244.
- Hussain, L., Akash, M. S. H., Tahir, M., Rehman, K. and Ahmed, K. Z. (2014) Hepatoprotective effects of methanolic extract of *Alcea rosea* against acetaminophen-induced hepatotoxicity in mice. *Bangladesh Journal of Pharmacology* 9: 322-327.
- IPCC. (2018) Summary for policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C*. (eds. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Portner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Pean, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R. Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. and Waterfield, T.) *Climate Change 2014: World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland*.
- Jaborova, D., Annapurna, K., Al-Sadi, A. M., Alharbi, S. A., Datta, R. and Ansari, M. J. (2021) Biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced drought tolerance in Okra (*Abelmoschus esculentus*) plant growth, root morphological traits and physiological properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*. In press.
- Keshavarz Mirzamohammadi, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Mokhtasi-Bidgoli, A. and Mirjalili, M.H (2021). Irrigation and fertilizer treatments affecting rosmarinic acid accumulation, total phenolic content, antioxidant potential and correlation between them in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Irrigation Science* 39: 671-683
- Kjeldal, S. E. (1998) An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Ph.D. Thesis. University of New England, Australia.
- Kozłowski, T. T. and Pallardy, S. G. (2002) Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review* 68: 270-334.
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z. and Lin, W. (2019) The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. *PloS One* 14: e0217018.
- Liu, D., Ding, Z., Ali, E. F., Kheir, A. M. S., Eissa, M. A. and Ibrahim, O. H. M. (2021) Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions. *Scientific Reports* 11: 8739.
- Lopo de Sa, A. F., Valeri, S. V., Pessoa da Cruz, M. C., Barbosa, J. C. and Rezende, G. M. (2014) Effects of potassium application and soil moisture on the growth of *Corymbia citriodora* plants. *Matheus Pozzetti Teixeira. Cerne* 20: 645-651.
- Lutatenekwa, D. L., Mtengeti, E. J. and Msalya, G. M. (2020) A review of plant characterization: First step towards sustainable forage production in challenging environments. *African Journal of Plant Science* 14: 350-357.
- Mohamed, H. I., El-Sayed, A. A., Rady, M. M., Caruso, G., Sekara, A. and Abdelhamid, M. T. (2021) Coupling effects of phosphorus fertilization source and rate on growth and ion accumulation of common bean under salinity stress. *PeerJ* 9:e11463

- Murugan, A. V. and Swarnam, T. P. (2013) Nitrogen release pattern from organic manures applied to an acid soil. *Journal of Agriculture Scie* 5: 74-184.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* 22: 867-880.
- Nazari, M., Sadeghi, S. M. M., Van Stan, J. T. and Chaichi, M. R. (2020) Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 27: 100656.
- Peng, J., Feng, Y., Wang, X., Li, J., Xu, G., Phonensy, S., Luo, Q., Han, Z. and Lu, W. (2021) Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Science Report* 11: 7485.
- Puthiyottil, P. and Akkara, Y. (2021) Pre treatment with *Bacillus subtilis* mitigates drought induced photo-oxidative damages in okra by modulating antioxidant system and photochemical activity. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 27: 945-957
- Rohbakhsh, H. (2013) Alleviating adverse effects of water stress on growth and yield of forage sorghum by potassium application. *Advances in Environmental Biology* 7: 40-46.
- Sanayei, S., Barmaki, M., Ebadi, A. and Torabi Giglou, M. (2021) Amelioration of water deficiency stress in roselle (*Hibiscus sabdariffa*) by arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 49: 11987-11987.
- Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2008) Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 62: 125-129.
- Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F. and Nejatkhah, P. (2021) Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *SN Applied Sciences* 3: 1-12.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H. and Leonardo Battaglia, M. (2021) Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants* 10: 259.
- Seyyednejad, S. M., Koochak, H., Darabpour, E. and Motamedi, H. (2011) A survey on *Hibiscus rosea sinensis*, *Alcea rosea* L. and *Malva neglecta* Walr as antibacterial agents. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 3: 351-355.
- Shahraki, A. S., Shahraki, J. and Monfared, S. A. H. (2021) An integrated model for economic assessment of environmental scenarios for dust stabilization and sustainable flora-fauna ecosystem in international Hamoun wetland. *Environment, Development and Sustainability* 23: 947-967.
- Sharifi, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O. and Kyzas, G. Z. (2017) Investigation of morphological and phytochemical changes and tolerance threshold of chamomile under drought stress conditions. *International Journal of Pure and Applied Zoology* 5: 85-91.
- Soltanbeigi, A., Yıldız, M., Diraman, H., Terzi, H., Sakartepe, E. and Yıldız, E. (2021) Growth responses and essential oil profile of *Salvia officinalis* L. influenced by water deficit and various nutrient sources in the greenhouse. *Saudi Journal of Biological Sciences*. In press.
- Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., Moghadam, A. L. and Garmsar, I. (2021) Effect of foliar application of proline on morphological and physiological traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress. *Journal of Ornamental Plants* 11: 13-30.
- Stewart, R. C. and Bewley, J. D. (1980) Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology* 65: 245-248.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) *Plant Physiology*. 3rd Ed. Sunderland, MA ,USA, Sinauer Associates.
- Toungos, M. D. and Bulus, Z. W. (2019) Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soil fertility, A review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research* 7: 47-59.
- Ullah, M. I., Riaz, M., Arshad, M., Khan, A. H., Afzal, M., Khalid, S., Mehmood, N., Ali, S., Khan, A. M., Zahid, S. M. A. and Riaz, M. (2019) Application of organic fertilizers affect the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) infestation and citrus Canker Disease in Nursery plantations. *International Journal of Insect Science* 11: 1179543319858634.
- Wang, Z., Wang, Z., Ma, L., Lv, X., Meng, Y. and Zhou, Z. (2021) Straw returning coupled with nitrogen fertilization increases canopy photosynthetic capacity, yield and nitrogen use efficiency in cotton. *European Journal of Agronomy* 126: 126267.
- Wessel, D. and Flugge, U. I. (1984) A method for the quantitative recovery of protein in dilute solution in the presence of detergents and lipids. *Analytical Biochemistry* 138: 141-143.

Effect of soil modifiers on hollyhock plants (*Alcea rosea* L.) under drought stress

Toktam Oraee, Mahmoud Shoor*, Ali Tehranifar, Hossein Nemati, Atiyeh Oraee

Department of Horticultural Science and Landscape Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of
Mashhad

(Received: 03/07/2021, Accepted: 11/10/2021)

Abstract

Survival of ornamental plants as a vital factor in green spaces has been threatened by climate change and drought stress. An experiment was designed to investigate the effect of soil modifiers on the growth of two plants of the Hollyhock ecotype under drought conditions at Ferdowsi University of Mashhad in 2021. Experimental Treatments included two ecotypes (Mashhad, Tehran), three drought stress levels (80, 60, 40% FC), and four substrates (soil, soil + manure, soil + rice hull, soil + wheat straw). Macroelements (nitrogen, phosphorus, and potassium) of leaves, physiological characteristics of plants, (total chlorophyll, proteins, and enzyme activities), and morphological traits (height, the diameter of the stem, number of leaves, bud, flowers, and leaf area) were measured. The effect of time on the number of Hollyhock leaves under drought stress was also recorded. Treatments affected all physiological and growth parameters of Hollyhock plants, and a significant amount of physiological traits (chlorophyll) and growth parameters were recorded in the Mashhad ecotype below 80% FC in soil + manure. The triple interactions of ecotype, drought stress, and culture medium on protein content, superoxide dismutase activity, and ascorbate peroxidase activity were not significant, but enzyme activity was increased with increasing drought stress. Also, the number of leaves and flowers had a decreasing trend with increasing drought stress. The results showed that applying manure with soil by providing macro elements reduced the adverse effects of drought stress in Hollyhock and increased drought stress resistance in both ecotypes.

Keywords: Hollyhock, Growth medium, Ecotype, Nutrients

Corresponding author, Email: shoor@um.ac.ir